

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

## **Estimativa de Custos em Ambiente de Desenvolvimento de Software Ágil para Empresas de Pequeno e Médio Porte**

Dissertação de Mestrado

Marcos Venícius Santos



São Cristóvão – Sergipe

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Marcos Venícius Santos

## **Estimativa de Custos em Ambiente de Desenvolvimento de Software Ágil para Empresas de Pequeno e Médio Porte**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência da Computação.

Orientador(a): Michel dos Santos Soares

São Cristóvão – Sergipe

2026

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S237 Santos, Marcos Venícius.  
e Estimativa de custos em ambiente de desenvolvimento de software ágil para empresas de pequeno e médio porte / Marcos Venícius Santos ; orientador Michel dos Santos Soares. – São Cristóvão, SE, 2026.  
113 f. : il.

Dissertação (mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Sergipe, 2026.

1. Computação. 2. Contabilidade de custos. 3. Desenvolvimento ágil de software. 4. Pequenas e médias empresas - Finanças. I. Soares, Michel dos Santos, orient. II. Título.

CDU 004.41:657.47

*Este trabalho é dedicado a todos que, mesmo sem terem sonhado em se tornar cientistas na infância, encontraram na educação um caminho de transformação — pessoal e social — e hoje contribuem para um mundo que precisa, mais do que nunca, de conhecimento, sensibilidade e esperança.*

# Agradecimentos

Agradeço, com profunda gratidão, a todos que contribuíram para minha permanência nos estudos e para minha formação pessoal e acadêmica. À minha mãe, cuja força e dedicação sustentaram cada etapa da minha trajetória; aos meus irmãos e irmãs, que sempre acreditaram no meu potencial.

Aos meus amigos Samuel e Shexmo, pela presença constante, pelas conversas que me fortaleceram e pelos incentivos que deram sentido à caminhada.

Agradeço ao meu orientador, Professor Michel S. Soares, cuja orientação ultrapassou o aspecto técnico e se tornou verdadeiro exercício de formação humana e científica. Sua paciência, clareza e rigor acadêmico foram essenciais para que eu aprendesse a olhar para um artigo científico sem medo, compreendendo a pesquisa não como obstáculo, mas como oportunidade de crescimento. Agradeço pela confiança depositada em mim e pelas orientações que marcaram profundamente a construção deste trabalho. Sua postura ética, compromisso com o conhecimento e capacidade de ensinar com generosidade permanecem como referência para minha vida acadêmica e profissional.

Agradeço também ao Programa de Pós-Graduação em Computação, aos professores que marcaram minha formação e à comunidade acadêmica da qual tive a honra de fazer parte — colegas de curso, grupos de estudo, equipe de pesquisa e todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que minha rotina acadêmica fosse possível.

Registro meu agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à PRAPG pelo fomento concedido durante o mestrado, apoio fundamental para a continuidade dos estudos e para a dedicação às atividades acadêmicas e científicas desenvolvidas ao longo desta pesquisa.

Reconheço as dificuldades que atravessaram minha jornada, desde o medo de não conseguir acompanhar disciplinas complexas, como Projeto e Análise de Algoritmos, até a apreensão diante dos processos de aceite e da responsabilidade científica. Cada obstáculo exigiu maturidade, resiliência e a certeza de que a educação é, antes de tudo, um ato de coragem.

No Brasil, permanecer na universidade é uma conquista coletiva. Em um contexto social marcado pela falta de investimento consistente em programas de pós-graduação sobretudo aqueles de menor porte a sobrevivência acadêmica depende de apoio familiar, dedicação persistente e de uma rede que acredita no valor da ciência. A todos que fizeram parte dessa rede, deixo meu agradecimento mais sincero.

Por fim, agradeço também a mim mesmo: pela objetividade, dedicação e coragem; por reconhecer meus limites sem jamais desistir; e por ter seguido em frente mesmo quando o

caminho parecia improvável.

A todos vocês, e a todas as forças que me trouxeram até aqui, deixo minha gratidão eterna, pois este trabalho é, ao mesmo tempo, fruto de muitas mãos e vitória de um coração que escolheu não desistir.

# Resumo

A estimativa de custos em ambientes de desenvolvimento de software ágil configura-se como um desafio recorrente para Pequenas e Médias Empresas (PMEs), especialmente em função de limitações relacionadas à maturidade organizacional, à adoção de práticas metodológicas e à disponibilidade de recursos. Diante desse cenário, este trabalho investiga como empresas que utilizam metodologias ágeis realizam suas estimativas de custos e discute alternativas mais consistentes e sistematizadas para apoiar esse processo. O objetivo principal consiste em desenvolver um modelo de estimativa de custos direcionado às especificidades de PMEs que adotam métodos ágeis em projetos de software. A abordagem metodológica fundamenta-se na análise da literatura científica e na identificação de desafios recorrentes reportados em estudos anteriores, permitindo a proposição de um modelo conceitual acompanhado de diretrizes que favorecem sua aplicação prática em contextos ágeis. Os resultados obtidos indicam que o modelo proposto apresenta coerência conceitual e potencial de aplicabilidade em ambientes organizacionais com recursos limitados, ainda que a ausência de validação empírica em um cenário real restrinja a obtenção de evidências quantitativas conclusivas. Como contribuições, este trabalho oferece à comunidade acadêmica um artefato teórico que sistematiza o processo de estimativa de custos em ambientes ágeis e, para a indústria, propõe um modelo adaptado à realidade das PMEs. Ademais, o estudo estabelece bases para pesquisas futuras voltadas à integração de Inteligência Artificial e abordagens híbridas no contexto da estimativa de custos ágil..

**Palavras-chave:** estimativa de custos. metodologias ágeis. PMEs. modelo de estimativa. desenvolvimento de software ágil.

# Abstract

Cost estimation in agile software development environments remains a recurring challenge for Small and Medium-sized Enterprises (SMEs), particularly due to constraints related to organizational maturity, methodological practices, and limited resources. In this context, this study examines how companies adopting agile methodologies perform cost estimation and explores more consistent and systematized alternatives to support this process. The main objective of this research is to develop a cost estimation model tailored to the specific characteristics of SMEs that employ agile methods in software projects. The methodological approach is grounded in the analysis of the scientific literature and in the identification of recurring challenges reported in previous studies, enabling the proposal of a conceptual model accompanied by guidelines to support its practical application in agile environments. The findings indicate that the proposed model demonstrates conceptual coherence and potential practical applicability, particularly in organizational contexts with limited resources, although the lack of empirical validation in a real-world setting prevents the acquisition of conclusive quantitative evidence. The contributions of this work include the provision of a theoretical artifact that systematizes cost estimation in agile environments for the academic community and the proposal of a model aligned with the realities of SMEs for industry practitioners. Furthermore, this study lays the groundwork for future research on agile cost estimation supported by Artificial Intelligence and hybrid techniques.

**Keywords:** cost estimation; agile methodologies; SMEs; estimation model; agile software development..



# Lista de ilustrações

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Distribuição dos estudos por domínio de aplicação . . . . .                    | 40 |
| Figura 2 – Publicações por ano . . . . .                                                  | 44 |
| Figura 3 – Principais desafios . . . . .                                                  | 47 |
| Figura 4 – Estratégias mais comumente utilizadas . . . . .                                | 51 |
| Figura 5 – Métodos de estimativa utilizados . . . . .                                     | 55 |
| Figura 6 – Fluxograma do Modelo Proposto . . . . .                                        | 75 |
| Figura 7 – Correlation Matrix . . . . .                                                   | 85 |
| Figura 8 – Estatísticas descritivas dos custos estimados e das métricas do projeto. . . . | 86 |
| Figura 9 – Matriz de Correlação . . . . .                                                 | 86 |
| Figura 10 – Custo Estimado vs. Pontos de História . . . . .                               | 87 |
| Figura 11 – Custo Estimado vs. Problemas . . . . .                                        | 88 |
| Figura 12 – Custo Estimado vs. Erros . . . . .                                            | 88 |
| Figura 13 – Custo Estimado vs. Quantidade Desenvolvedores . . . . .                       | 89 |

# Lista de tabelas

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 – Modelos básicos do COCOMO . . . . .                                                                                    | 19  |
| Tabela 2 – Referências das versões da Análise por Pontos de Função . . . . .                                                      | 22  |
| Tabela 3 – Bases de dados e quantidade de estudos identificados . . . . .                                                         | 33  |
| Tabela 4 – Critérios de inclusão e exclusão dos estudos . . . . .                                                                 | 34  |
| Tabela 5 – Definição das questões de pesquisa . . . . .                                                                           | 34  |
| Tabela 6 – Trabalhos Utilizados para Análise e Desenvolvimento do Modelo . . . . .                                                | 36  |
| Tabela 7 – Critérios para classificação dos modelos . . . . .                                                                     | 37  |
| Tabela 8 – Distribuição dos estudos por domínio de aplicação . . . . .                                                            | 39  |
| Tabela 9 – Classificação dos estudos quanto à natureza . . . . .                                                                  | 39  |
| Tabela 10 – Distribuição das publicações por país . . . . .                                                                       | 41  |
| Tabela 11 – Distribuição anual das publicações sobre estimativa de custos em ambientes<br>ágeis . . . . .                         | 43  |
| Tabela 12 – Principais desafios identificados nos estudos selecionados . . . . .                                                  | 45  |
| Tabela 13 – Estratégias Comumente Utilizadas . . . . .                                                                            | 49  |
| Tabela 14 – Métodos de Estimativa Utilizados e Suas Ocorrências nos Estudos Selecionados                                          | 53  |
| Tabela 15 – Estatísticas Descritivas do Conjunto de Dados TAWOS – Parte 1 (Repositório<br>até Usuários) . . . . .                 | 60  |
| Tabela 16 – Estatísticas Descritivas do Conjunto de Dados TAWOS – Parte 2 (Desenvol-<br>vedores até Pontos de História) . . . . . | 62  |
| Tabela 17 – Proporcionalidade por Perfil Técnico — Parte 1 . . . . .                                                              | 66  |
| Tabela 18 – Proporcionalidade por Perfil Técnico — Parte 2 . . . . .                                                              | 68  |
| Tabela 19 – Aplicação do Modelo de Estimativa de Custos com Dados de Exemplo . . .                                                | 72  |
| Tabela 20 – Fases de Implementação e Responsabilidades . . . . .                                                                  | 74  |
| Tabela 21 – Comparação de Modelos de Estimativa com Base em Dimensões Principais                                                  | 79  |
| Tabela 22 – Síntese das Principais Conclusões dos Estudos Analisados (Organizados por<br>Ano) . . . . .                           | 80  |
| Tabela 23 – Principais Limitações Enfrentadas por PMEs e Soluções Propostas pelo<br>Modelo, com Estudos Relacionados . . . . .    | 83  |
| Tabela 24 – Artigos da revisão sistemática da literatura . . . . .                                                                | 107 |

# Lista de abreviaturas e siglas

|           |                                                            |
|-----------|------------------------------------------------------------|
| RSL       | Revisão Sistemática da Literatura                          |
| MMRE      | Mean Magnitude of Relative Error                           |
| MRE       | Magnitude of Relative Error                                |
| COCOMO    | Constructive Cost Model                                    |
| COCOMO II | Constructive Cost Model II                                 |
| KLOC      | Kilo Lines of Code                                         |
| PMEs      | Pequenas e Médias Empresas                                 |
| SaaS      | Software as a Service                                      |
| FPA       | Function Point Analysis                                    |
| UFP       | Unadjusted Function Points                                 |
| VAF       | Value Adjustment Factor                                    |
| IFPUG     | International Function Point Users Group                   |
| UCP       | Use Case Points                                            |
| UUCP      | Unadjusted Use Case Points                                 |
| TCF       | Technical Complexity Factors                               |
| EF        | Environmental Factors                                      |
| SP        | Story Points                                               |
| ML        | Machine Learning                                           |
| AM        | Aprendizado de Máquina                                     |
| EBSE      | Evidence-Based Software Engineering                        |
| PICOC     | Population, Intervention, Comparison, Outcomes and Context |
| HST       | Taxa Horária de Serviço Técnico                            |
| SI        | Sistemas de Informação                                     |
| TI        | Tecnologia da Informação                                   |
| WBS       | Work Breakdown Structure                                   |



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Ata da Sessão Solene de Defesa da Dissertação do Curso  
de Mestrado em Ciência da Computação-UFS.  
Candidato: MARCOS VENÍCIUS SANTOS

Em 23 dias do mês de março do ano de dois mil e vinte seis, com início às 09:30hs, realizou-se na Sala de Seminários do PROCC da Universidade Federal de Sergipe, na Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, a Sessão Pública de Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato **Cristiano Lima Oliveira** que desenvolveu o trabalho intitulado: **"Estimativa de Custos em Ambiente de Desenvolvimento de Software Ágil para Empresas de Pequeno e Médio Porte"**, sob a orientação do Prof. Dr. **Michel dos Santos Soares**. A Sessão foi presidida pelo Prof. Dr. **Michel dos Santos Soares** (PROCC/UFS), que após a apresentação da dissertação passou a palavra aos outros membros da Banca Examinadora, o Dr. **Heitor Augustus Xavier Costa** (UFLA) e, em seguida, Dr. **Edward David Moreno Ordóñez** (UFS). Após as discussões, a Banca Examinadora reuniu-se e considerou o mestrando (a) **APROVADO** "(aprovado/reprovado)". Atendidas as exigências da Instrução Normativa 05/2019/PROCC, do Regimento Interno do PROCC (Resolução 67/2014/CONEPE), e da Resolução nº 04/2021/CONEPE que regulamentam a Apresentação e Defesa de Dissertação, e nada mais havendo a tratar, a Banca Examinadora elaborou esta Ata que será assinada pelos seus membros e pelo mestrando.

Cidade Universitária "Prof. José Aloísio de Campos", 23 de março de 2026.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** MICHEL DOS SANTOS SOARES  
Data: 26/03/2026 14:26:36-0300  
verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof. Dr. Michel dos Santos Soares**  
(PROCC/UFS)  
Presidente

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** HEITOR AUGUSTUS XAVIER COSTA  
Data: 26/03/2026 14:18:30-0300  
verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof. Dr. Heitor Augustus Xavier Costa**  
(UFLA)  
Examinador Externo ao programa

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** EDWARD DAVID MORENO ORDÓNEZ  
Data: 27/03/2026 09:06:16-0300  
verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof. Dr. Edward David Moreno Ordóñez**  
(PROCC/UFS)  
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** MARCOS VENÍCIUS SANTOS  
Data: 27/03/2026 14:50:55-0300  
verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Marcos Venícius Santos**  
Candidato

# Sumário

|          |                                                                                                                                 |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                                                                                                               | <b>12</b> |
| <b>2</b> | <b>Referencial Teórico</b>                                                                                                      | <b>16</b> |
| 2.1      | Modelos Econômicos de Gestão de Software                                                                                        | 16        |
| 2.2      | COCOMO                                                                                                                          | 18        |
| 2.3      | COCOMO II                                                                                                                       | 20        |
| 2.4      | <i>Function Point Analysis</i>                                                                                                  | 21        |
| 2.5      | <i>Use Case Points</i>                                                                                                          | 22        |
| 2.6      | Story Point                                                                                                                     | 24        |
| 2.7      | <i>Benchmarking</i>                                                                                                             | 26        |
| 2.8      | <i>Velocity Forecasting</i>                                                                                                     | 27        |
| 2.9      | Modelos com Aprendizado de Máquina                                                                                              | 28        |
| 2.10     | Empresas de Pequeno e Médio Porte                                                                                               | 29        |
| <b>3</b> | <b>Revisão Sistemática</b>                                                                                                      | <b>31</b> |
| 3.1      | Metodologia da Revisão Sistemática                                                                                              | 32        |
| 3.1.1    | Seleção dos Casos                                                                                                               | 36        |
| 3.1.2    | Coleta e Análise de Dados                                                                                                       | 37        |
| 3.2      | Análise Bibliométrica RSL                                                                                                       | 38        |
| 3.3      | Quais são os principais desafios enfrentados pelas empresas na estimativa de custos em projetos de desenvolvimento de software? | 45        |
| 3.4      | Quais são as estratégias mais comumente utilizadas para enfrentar os desafios na estimativa de custos de software?              | 49        |
| 3.5      | Quais são os métodos de estimativa mais comumente utilizados?                                                                   | 52        |
| <b>4</b> | <b>Modelo Proposto: SP-CostAgile</b>                                                                                            | <b>57</b> |
| 4.1      | Cálculo das Taxas Horárias Efetivas                                                                                             | 59        |
| 4.2      | Diretrizes Detalhadas de Adoção                                                                                                 | 70        |
| <b>5</b> | <b>Resultados e Discussões</b>                                                                                                  | <b>77</b> |
| 5.1      | Resultados e Discussão Sobre Lacunas e Desafios em Estimativas Ágeis                                                            | 77        |
| 5.1.1    | Ameaças à Validade                                                                                                              | 82        |
| 5.1.2    | Agenda de Pesquisa e Direções Futuras                                                                                           | 82        |
| 5.2      | Limitações e Lacunas de Pesquisa nos Estudos Primários Seleccionados                                                            | 83        |
| 5.3      | Resultados da Aplicação do Modelo de Estimativa de Custos em Ambientes Ágeis                                                    | 84        |
| 5.4      | Limitações do Estudo                                                                                                            | 90        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>6 Conclusão . . . . .</b> | <b>92</b>  |
| <b>Referências . . . . .</b> | <b>95</b>  |
| <b>Apêndices</b>             | <b>106</b> |

# 1

## Introdução

O desenvolvimento de software em ambientes ágeis consolidou-se como a abordagem predominante nas últimas décadas, impulsionado pela necessidade de flexibilidade, ciclos curtos de entrega e adaptação contínua às mudanças de requisitos (RINDELL et al., 2021; MIHELIC; VRHOVEC; HOVELJA, 2023). A estimativa de custos permanece como atividade central do processo de desenvolvimento de software, que influencia diretamente o planejamento estratégico, a alocação de recursos, o controle de riscos e a tomada de decisões organizacionais (BUTT et al., 2021; SÁNCHEZ; SANTACRUZ; MACEDA, 2023). A natureza iterativa, incremental e frequentemente instável dos ambientes ágeis introduz incertezas significativas no processo de estimativa, sobretudo em cenários caracterizados por mudanças frequentes de escopo, evolução contínua dos requisitos e heterogeneidade das equipes (GRASS; BACKMANN; HOEGL, 2020).

A relevância dessa problemática tem sido amplamente reconhecida tanto no meio acadêmico quanto no contexto profissional, motivando um volume crescente de estudos voltados à compreensão, sistematização e aprimoramento das práticas de estimativa de custos em ambientes ágeis. As Revisões Sistemáticas da Literatura (RSLs) têm desempenhado papel fundamental ao sintetizar o estado da arte, identificar métodos predominantes, métricas amplamente utilizadas, fatores de impacto recorrentes e limitações metodológicas persistentes (USMAN et al., 2014; FERNÁNDEZ-DIEGO et al., 2020; ROBLES et al., 2023; PASUKSMIT; THONGTANUNAM; KARUNASEKERA, 2024). Os resultados dessas revisões indicam que técnicas como *Expert Judgment*, *Planning Poker* e abordagens baseadas em *Use Case Points* e *Story Points* permanecem amplamente empregadas, enquanto métricas como MMRE (Mean Magnitude of Relative Error) e MRE (Magnitude of Relative Error) continuam sendo utilizadas como referência para avaliação da acurácia das estimativas (USMAN et al., 2014). Porém, parte expressiva da literatura aponta resultados inconsistentes, limitada validação empírica e dificuldades de replicação, especialmente em contextos organizacionais distintos (FERNÁNDEZ-DIEGO et al., 2020).

Estudos recentes ampliam essa discussão ao considerar contextos emergentes, como

DevOps e desenvolvimento global de software, destacando a influência de fatores operacionais, organizacionais e humanos no desempenho das estimativas (ROBLES et al., 2023). Em ambientes ágeis iterativos, evidenciam-se como causas recorrentes de imprecisão fatores como ruídos nas informações, suposições inadequadas, mudanças frequentes de escopo, dependência excessiva de julgamento subjetivo e características específicas das equipes (PASUKSMIT; THONGTANUNAM; KARUNASEKERA, 2024). Embora modelos tradicionais, como o CO-COMO (Constructive Cost Model) baseado em KLOC (Kilo Lines of Code), ainda apresentem desempenho competitivo em determinados cenários (PUTRI; SIAHAAN; FATICHAH, 2021), sua aplicação em ambientes ágeis é frequentemente limitada por aspectos como custos ocultos, complexidade arquitetural, distribuição geográfica das equipes e dificuldades em capturar a real complexidade do software (KHAN et al., 2021; KHARUSI, 2020; ALANAZI et al., 2019).

Essas limitações tornam-se particularmente evidentes no contexto das Pequenas e Médias Empresas (PMEs), que representam parcela significativa do setor de tecnologia no Brasil e em diversos outros países. As PMEs operam, em geral, sob condições de escassez financeira e de recursos humanos, apresentando baixa padronização de processos, reduzida maturidade em engenharia de software e limitações na coleta e manutenção de dados históricos estruturados (UMEUGO, 2023; CORDEIRO et al., 2023). Diferentemente das grandes organizações, essas empresas raramente dispõem de equipes dedicadas à gestão de projetos, recorrendo a práticas flexíveis, porém frequentemente informais, para a alocação de recursos e o acompanhamento dos custos (ROJAS-LEMA et al., 2021). Como consequência, até pequenos desvios nas estimativas podem comprometer a viabilidade econômica dos projetos e a sustentabilidade organizacional (MARKAKI et al., 2023).

A ausência de dados históricos confiáveis e a informalidade dos processos inviabilizam, em muitos casos, a aplicação de modelos de estimativa que dependem de calibração baseada em registros passados. Decisões fundamentadas predominantemente em intuição ou abordagens *ad hoc* tendem a substituir métodos sistemáticos, introduzindo riscos adicionais ao planejamento financeiro (MARKAKI et al., 2023). A literatura indica que, em ambientes caracterizados por baixa maturidade metodológica e alta variabilidade de processos, a confiabilidade das estimativas é significativamente reduzida, sobretudo quando os modelos adotados não consideram fatores contextuais e operacionais específicos das PMEs (ROJAS-LEMA et al., 2021; AL-HANAKTA et al., 2021).

No âmbito das metodologias ágeis, esse desafio é intensificado pela própria lógica iterativa e incremental que orienta o desenvolvimento. *Frameworks* como Scrum e Kanban enfatizam a adaptabilidade e a entrega contínua de valor, o que implica que os custos não são definidos exclusivamente no início do projeto, mas evoluem progressivamente ao longo das iterações (MARKAKI et al., 2023; UMEUGO, 2023). Essa dinâmica dificulta a aplicação de modelos lineares ou estáticos de estimativa, frequentemente incapazes de capturar a fluidez do escopo e a incorporação contínua de novas informações (UMEUGO, 2023). Assim, a estimativa



em ambientes ágeis demanda métodos que incorporem mecanismos de refinamento contínuo, aprendizado incremental e atualização dinâmica das projeções financeiras (MARKAKI et al., 2023).

A aplicação de diretrizes para o uso de modelos de estimativa de custos em projetos ágeis tem sido apontada como estratégia promissora para aumentar a previsibilidade financeira e apoiar a tomada de decisão, mesmo em ambientes marcados por elevada incerteza (RAGHAVAN et al., 2020; JIANG; WANG, 2024). Ao estabelecer práticas claras para a construção, revisão e acompanhamento das estimativas, tais diretrizes auxiliam na identificação antecipada de desvios orçamentários e na adoção de ações corretivas de forma tempestiva (FENG et al., 2022). A efetividade depende de fatores como a disponibilidade de dados, o nível de maturidade ágil da organização e a capacidade de adaptação dos modelos às especificidades das PMEs (KHAN et al., 2021).

Apesar dos avanços observados, persiste uma lacuna relevante na literatura sobre a proposição de modelos de estimativa de custos que conciliem rigor teórico, simplicidade operacional e aderência às limitações contextuais das PMEs que adotam metodologias ágeis (BARATA et al., 2024; NARBAEV et al., 2024). Abordagens existentes priorizam a sofisticação técnica ou a precisão preditiva, frequentemente em detrimento da aplicabilidade prática em ambientes com recursos limitados, escassez de dados históricos e baixa maturidade de processos (BARATA et al., 2024; NARBAEV et al., 2024). Evidencia-se, portanto, a necessidade de pesquisas que considerem, de forma integrada, aspectos técnicos, organizacionais e humanos que influenciam a adoção e a eficácia das práticas de estimativa em contextos reais (MALIK; GOYAL, 2022).

Diante desse cenário, emerge o problema central que orienta esta dissertação: apesar da ampla difusão das metodologias ágeis e do avanço de modelos contemporâneos de estimativa, como as PMEs têm realizado suas estimativas de custos em projetos de desenvolvimento de software?

Esta dissertação tem como **objetivo geral** propor e avaliar um modelo de estimativa de custos aplicável a PMEs que utilizam métodos ágeis de desenvolvimento de software, fundamentado em evidências provenientes de revisões sistemáticas da literatura, análise crítica de estudos primários e integração de práticas clássicas e ágeis de estimativa. No modelo proposto, as variáveis consideradas são tratadas de maneira integrada e operacionalizável. O tempo é representado pela conversão de *Story Points* em horas de trabalho e pelo acompanhamento iterativo das *sprints*, permitindo a calibração contínua da produtividade da equipe.

A mão de obra constitui o eixo estruturante da modelagem, sendo detalhada por perfis técnicos, níveis de experiência e taxas horárias proporcionais, que resultam na composição da Taxa Horária Efetiva utilizada no cálculo do custo por *Story Point*. Os materiais, equipamentos e fatores financeiros são incorporados de forma agregada ao custo total das *sprints*, refletindo-se nas taxas horárias adotadas e nos valores históricos registrados, o que possibilita capturar

encargos indiretos, infraestrutura tecnológica e demais despesas operacionais sem comprometer a simplicidade e a aplicabilidade do modelo em PMEs. Dessa forma, o modelo mantém coerência metodológica ao mesmo tempo em que assegura abrangência dos principais componentes econômicos envolvidos no ciclo de vida do projeto.

### **Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo central desta pesquisa, a dissertação estrutura-se em um conjunto de objetivos específicos, a saber:

- Analisar o impacto da integração de modelos contemporâneos de estimativa de custos no desenvolvimento de software em ambientes ágeis;
- Adaptar modelos específicos de estimativa de custos, como *Planning Poker* e o modelo COCOMO II, ao contexto das Pequenas e Médias Empresas.
- Identificar variáveis como tempo, mão de obra, materiais, equipamentos e fatores financeiros, visando à previsão dos custos associados aos projetos;

A dissertação é estruturada de maneira progressiva e lógica. Inicialmente, no Capítulo 2, apresenta-se o referencial teórico, no qual são discutidos, de forma aprofundada, os conceitos relacionados à estimativa de custos, às metodologias ágeis e às suas interseções no contexto de PMEs. No Capítulo 3, é descrita a revisão sistemática da literatura, conduzida com rigor metodológico, a qual fundamenta a identificação dos principais desafios, métodos, métricas e lacunas existentes no estado da arte. No Capítulo 4, é detalhado o modelo de estimativa de custos proposto, incluindo seus pressupostos teóricos, as variáveis consideradas, as etapas de aplicação e os mecanismos de adaptação a ambientes ágeis com restrições estruturais. No Capítulo 5, são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação e avaliação do modelo, com ênfase na análise de seus benefícios, limitações e implicações práticas. No Capítulo 6, são expostas as conclusões e considerações finais, destacando-se as contribuições científicas e gerenciais da pesquisa, bem como as possibilidades para trabalhos futuros.

# 2

## Referencial Teórico

Esta seção apresenta a fundamentação teórica que sustenta o desenvolvimento deste estudo. São discutidos conceitos, modelos e abordagens relevantes relacionados à estimativa de custos em ambientes ágeis. A fundamentação teórica fornece o embasamento necessário para a compreensão dos métodos adotados e para a análise dos resultados. Esta seção contribui para o alinhamento teórico da pesquisa com os objetivos propostos.

### 2.1 Modelos Econômicos de Gestão de Software

A adoção de modelos econômicos para a gestão de software é essencial para a compreensão, o planejamento e a otimização dos custos e do valor associados aos investimentos em tecnologia (GIL-GOMEZ et al., 2020). Esses modelos fornecem perspectiva financeira estruturada que apoia a tomada de decisão relacionada à aquisição, implantação, operação e manutenção de sistemas de software, influenciando diretamente a sustentabilidade financeira de longo prazo das organizações (GIL-GOMEZ et al., 2020). Nesse contexto, os modelos econômicos desempenham papel estratégico ao alinhar os gastos com software aos objetivos organizacionais e às restrições orçamentárias.

Entre os modelos econômicos mais adotados destacam-se o modelo baseado em assinatura, o licenciamento perpétuo e o modelo de Software como Serviço (*Software as a Service – SaaS*) (LIU et al., 2021; FENG et al., 2022; LEE, 2021). Cada um desses modelos apresenta características financeiras, estruturas de custos e perfis de risco distintos, os quais impactam diretamente a forma como os custos de software são estimados, controlados e evoluem ao longo do tempo (LIU et al., 2021; LEE, 2021; FENG et al., 2022). A escolha do modelo econômico não deve ser compreendida apenas como decisão contratual, mas como elemento central da gestão de custos de software.

Os modelos de assinatura e de Software como Serviço (SaaS) caracterizam-se por

pagamentos contínuos ou recorrentes, geralmente estruturados em bases mensais ou anuais (LIU et al., 2021; LEE, 2021). Essa abordagem desloca os investimentos em software de desembolsos iniciais elevados para despesas operacionais, favorecendo escalabilidade e flexibilidade financeira. Tais modelos permitem que as organizações ajustem o uso de recursos conforme a demanda, o que contribui para previsibilidade de custos em ambientes dinâmicos e para a redução de riscos financeiros associados ao superdimensionamento de recursos (LEE, 2021). Entretanto, apesar das vantagens relacionadas à adaptabilidade, esses modelos podem resultar em custos acumulados mais elevados ao longo do tempo, caso não sejam devidamente monitorados e gerenciados.

Em contrapartida, o modelo de licenciamento perpétuo exige pagamento inicial significativo, concedendo à organização o direito de uso do software por tempo indeterminado (FENG et al., 2022). Embora esse modelo possa apresentar vantagens econômicas em ambientes estáveis, com requisitos bem definidos e pouca variabilidade, ele frequentemente envolve custos adicionais relacionados à manutenção, atualizações e infraestrutura. Esses custos podem dificultar o planejamento financeiro de longo prazo e reduzir a flexibilidade organizacional, especialmente em contextos sujeitos a mudanças frequentes de requisitos ou tecnologias (FENG et al., 2022). Assim, a estimativa precisa do custo total de propriedade torna-se complexa ao longo do ciclo de vida do software (FENG et al., 2022).

A crescente adoção de soluções baseadas em nuvem, especialmente o modelo SaaS, tem transformado a economia da gestão de software (RAGHAVAN et al., 2020; JIANG; WANG, 2024). Modelos baseados em nuvem reduzem a necessidade de infraestrutura dedicada, manutenção de hardware e atualizações manuais, permitindo que as organizações paguem apenas pelos recursos efetivamente utilizados. Essa mudança promove agilidade financeira e capacidade de adaptação às variações da indústria de software (RAGHAVAN et al., 2020). As organizações devem realizar análises detalhadas de custo-benefício, considerando aspectos como dependência de fornecedores, segurança da informação, conformidade regulatória e compromissos financeiros de longo prazo (RAGHAVAN et al., 2020; JIANG; WANG, 2024).

A escolha de um modelo econômico adequado possui implicações diretas nas estratégias de Tecnologia da Informação e na competitividade organizacional (RAGHAVAN et al., 2020; ILMUDEEN; BAO; ALHARBI, 2019). Decisões relacionadas à forma de aquisição e pagamento de software influenciam o desempenho operacional, a capacidade de inovação e a gestão da segurança (ILMUDEEN; BAO; ALHARBI, 2019; RAGHAVAN et al., 2020). Sob perspectiva estratégica, a seleção inadequada de modelos econômicos pode resultar em estimativas de custos imprecisas, estouros orçamentários e redução do retorno sobre o investimento (RAGHAVAN et al., 2020).

A avaliação criteriosa dos modelos econômicos de gestão de software é fundamental para garantir o alinhamento entre investimentos em software e os objetivos organizacionais (FENG et al., 2022). Ao considerar aspectos como estrutura financeira, exposição a riscos, escalabilidade e comportamento dos custos ao longo do tempo, as organizações podem aprimorar a precisão

das estimativas de custos, otimizar a alocação de recursos e promover crescimento sustentável (RAGHAVAN et al., 2020; JIANG; WANG, 2024). Nesse sentido, os modelos econômicos de gestão de software constituem base essencial para o planejamento financeiro e a estimativa de custos em ambientes contemporâneos intensivos em software (GIL-GOMEZ et al., 2020).

## 2.2 COCOMO

O COCOMO (*Constructive Cost Model*) é um dos modelos de estimativa de custos mais tradicionais e amplamente utilizados na Engenharia de Software (KHAN et al., 2021). O modelo foi proposto por Barry Boehm e publicado originalmente em 1981, ganhando grande destaque ao longo da década de 1980 por introduzir uma abordagem paramétrica para a previsão de esforço e custo em projetos de software (BOEHM et al., 1995; BOEHM et al., 2005; HUANG et al., 2007; MISLICK; NUSSBAUM, 2015). Desde então, o COCOMO consolidou-se como modelo influente e serviu de base para diversas extensões e estudos posteriores.

O modelo COCOMO é estruturado em três variantes principais: básica, intermediária e detalhada (SACHAN et al., 2016). A versão inicial foi desenvolvida a partir da análise de dados históricos de 63 projetos de software, com o objetivo de estimar o esforço necessário e o tempo de desenvolvimento por meio de uma equação matemática simples e empiricamente calibrada (SACHAN et al., 2016).

A equação fundamental do modelo básico é definida como:

$$E = A \times (KLOC)^B$$

Nessa equação, o tamanho do software é representado por *Kilo Lines of Code* (KLOC), isto é, milhares de linhas de código-fonte, enquanto o esforço de desenvolvimento é medido em pessoa-mês (SACHAN et al., 2016). Os parâmetros  $A$  e  $B$  são constantes empíricas fundamentais do modelo, determinadas com base no tipo e nas características do projeto (SACHAN et al., 2016).

O COCOMO básico classifica os projetos em três categorias distintas, de acordo com seu porte e complexidade (SACHAN et al., 2016). Como apresentado na Tabela 1, observa-se que cada categoria — orgânica, semi-acoplada e embarcada — está associada a diferentes faixas de tamanho do software, medidas em KLOC, bem como a equações específicas para estimativa de esforço. Nota-se, ainda, que o aumento do porte do projeto implica em um crescimento não linear do esforço estimado, refletido nos expoentes das equações.

Embora o modelo básico forneça estimativa inicial útil, o esforço calculado deve ser ajustado de acordo com as particularidades de cada projeto, a fim de melhorar a precisão dos resultados (SACHAN et al., 2016).

A versão intermediária do COCOMO é considerada uma extensão direta do modelo básico, pois adiciona nível de detalhamento ao processo de estimativa (BOEHM et al., 1995).

| Modelo              | Tamanho do Projeto | Esforço                        |
|---------------------|--------------------|--------------------------------|
| Modelo Orgânico     | Menor que 50 KLOC  | $E = 2.4 \times (KLOC)^{1.05}$ |
| Modelo Semiacoplado | 50–300 KLOC        | $E = 3.0 \times (KLOC)^{1.12}$ |
| Modelo Embarcado    | Maior que 300 KLOC | $E = 3.6 \times (KLOC)^{1.20}$ |

Tabela 1 – Modelos básicos do COCOMO

Essa versão incorpora 15 fatores adicionais, conhecidos como *cost drivers*, que representam variáveis relacionadas ao ambiente de desenvolvimento de software (SACHAN et al., 2016). Esses fatores abrangem aspectos como a complexidade do projeto, a experiência da equipe, a qualidade das ferramentas utilizadas, restrições de hardware e software, entre outros elementos relevantes do contexto de desenvolvimento (SACHAN et al., 2016).

A equação matemática do modelo intermediário é expressa da seguinte forma (SACHAN et al., 2016):

$$MM_{est} = A \times (SIZE)^B \times \prod_{i=1}^{15} EM_i$$

onde:

- $MM_{est}$  representa o esforço estimado em pessoa-mês para o desenvolvimento do projeto;
- $SIZE$  corresponde ao tamanho do software medido em *Kilo Delivered Source Instructions* (KDSI), isto é, milhares de instruções de código entregues, utilizado como base para estimar o esforço necessário (KAUSHIK et al., 2022);
- $A$  e  $B$  são constantes empíricas específicas para cada modo de projeto (orgânico, semi-detached ou embedded);
- $\prod_{i=1}^{15} EM_i$  corresponde ao produto dos 15 fatores de ajuste de esforço (*effort multipliers*), os quais capturam características do ambiente de desenvolvimento, incluindo, entre outros, confiabilidade requerida do software, tamanho do banco de dados, complexidade do produto, restrições de tempo de execução, restrições de memória, capacidade e experiência da equipe, familiaridade com a plataforma, uso de ferramentas de software e maturidade dos processos.

No modelo intermediário, os valores dos fatores de ajuste são atribuídos com base em escalas qualitativas que variam de muito baixo a extra alto. Essa abordagem permite uma análise mais refinada dos elementos que influenciam o esforço e o custo do projeto (BOEHM, 1981).

Com o avanço das tecnologias, das linguagens de programação e das práticas de desenvolvimento, especialmente diante de ambientes dinâmicos e iterativos, o modelo original foi posteriormente evoluído para o COCOMO II. Essa nova versão buscou tornar o modelo mais adequado a contextos modernos de desenvolvimento de software, incorporando suporte a novas

tecnologias, reutilização de componentes, desenvolvimento incremental e maior flexibilidade frente a mudanças frequentes de requisitos (BOEHM, 1981).

## 2.3 COCOMO II

Em continuidade ao modelo COCOMO clássico apresentado na subseção anterior, o COCOMO II foi desenvolvido em meados da década de 1990 com o objetivo de superar limitações identificadas no modelo original, especialmente diante da evolução das tecnologias, linguagens de programação e práticas de desenvolvimento de software (BOEHM et al., 1995). O COCOMO II foi elaborado pela University of Southern California em colaboração com grupos da indústria, buscando aderência a contextos modernos de desenvolvimento, caracterizados por reutilização de componentes, ciclos iterativos e mudanças frequentes de requisitos (BOEHM, 1981; BOEHM et al., 2005).

Diferentemente do COCOMO original, fortemente dependente de métricas baseadas exclusivamente em linhas de código, o COCOMO II foi projetado para estimar esforço em diferentes fases do ciclo de vida do software, com ênfase nas etapas de análise de requisitos, projeto e desenvolvimento (BOEHM et al., 2005). Essa evolução torna o modelo flexível e compatível com ambientes de desenvolvimento contemporâneos, incluindo abordagens iterativas e incrementais.

O COCOMO II é estruturado em três submodelos principais: *Application Composition*, *Initial Design* e *Post-Architecture*, os quais permitem estimativas progressivas de custo, esforço e cronograma conforme o nível de detalhamento do projeto aumenta (MUSÍLEK et al., 2002; MISLICK; NUSSBAUM, 2015; MALIK; GOYAL, 2022).

O submodelo *Application Composition* é aplicado nas fases iniciais e estima o esforço com base na integração de componentes reutilizáveis e pontos de aplicação, como telas e relatórios, sendo particularmente adequado a projetos que utilizam ferramentas de desenvolvimento rápido (MALIK; GOYAL, 2022). O submodelo *Initial Design* fornece estimativas preliminares de custo e duração a partir de pontos de função não ajustados, empregando equações preditivas para estimar o tamanho do software ainda em estágios iniciais (MALIK; GOYAL, 2022). O submodelo *Post-Architecture* é utilizado após a definição da arquitetura do sistema e calcula esforço e custo com base em métricas como linhas de código ou pontos de função, incorporando fatores de risco e complexidade (MALIK; GOYAL, 2022).

A equação geral utilizada no COCOMO II para estimar o esforço de desenvolvimento é expressa por (MUSÍLEK et al., 2002; MISLICK; NUSSBAUM, 2015):

$$\text{Esforço} = A \times (\text{Size})^B \times \prod_{i=1}^n EM_i \times EAF$$



Em que *Size* representa o tamanho planejado do sistema,  $EM_i$  são os multiplicadores de esforço associados às características do projeto e do ambiente de desenvolvimento e *EAF* corresponde ao fator agregado de ajuste de esforço. Essa formulação mantém a base conceitual do COCOMO intermediário, ao mesmo tempo em que amplia sua capacidade de adaptação a contextos mais dinâmicos.

## 2.4 *Function Point Analysis*

A Análise por Pontos de Função (*Function Point Analysis – FPA*) é um método amplamente consolidado e padronizado para a mensuração do tamanho funcional de sistemas de software (ABRAN; ROBILLARD, 1996). Desenvolvida originalmente por Allan Albrecht, na IBM, e publicada pela primeira vez em 1979, a FPA tem como objetivo quantificar a funcionalidade de um sistema a partir da perspectiva do usuário, de forma independente da linguagem de programação, da tecnologia empregada ou da metodologia de desenvolvimento utilizada (ABRAN; ROBILLARD, 1996). Essa característica torna o método adequado para estimativas realizadas nas fases iniciais do projeto, quando informações técnicas detalhadas ainda não estão disponíveis.

O principal propósito da FPA é avaliar a funcionalidade do software com base nos requisitos do usuário, fornecendo medida consistente e reproduzível do tamanho funcional entregue (ABRAN; ROBILLARD, 1996). Diferentemente de métricas baseadas em código, a FPA concentra-se no que o sistema faz, e não em como ele é implementado, permitindo sua aplicação ao longo de todo o ciclo de vida do software, desde a concepção até a manutenção (LUMBA; WIDYANINGRUM; WAWORUNTU, 2025).

O processo de medição da FPA é composto por dois elementos principais. O primeiro corresponde ao tamanho funcional não ajustado, conhecido como *Unadjusted Function Points* (UFP) (LUMBA; WIDYANINGRUM; WAWORUNTU, 2025). Esse valor é obtido a partir da identificação e classificação dos componentes funcionais do sistema, como entradas externas, saídas externas, consultas externas, arquivos lógicos internos e arquivos de interface externa, os quais são ponderados conforme o nível de complexidade percebido do ponto de vista funcional do usuário final (*end-user*), refletindo a interação esperada com o sistema, e não aspectos técnicos de implementação. (ABRAN; ROBILLARD, 1996). Essa etapa busca representar a complexidade funcional inerente ao sistema (HU, 2024).

O segundo elemento é o Fator de Ajuste de Valor I – VAF), utilizado para refinar o tamanho funcional ao considerar características gerais do sistema, tais como restrições de desempenho, taxas de transação, comunicações de dados e complexidade operacional (ABRAN; ROBILLARD, 1996). O VAF ajusta os pontos de função não ajustados, resultando na contagem final de Pontos de Função. Embora versões mais recentes dos padrões tenham reduzido a ênfase nesse fator, o VAF permanece relevante em análises históricas e em práticas tradicionais de estimativa de custo e esforço.



Entre os anos de 1979 e 1996, a FPA passou por diversos refinamentos e esforços de padronização, culminando na publicação de sete versões principais do método (ABRAN; ROBILLARD, 1996). Essas versões refletem a evolução das regras de contagem, das definições conceituais e das diretrizes de aplicação, com o objetivo de aumentar a consistência e a aplicabilidade do método em diferentes contextos de projeto. Conforme apresentado na Tabela 2, as três primeiras versões concentraram-se nos fundamentos conceituais da FPA, enquanto as versões subsequentes, mantidas pelo *International Function Point Users Group* (IFPUG), enfatizaram a formalização do método e sua adoção industrial.

| Versão | Referência  |
|--------|-------------|
| 1      | Albrecht 79 |
| 2      | Albrecht 83 |
| 3      | GUIDE 84    |
| 4      | IFPUG 65    |
| 5      | IFPUG 88    |
| 6      | IFPUG 90    |
| 7      | IFPUG 94    |

Tabela 2 – Referências das versões da Análise por Pontos de Função

Com o avanço da Engenharia de Software e o aumento da complexidade dos projetos, a utilização isolada de modelos tradicionais de estimativa passou a apresentar limitações (LI et al., 2022). A adaptação e a integração da FPA com outros modelos de estimativa tornaram-se fundamentais para apoiar a melhoria da qualidade do desenvolvimento de software e a tomada de decisão gerencial (MISLICK; NUSSBAUM, 2015). Tais adaptações buscam lidar com incertezas, mudanças frequentes de requisitos e restrições organizacionais, especialmente em ambientes dinâmicos (LI et al., 2022).

A análise por Pontos de Função mantém-se como uma técnica de referência para a mensuração funcional, sendo frequentemente utilizada como base para modelos de estimativa de custo, esforço e prazo (HU, 2024). A maturidade metodológica, aliada ao respaldo empírico, justifica a sua permanência como um dos principais métodos de medição de software, tanto em contextos tradicionais quanto em abordagens contemporâneas de desenvolvimento (LUMBA; WIDYANINGRUM; WAWORUNTU, 2025).

## 2.5 Use Case Points

*Use Case Points* (UCP) é uma método de estimativa amplamente utilizada para calcular o esforço necessário em projetos de desenvolvimento de software, considerando as funcionalidades do sistema descritas por meio de casos de uso elaborados durante a fase de requisitos (NAGESWARAN, 2001). O método adota abordagem orientada ao usuário, fundamentada nas interações entre atores e sistema, permitindo que o tamanho funcional do software seja estimado

mesmo antes da definição completa da arquitetura (CLEMMONS, 2006; MAHMOOD; KAMA; AZMI, 2020). Essa característica torna o UCP particularmente adequado para projetos orientados a objetos e baseados em modelos UML, nos quais os casos de uso representam o principal artefato de especificação funcional (MAHMOOD; KAMA; AZMI, 2020).

O método UCP foi originalmente proposto como adaptação dos métodos tradicionais de estimativa de esforço para o contexto da modelagem por casos de uso (KARNER, 1993). Desde a introdução, o UCP tem sido amplamente aceito na literatura científica e na prática industrial por causa do conceito, facilidade de compreensão e baixo custo de aplicação (KARNER, 1993; ROMAHDONI; KURNIAWAN; PRIKURNIA, 2024). A adoção é especialmente relevante em cenários nos quais os requisitos ainda estão em evolução e o nível de detalhamento técnico disponível é limitado (ROMAHDONI; KURNIAWAN; PRIKURNIA, 2024). O processo de aplicação do UCP inicia-se com a identificação dos atores que interagem com o sistema e dos casos de uso que representam as funções principais (NHUNG; HOC; HAI, 2020).

Os atores são classificados em categorias de complexidade, como simples, médio ou complexo, de acordo com o tipo de interface utilizada e o nível de interação estabelecido com o sistema (VITO et al., 2023). De forma semelhante, os casos de uso são classificados com base na quantidade de transações que contêm, refletindo a complexidade funcional e o volume de processamento envolvido (NHUNG; HOC; HAI, 2020; VITO et al., 2023). Após a etapa de classificação, pesos predefinidos são atribuídos aos atores e aos casos de uso para o cálculo dos Pontos de Caso de Uso Não Ajustados (*Unadjusted Use Case Points – UUCP*) (AZZEH et al., 2022).

O valor representa o tamanho funcional bruto do sistema, desconsiderando fatores técnicos e organizacionais que possam impactar o esforço de desenvolvimento (HARIS; CHUA; LIM, 2023). O UUCP constitui a base quantitativa inicial do método e serve como referência para os ajustes subsequentes da estimativa (MARAPELLI; CARIE; ISLAM, 2021). Os Fatores de Complexidade Técnica (Technical Complexity Factors – TCF) são utilizados para incorporar características técnicas do sistema que influenciam diretamente o esforço de desenvolvimento (AZZEH; NASSIF; ATTILI, 2021).

Esses fatores incluem requisitos de desempenho, níveis de segurança, reutilização de componentes, processamento distribuído, portabilidade e integração com sistemas externos. Cada fator é avaliado de acordo com a relevância no projeto e ponderado para ajustar o valor inicial do UUCP (MAHMOOD; KAMA; AZMI, 2020; HOC; HAI; NHUNG, 2020). Além dos fatores técnicos, o método UCP considera os Fatores Ambientais (*Environmental Factors – EF*), que representam as condições do ambiente de desenvolvimento e as características da equipe envolvida (KRÖGER et al., 2024). Esses fatores avaliam aspectos como experiência da equipe, familiaridade com a tecnologia, maturidade do processo de desenvolvimento, estabilidade dos requisitos e restrições de cronograma (LAKSANA; PRIYADI; WIBOWO, 2025).

A aplicação dos fatores ambientais permite que a estimativa reflita de forma realista

o contexto organizacional e humano do projeto (MAHMOOD; KAMA; AZMI, 2020). A combinação dos fatores técnicos e ambientais resulta no valor final dos UCP, que representa estimativa ajustada do tamanho funcional do sistema (YANIS; PRIYADI; PUSPITASARI, 2022). Esse valor é convertido em esforço por meio de taxas de produtividade, normalmente expressas em horas por ponto de caso de uso, definidas com base em dados históricos ou julgamento de especialistas (LAKSANA; PRIYADI; WIBOWO, 2025). É possível estimar o esforço total, a duração do projeto e a necessidade de recursos humanos envolvidos (SENEVIRATHNE; WIJAYASIRIWARDHANE, 2020).

Vantagens do UCP é aplicabilidade em fases iniciais do ciclo de vida do software, quando outros métodos de estimativa ainda não podem ser aplicadas de forma confiável (YANIS; PRIYADI; PUSPITASARI, 2022). Mesmo diante de requisitos incompletos, ambíguos ou sujeitos a mudanças frequentes, o UCP fornece base quantitativa inicial para planejamento e tomada de decisão (YANIS; PRIYADI; PUSPITASARI, 2022). Essa característica torna o método útil em ambientes iterativos e incrementais, como os adotados por abordagens ágeis (MAHMOOD; KAMA; AZMI, 2020). Apesar das vantagens, estudos apontam que a precisão do UCP pode ser influenciada pela subjetividade inerente à classificação dos atores, dos casos de uso e dos fatores de ajuste (AZZEH; NASSIF; ATTILI, 2021).

Diferenças na experiência dos analistas, na interpretação dos critérios e na qualidade da documentação podem gerar variações significativas nas estimativas produzidas (NAING; TSUME, 2024). Extensões, calibrações empíricas e adaptações do método têm sido propostas na literatura (NHUNG; HOC; HAI, 2020). O UCP continua sendo método relevante para estimativa de esforço em projetos de software, especialmente quando combinado com outras técnicas ou ajustado ao contexto organizacional específico (TSUME et al., 2020). A simplicidade conceitual, o baixo custo de aplicação e o alinhamento natural com a modelagem por casos de uso contribuem para adoção em projetos reais de diferentes portes (MARAPELLI; CARIE; ISLAM, 2021). O UCP permanece como método válido para apoiar o planejamento, o controle e a gestão de projetos de software, servindo como base para modelos híbridos e propostas de estimativa recentes (NAING; TSUME, 2024).

## 2.6 Story Point

*Story Points* (SP) são técnicas amplamente utilizadas em metodologias ágeis (FU; TANTITHAMTHAVORN, 2022), especialmente no Scrum, para estimar o esforço necessário para a conclusão de uma história de usuário (MALLIDI; SHARMA, 2021). Em vez de mensurar o tempo de execução de uma tarefa, os SP avaliam a complexidade relativa entre diferentes tarefas (FU; TANTITHAMTHAVORN, 2022). Cada tarefa recebe uma quantidade de pontos com base em fatores como dificuldade, tempo e riscos envolvidos (MALLIDI; SHARMA, 2021). O principal objetivo dessa técnica é oferecer forma flexível de estimar o trabalho, auxiliando as

equipes a concentrarem seus esforços em resultados e entregas (MALLIDI; SHARMA, 2021).

A atribuição de SP é realizada por meio de escala relativa, na qual histórias simples recebem valores menores, como 1 ou 2 pontos, enquanto histórias mais complexas recebem valores mais elevados, como 5 ou 8 pontos (MALLIDI; SHARMA, 2021). Em vez de estimar diretamente o tempo necessário para a execução de uma tarefa, as equipes comparam a complexidade das histórias com outras concluídas (YALÇINER et al., 2024). Esse processo de estimativa é frequentemente conduzido em sessões de *Planning Poker*, nas quais os membros da equipe discutem e chegam a um consenso sobre os valores adequados para cada história com base em suas experiências (TAWOSI; AL-SUBAIHIN; SARRO, 2022).

Uma das principais vantagens do uso de SP é a possibilidade de concentrar a estimativa na complexidade das tarefas, em vez de tentar prever o tempo exato necessário para execução (YALÇINER et al., 2024). Isso torna o planejamento realista, uma vez que a previsão precisa de tempo é particularmente difícil em tarefas de maior complexidade (YALÇINER et al., 2024). Ao utilizar SP, as equipes conseguem acompanhar o desempenho ao longo do tempo, ajustando estimativas à medida que adquirem experiência, o que contribui para a melhoria da previsibilidade dos projetos (YALÇINER et al., 2024).

Os SP desempenham papel fundamental no planejamento estratégico e na gestão da capacidade das equipes ágeis (FU; TANTITHAMTHAVORN, 2022). A soma dos SP concluídos ao final de cada *sprint* permite o cálculo da velocidade da equipe, que representa a quantidade média de trabalho entregue em determinado período (MALLIDI; SHARMA, 2021). Essa métrica auxilia na previsão de entregas futuras, contribuindo para um planejamento realista e alinhado às capacidades reais do time (TAWOSI; AL-SUBAIHIN; SARRO, 2022). Os *Story Points* passam a atuar como instrumento de apoio à tomada de decisão, reduzindo incertezas relacionadas a prazos e escopo do projeto (YALÇINER et al., 2024).

O uso de SP está na promoção da colaboração e do entendimento compartilhado entre os membros da equipe (TAWOSI; ALAMIR; LIU, 2023). Durante as sessões de estimativa, as discussões sobre o valor atribuído a cada história incentivam a troca de perspectivas técnicas e funcionais (NEO et al., 2025). Esse processo favorece o esclarecimento de requisitos, a identificação de riscos e a antecipação de possíveis dificuldades de implementação (PERMANA; FERDIANA; PRATAMA, 2024). Como resultado, ocorre redução de ambiguidades nas fases iniciais do desenvolvimento, o que impacta positivamente a qualidade das entregas e a eficiência do processo ágil (YALÇINER et al., 2024).

Os SP também contribuem para o amadurecimento contínuo da equipe ao longo do projeto (NEO et al., 2025). À medida que os ciclos de desenvolvimento avançam, os times passam a calibrar estimativas com base em experiências anteriores, tornando-as progressivamente consistentes (TAWOSI; AL-SUBAIHIN; SARRO, 2022). Esse aprendizado incremental permite ajustes no planejamento das *sprints*, aumentando a previsibilidade e a confiabilidade das estimativas (NEO et al., 2025). Os SP não devem ser vistos como valores estáticos, mas como um

mecanismo adaptativo que evolui conforme o contexto e a maturidade da equipe (PERMANA; FERDIANA; PRATAMA, 2024).

A aplicação inadequada dos SP pode comprometer seus benefícios (TAWOSI; ALAMIR; LIU, 2023). Quando utilizados como métricas de desempenho individual ou comparações entre equipes diferentes, seu propósito original é distorcido (NEO et al., 2025). Os SP foram concebidos para apoiar o planejamento e a organização do trabalho, não para mensurar produtividade individual (NEO et al., 2025). A interpretação incorreta desses valores pode gerar pressões indevidas, afetar a motivação da equipe e comprometer os princípios fundamentais das metodologias ágeis (MALLIDI; SHARMA, 2021).

Observa-se que os SP permanecem como técnicas consolidadas de estimativa em ambientes ágeis, especialmente por causa da flexibilidade e adaptabilidade (TAWOSI; ALAMIR; LIU, 2023). Mesmo diante de desafios e limitações, sua utilização favorece uma visão holística do esforço envolvido no desenvolvimento de software (NEO et al., 2025). Quando aplicados de forma adequada, os SP contribuem para o equilíbrio entre previsibilidade e adaptação, elementos essenciais para o sucesso de projetos conduzidos sob metodologias ágeis (YALÇINER et al., 2024).

## 2.7 *Benchmarking*

A abordagem de *benchmarking* têm sido utilizadas na estimativa de custos e esforços em projetos de software por meio da comparação com dados históricos de projetos semelhantes (VITO et al., 2023). Essa abordagem parte do pressuposto de que projetos com características comparáveis tendem a apresentar padrões semelhantes de consumo de recursos (MARAPELLI; CARIE; ISLAM, 2021). Ao utilizar referências históricas consolidadas, o *benchmarking* contribui para a construção de estimativas realistas e fundamentadas empiricamente (AZZEH et al., 2022). Essa técnica auxilia na identificação de desvios de desempenho e oportunidades de melhoria contínua (HARIS; CHUA; LIM, 2023). No contexto organizacional, o uso de *benchmarking* favorece o alinhamento das estimativas com práticas reconhecidas no setor. A abordagem se apresenta como mecanismo relevante para reduzir incertezas iniciais no planejamento de projetos de software (MARAPELLI; CARIE; ISLAM, 2021).

A literatura destaca que o *benchmarking* se baseia em indicadores objetivos para posicionar novos projetos em relação a padrões previamente observados (YANIS; PRIYADI; PUSPITASARI, 2022). Métricas como tamanho do código, complexidade funcional e níveis de produtividade são frequentemente empregadas para estabelecer comparações consistentes (KRÖGER et al., 2024). Esses indicadores permitem avaliar o esforço esperado e os custos associados, especialmente em ambientes técnicos complexos (MAHMOOD; KAMA; AZMI, 2020). O uso de métricas padronizadas facilita análises comparativas entre equipes, projetos e organizações distintas (MARAPELLI; CARIE; ISLAM, 2021). Essa característica contribui

para previsibilidade financeira e melhor controle gerencial (HARIS; CHUA; LIM, 2023). O *benchmarking* atua como ponte entre dados históricos e a estimativa de novos projetos (AZZEH et al., 2022).

Apesar de seus benefícios, a aplicação de técnica de *benchmarking* enfrenta desafios relacionados à comparabilidade dos dados utilizados (TAWOSI; AL-SUBAIHIN; SARRO, 2022). Diferenças contextuais entre projetos, como tecnologias empregadas, maturidade das equipes e características organizacionais, podem comprometer a validade das comparações (MALLIDI; SHARMA, 2021). A disponibilidade de bases de dados abertas, confiáveis e atualizadas é limitada. Esses fatores introduzem riscos de viés nas estimativas e podem reduzir a efetividade da técnica (MALLIDI; SHARMA, 2021). Consequentemente, o uso do *benchmarking* exige cuidados metodológicos na seleção e interpretação dos dados de referência. A técnica deve ser aplicada de maneira crítica e contextualizada (FU; TANTITHAMTHAVORN, 2022).

Em PMEs, a efetividade do *benchmarking* é frequentemente limitada pela escassez de registros históricos estruturados (REHMAN; MOHAMED; AYOUP, 2019). A ausência de dados consolidados dificulta a construção de referências internas confiáveis para comparação (BOONE et al., 2022). Em ambientes ágeis, esse desafio é intensificado pela natureza iterativa e incremental dos projetos, que demanda ajustes frequentes nas estimativas (OLIVEIRA, 2011). Abordagens tradicionais de *benchmarking* tendem a ser insuficientes para capturar a dinâmica real do desenvolvimento (SANTOS; COSTA; FERREIRA, 2021). A literatura aponta a necessidade de adaptações que considerem ciclos curtos, mudanças contínuas e aprendizado progressivo (LI et al., 2023). Essas adaptações tornam o *benchmarking* compatível com práticas ágeis contemporâneas (PECH; VRCHOTA, 2020).

## 2.8 Velocity Forecasting

A previsão de velocidade (*velocity forecasting*) tem se consolidado como técnica relevante para a estimativa de esforço e custos em ambientes ágeis, especialmente em organizações que operam sob restrições de recursos (ALANAZI et al., 2019). Ao utilizar dados históricos de *sprints* anteriores, essa técnica permite estimar a capacidade futura das equipes de forma incremental e adaptativa (SCHÜNKE et al., 2022). Essa característica torna a previsão de velocidade particularmente adequada para PMEs, que necessitam de métodos de baixo custo de implementação (ALANAZI et al., 2019). A técnica favorece revisões contínuas das estimativas à medida que novos dados são incorporados (KHAN et al., 2021). A previsão de velocidade contribui para previsibilidade e controle financeiro ao longo do desenvolvimento (PUTRI; SIAHAAN; FATICHAH, 2021). Consolida-se como alternativa para apoiar o planejamento ágil de projetos de software (FERNÁNDEZ-DIEGO et al., 2020).

Técnicas estatísticas têm sido empregadas para aprimorar a estabilidade das previsões de velocidade em curto prazo (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021). Técnicas como médias



móveis, modelos ARIMA e abordagens bayesianas permitem suavizar variações pontuais no desempenho das equipes, reduzindo o impacto de flutuações temporárias. (ÜNLÜ et al., 2022). Essas abordagens contribuem para a geração de estimativas, mesmo em cenários caracterizados por elevada incerteza (BUTT et al., 2022). O uso de modelos estatísticos favorece a identificação de tendências e padrões recorrentes ao longo do tempo (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023). Essa capacidade analítica é especialmente relevante em ambientes ágeis, nos quais a produtividade pode variar entre iterações (BUTT et al., 2023). A incorporação de técnicas estatísticas fortalece a confiabilidade das previsões de velocidade (GOVIL; SHARMA, 2022).

Ferramentas ágeis amplamente utilizadas na indústria de desenvolvimento de software como o Jira, desempenham um papel central no suporte à previsão de velocidade e à estimativa de custos (ALSHAMMARI, 2022). Essas plataformas oferecem funcionalidade integrada para coleta automática de dados históricos, geração de relatórios visuais e acompanhamento do progresso das equipes (FENG; PERIYASAMY, 2022). Por meio de *plugins* e painéis customizáveis, é possível consolidar informações de **sprints** anteriores e apoiar ajustes dinâmicos nas estimativas (KUMAR; SINGH, 2023). A visualização contínua do desempenho facilita a comunicação entre stakeholders e equipes técnicas. Essas características tornam as ferramentas ágeis aliadas estratégicas no processo de estimativa (KOMALA et al., 2023). A tecnologia atua como facilitadora da aplicação prática da previsão de velocidade (STUKES et al., 2021).

A literatura aponta que a combinação de diferentes abordagens, como *benchmarking*, *machine learning* e previsão de velocidade (ALSHAMMARI, 2022). Cada abordagem contribui com perspectivas distintas, permitindo compensar limitações individuais por meio de integração metodológica (ÜNLÜ et al., 2022). Quando adaptadas às restrições específicas das PMEs, essas abordagens favorecem confiabilidade e aplicabilidade prática (KUMAR; SINGH, 2023). Em ambientes ágeis, essa integração apoia decisões estratégicas ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento (BUTT et al., 2023). A utilização combinada de métodos fortalece a capacidade organizacional de lidar com incertezas (GOVIL; SHARMA, 2022). A estimativa de custos torna-se processo consistente e orientado à tomada de decisão (FERNÁNDEZ-DIEGO et al., 2020).

## 2.9 Modelos com Aprendizado de Máquina

A estimativa de custos em Aprendizado de Máquina (AM) depende do tipo de algoritmo adotado e da complexidade do projeto (NARBAEV et al., 2024). As principais categorias de AM que influenciam os custos são o Aprendizado Supervisionado, o Aprendizado Não Supervisionado e o Aprendizado por Reforço.

No Aprendizado Supervisionado, os custos elevados decorrem do treinamento de modelos com grandes conjuntos de dados rotulados, especialmente em abordagens de aprendizado profundo, que demandam significativo poder computacional. A aquisição e a preparação dos

dados, incluindo processos de rotulagem manual ou semi-automatizada, aumentam ainda mais as despesas (UMEUGO, 2023). O Aprendizado Não Supervisionado geralmente envolve custos mais baixos, uma vez que não requer rotulagem dos dados; entretanto, algoritmos de agrupamento e redução de dimensionalidade podem demandar recursos computacionais substanciais, sendo que os custos também dependem da organização e da preparação dos dados (ROJAS-LEMA et al., 2021).

O Aprendizado por Reforço pode apresentar custos elevados por causa do treinamento repetido de agentes que interagem com ambientes, especialmente em simulações complexas que exigem grande quantidade de recursos computacionais e tempo de execução (MARKAKI et al., 2023). De modo geral, as características distintas de cada tipo de AM afetam diretamente as estimativas de custo, destacando a importância do planejamento estratégico para a otimização de recursos e a garantia da viabilidade do projeto (MARKAKI et al., 2023).

## 2.10 Empresas de Pequeno e Médio Porte

O desempenho no desenvolvimento de projetos de software exerce papel estratégico na estrutura organizacional das empresas, contribuindo diretamente para o aprimoramento de processos internos, da capacidade competitiva e da sustentabilidade do negócio (REHMAN; MOHAMED; AYOUP, 2019). Tal desempenho está intrinsecamente relacionado à maturidade organizacional, à capacidade de adaptação a mudanças na gestão de recursos, fatores especialmente críticos no contexto das PMEs.

As PMEs caracterizam-se, de modo geral, por estruturas organizacionais mais enxutas, limitação de recursos financeiros e humanos, e elevada dependência de decisões estratégicas de curto prazo (OLIVEIRA, 2011). Essas características, embora proporcionem maior flexibilidade e rapidez na tomada de decisão, impõem desafios significativos relativos à padronização de processos, à adoção de modelos formais de gestão e à previsibilidade de custos e prazos em projetos de desenvolvimento de software (SANTOS; COSTA; FERREIRA, 2021).

A literatura apresenta diferentes critérios para a classificação das organizações como pequenas ou médias (LI et al., 2023). Entre os mais utilizados destacam-se a quantidade de empregados, o faturamento anual, o nível de intensidade tecnológica e a maturidade organizacional (PECH; VRCHOTA, 2020). Modelos de maturidade, como o VPi4, por exemplo, avaliam o grau de adoção de tecnologias associadas à Indústria 4.0, permitindo uma análise mais abrangente da capacidade tecnológica e inovadora das empresas, aspecto particularmente relevante para PMEs que atuam no setor de software (BOONE et al., 2022).

No contexto brasileiro, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) adota predominantemente a quantidade de funcionários como critério de classificação, diferenciando empresas de pequeno e médio porte de acordo com o setor de atuação (SEBRAE, 2007). Embora esse critério seja amplamente utilizado por sua simplicidade e aplicabilidade



prática, ele não contempla integralmente aspectos como complexidade organizacional, capacidade produtiva e nível tecnológico, determinantes no desenvolvimento de projetos de software (BOONE et al., 2022).

Complementarmente, outras abordagens classificatórias consideram o faturamento anual como indicador de porte empresarial. O editorial *informatica-hoje-2023*, por exemplo, estabelece faixas de faturamento específicas para caracterizar empresas do setor de tecnologia da informação, exigindo que pelo menos 10% da receita anual esteja associada a atividades do segmento de informática para a empresa ser enquadrada nessa categoria (MOHERDAUI, 2023). Essa abordagem é particularmente relevante para estudos voltados ao desenvolvimento de software, pois relaciona diretamente o porte da empresa à sua atuação efetiva no setor tecnológico (ASRES; ARDITO; PATTI, 2021).

As PMEs enfrentam desafios adicionais quando comparadas a grandes organizações (UMEUGO, 2023). A escassez de dados históricos, a informalidade nos processos de estimativa, a dependência de especialistas e a volatilidade dos requisitos são fatores recorrentes que dificultam a aplicação de modelos tradicionais de estimativa de custos (USMAN et al., 2014; ALANAZI et al., 2019). Modelos clássicos, como o COCOMO, embora amplamente difundidos, apresentam limitações quando aplicados a ambientes ágeis e a organizações de menor porte, uma vez que pressupõem estabilidade de requisitos, maior previsibilidade e disponibilidade de métricas consolidadas (ROJAS-LEMA et al., 2021).

PMEs tendem a adotar metodologias ágeis como estratégia para lidar com incertezas, reduzir desperdícios e aumentar a responsividade às demandas do mercado. Contudo, a adoção dessas metodologias nem sempre é acompanhada por mecanismos adequados de estimativa de custos e esforço, o que pode comprometer a viabilidade econômica dos projetos e a sustentabilidade organizacional (FERNÁNDEZ-DIEGO et al., 2020). Modelos de estimativa flexíveis, adaptativos e alinhados às particularidades das PMEs, considerando tanto suas restrições quanto suas potencialidades tornam-se necessários (MARKAKI et al., 2023).

Compreender o contexto organizacional, estrutural e econômico das PMEs é essencial para fundamentar a proposição de abordagens de estimativa de custos mais eficazes, especialmente aquelas que integram metodologias ágeis e técnicas baseadas em dados, como aprendizado de máquina (ASRES; ARDITO; PATTI, 2021). Essa compreensão contribui para o desenvolvimento de soluções mais realistas e aplicáveis, aumentando a probabilidade de sucesso dos projetos de software conduzidos por PMEs (PECH; VRCHOTA, 2020).

# 3

## Revisão Sistemática

A RSL constitui um dos pilares metodológicos centrais desta dissertação, que possibilita a identificação, avaliação crítica e síntese estruturada do conhecimento científico existente sobre estimativa de custos em projetos de desenvolvimento de software conduzidos em ambientes ágeis, com ênfase no contexto das PMEs. Diferentemente de revisões narrativas tradicionais, a RSL caracteriza-se por processo rigoroso, transparente e reproduzível, orientado por protocolos metodológicos previamente definidos, cujo objetivo é minimizar vieses, aumentar a confiabilidade dos resultados e garantir consistência científica às conclusões obtidas.

Neste capítulo, apresenta-se de forma detalhada o processo de condução da revisão sistemática realizada neste estudo, cujo o objetivo é analisar e sintetizar os trabalhos científicos relevantes relacionados ao tema investigado. A revisão foi planejada e executada de maneira estruturada, seguindo diretrizes consolidadas na área de Engenharia de Software, de modo a assegurar coerência metodológica desde a definição das questões de pesquisa até a análise e interpretação dos resultados. Esse rigor é particularmente relevante em domínio caracterizado pela diversidade de abordagens, contextos organizacionais e métodos empíricos, como é o caso da estimativa de custos em ambientes ágeis.

A revisão sistemática desenvolvida nesta dissertação tem como objetivo fornecer visão abrangente do estado da arte, permitindo compreender como a estimativa de custos tem sido abordada na literatura científica, quais modelos, técnicas e métricas são recorrentes, desafios e limitações, especialmente no contexto das PMEs. A RSL busca identificar lacunas de pesquisa que justifiquem e fundamentem a proposição de novos modelos ou adaptações metodológicas aderentes às restrições e particularidades desse tipo de organização.

O protocolo da revisão sistemática foi definido previamente e contempla etapas bem estabelecidas, incluindo a seleção das bases de dados científicas, a definição das estratégias de busca, o estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão, o processo de triagem e seleção dos estudos primários, bem como os procedimentos de extração, categorização e síntese dos dados.

A análise dos estudos primários selecionados permite identificar tendências e abordagens recorrentes, compreender como os modelos de estimativa de custos têm sido adaptados ou negligenciados frente às características dos ambientes ágeis e das PMEs. Aspectos como a disponibilidade de dados históricos, o nível de maturidade dos processos, a experiência das equipes, a volatilidade dos requisitos e as limitações de recursos são examinados à luz das evidências reportadas nos estudos analisados. Dessa forma, a revisão sistemática não se limita à descrição dos trabalhos existentes, mas promove análise crítica de suas contribuições, resultados e limitações.

Os achados desta RSL desempenham papel fundamental no desenvolvimento do modelo de estimativa de custos proposto nesta dissertação. As evidências extraídas da literatura subsidiam a identificação de práticas consolidadas, fragilidades metodológicas e oportunidades de integração entre abordagens clássicas e ágeis de estimativa. Este capítulo estabelece a base teórica e empírica necessária para os capítulos subsequentes, assegurando que a proposta desta pesquisa esteja devidamente fundamentada no conhecimento científico acumulado e alinhada às demandas práticas observadas no contexto das PMEs que adotam metodologias ágeis.

### 3.1 Metodologia da Revisão Sistemática

A Engenharia de Software Baseada em Evidências (*Evidence-Based Software Engineering – EBSE*) é uma abordagem de pesquisa derivada da área da Medicina, cujo objetivo é coletar as melhores evidências científicas disponíveis por meio de questões de pesquisa bem definidas no domínio da Engenharia de Software (KHAN et al., 2021). A **Revisão Sistemática da Literatura (RSL)** constitui o instrumento apropriado, uma vez que se trata de um método rigoroso que permite identificar, selecionar e analisar criticamente estudos relevantes, seguindo princípios metodológicos previamente estabelecidos (KHAN et al., 2021).

Um dos critérios essenciais para a condução de uma RSL é a definição dos componentes do modelo *Population, Intervention, Comparison, Outcome* e *Context* (PICOC), os quais auxiliam na formulação clara e estruturada das questões de pesquisa.

No presente estudo, optou-se pela utilização parcial do modelo PICOC, considerando os elementos mais adequados ao objetivo da investigação. Assim, foram definidos: *Population*, representada por estudos relacionados ao desenvolvimento de software; *Intervention*, correspondente às abordagens de estimativa de custos; *Outcome*, associado aos desafios e resultados reportados na literatura; e *Context*, referente ao ambiente de aplicação, com ênfase em PMEs.

O elemento *Comparison* não foi explicitamente considerado, uma vez que o foco da revisão não está na comparação direta entre técnicas, mas na identificação de métodos, métricas e lacunas existentes (KHAN et al., 2021). A string de busca utilizada neste estudo foi definida com base nos componentes do PICOC e é apresentada a seguir:

*(“Cost estimation” OR “Cost prediction” OR “Cost assessment” OR “Cost calculation”) AND (“Challenges” OR “Difficulties” OR “Limitations”) AND (“Agile methods” OR “Agile methodologies”).*

Para obter os trabalhos relevantes, foram consultadas bases de dados especializadas na área de Engenharia de Software, conforme detalhado na Tabela 3. A pesquisa limitou-se a investigações sobre o tema, sem considerar um foco temporal específico.

| Fontes               | Número de trabalhos encontrados |
|----------------------|---------------------------------|
| ACM Digital Library  | 86                              |
| IEEE Digital Library | 104                             |
| ScienceDirect        | 86                              |
| Scopus               | 6                               |
| Springer Link        | 136                             |
| <b>Total</b>         | <b>418</b>                      |

Tabela 3 – Bases de dados e quantidade de estudos identificados

Após a coleta do conjunto inicial de artigos nas bases de dados selecionadas, os resultados das buscas foram importados para a plataforma Parsifal. O Parsifal é uma ferramenta online desenvolvida para apoiar pesquisadores na condução de Revisões Sistemáticas da Literatura, especialmente no domínio da Engenharia de Software (SCHÜNKE et al., 2022).

Em seguida, foram executadas as seguintes etapas do processo de pesquisa:

- **Remoção de duplicatas:** Considerando que diversos estudos podem estar indexados em múltiplas bases de dados, o sistema Parsifal identificou e removeu automaticamente os registros duplicados;
- **Triagem por título e resumo:** A análise dos títulos e resumos foi realizada em três etapas distintas por dois membros da equipe de pesquisa, com o objetivo de excluir estudos que não abordassem a temática de estimativa de custos no desenvolvimento de software com métodos ágeis, conforme definido pela string de busca. Essa abordagem visou minimizar o risco de exclusão de estudos relevantes e a inclusão de trabalhos irrelevantes;
- **Triagem por texto completo:** Nesta etapa, os textos completos dos artigos remanescentes foram obtidos e avaliados com base nos critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos.

Os critérios de inclusão e exclusão utilizados para orientar a extração e interpretação das informações necessárias estão ilustrados na Tabela 4.

Após a aplicação rigorosa dos critérios de inclusão e exclusão, 42 estudos foram selecionados para análise e posterior extração dos dados relevantes às questões de pesquisa

|                              |                                                                                                                                                                     |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CrITÉRIOS de InclusÃO</b> | Trabalhos relacionados à estimativa de custos no desenvolvimento de software utilizando métodos ágeis.                                                              |
| <b>CrITÉRIOS de ExclusÃO</b> | Artigos duplicados;<br>Artigos que não abordam pelo menos uma das questões de pesquisa;<br>Artigos não escritos em inglês;<br>Artigos sem acesso ao texto completo. |

Tabela 4 – Critérios de inclusão e exclusão dos estudos

apresentadas na Tabela 5. Os dados extraídos desses estudos encontram-se organizados e detalhados no Apêndice A.

Com a definição do conjunto final de artigos, foi realizada uma análise aprofundada dos textos selecionados. Nessa etapa, foi conduzida uma leitura minuciosa com o objetivo de identificar, analisar e extrair evidências relevantes que permitissem responder de forma sistemática às questões de pesquisa estabelecidas. Esse procedimento foi essencial para assegurar que todas as informações pertinentes fossem avaliadas de maneira estruturada e integradas de forma coerente ao estudo.

As questões de pesquisa apresentadas na Tabela 5 foram definidas com o objetivo de orientar a investigação de forma estruturada e alinhada ao objetivo geral do estudo. Cada questão contribui diretamente para o atendimento dos objetivos específicos propostos. A RQ1, ao investigar os principais desafios enfrentados pelas empresas na estimativa de custos, está diretamente relacionada ao objetivo de identificar variáveis relevantes, como tempo, mão de obra, materiais e fatores financeiros, que impactam o processo de estimativa.

A RQ2 busca identificar as estratégias utilizadas para lidar com tais desafios, contribuindo para a análise do impacto da integração de modelos contemporâneos de estimativa em ambientes ágeis. A RQ3 está alinhada ao objetivo de analisar e adaptar modelos de estimativa de custos, como Planning Poker e COCOMO II, ao contexto das PMEs, ao investigar os métodos mais frequentemente empregados na prática. As questões de pesquisa e os objetivos específicos são complementares, garantindo coerência metodológica e direcionamento claro para o desenvolvimento da pesquisa.

| <b>ID</b> | <b>Questões de Pesquisa</b>                                                                                                   |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RQ1       | Quais são os principais desafios enfrentados por empresas de desenvolvimento de software na estimativa de custos de projetos? |
| RQ2       | Quais são as estratégias mais comumente utilizadas para lidar com os desafios da estimativa de custos de software?            |
| RQ3       | Quais são os métodos de estimativa de custos mais frequentemente empregados pelas empresas?                                   |

Tabela 5 – Definição das questões de pesquisa

**RQ1 – Quais são os principais desafios enfrentados por empresas de desenvolvimento**

**de software na estimativa de custos de projetos?**

Esta questão tem como objetivo identificar os principais obstáculos enfrentados pelas empresas durante o processo de estimativa de custos de projetos de software. Tais desafios podem incluir incertezas técnicas, mudanças frequentes nos requisitos, ausência de dados históricos confiáveis, limitações organizacionais e dificuldades na adoção de modelos formais de estimativa. A compreensão desses fatores é fundamental para reconhecer as limitações do processo de estimativa e subsidiar a proposição de melhorias nas práticas atualmente adotadas.

**RQ2 – Quais são as estratégias mais comumente utilizadas para lidar com os desafios da estimativa de custos de software?**

Esta questão busca identificar e categorizar as estratégias empregadas pelas empresas para mitigar os desafios associados à estimativa de custos. Essas estratégias podem envolver a adoção de modelos de estimativa robustos, o uso de técnicas colaborativas, revisões contínuas das estimativas e a incorporação de práticas ágeis. A identificação das estratégias recorrentes contribui para o entendimento das melhores práticas adotadas no contexto organizacional.

**RQ3 – Quais são os métodos de estimativa de custos mais frequentemente empregados pelas empresas?**

O foco desta questão é identificar os métodos e técnicas de estimativa de custos mais utilizados no desenvolvimento de software. Esses métodos podem incluir abordagens qualitativas, como estimativas baseadas em especialistas, e abordagens quantitativas, como modelos algorítmicos e métricas de tamanho de software. A análise dessas técnicas permite mapear as práticas predominantes e compreender sua aplicação no contexto real das organizações.

A identificação da frequência de uso dessas técnicas não permite, isoladamente, avaliar a adequação às necessidades específicas das Pequenas e Médias Empresas nem compreender as limitações associadas à sua aplicação prática. Diante dessa lacuna, tornou-se necessário complementar a análise com investigação, capaz de examinar como os modelos de estimativa de custos são efetivamente utilizados, adaptados e ajustados em ambientes ágeis.

Uma abordagem qualitativa baseada em estudos de casos múltiplos também foi adotada neste estudo, com o objetivo de investigar as limitações operacionais, a adequação ao contexto das PMEs, as lacunas existentes na aplicação dos métodos e o grau de adaptação dos modelos de estimativa de custos em ambientes ágeis. A escolha dessa metodologia justifica-se pela necessidade de uma análise aprofundada e comparativa de fenômenos complexos inseridos em seus contextos reais (UMEUGO, 2023).

Cada um dos sete artigos selecionados, que apresentam modelos formais de estimativa de custos e esforço aplicados ou validados em contextos ágeis, é tratado como um “caso” individual. Essa abordagem possibilita compreensão multifacetada do tema, ao mesmo tempo em que facilita a identificação de padrões e variações entre os diferentes modelos e suas aplicações.

### 3.1.1 Seleção dos Casos

A seleção dos sete artigos analisados neste estudo foi realizada com base nos 42 trabalhos previamente identificados na RSL. Os casos investigados neste estudo de casos múltiplos constituem subconjunto extraído diretamente do corpus resultante dessa RSL.

Para atender aos objetivos específicos, adotou-se estratégia de amostragem intencional (*purposive sampling*), direcionada à seleção de estudos que apresentassem profundidade analítica e rigor metodológico no tratamento de modelos formais de estimativa de custos e esforço. Essa abordagem permitiu concentrar a análise em trabalhos capazes de fornecer evidências consistentes sobre a aplicação prática desses modelos em contextos ágeis (UMEUGO, 2023).

Os critérios de inclusão definidos foram os seguintes:

- Estudos que propusessem, aplicassem ou validassem modelos formais ou estruturados de estimativa de custos e/ou esforço;
- Estudos cuja aplicação dos modelos estivesse explicitamente associada a ambientes de desenvolvimento de software baseados em metodologias ágeis.

A aplicação desses critérios resultou na seleção final de sete casos (artigos), os quais são apresentados na Tabela 6. A escolha por uma amostragem intencional está alinhada à metodologia de estudo de caso, na qual os casos são selecionados não por representatividade estatística, mas por sua capacidade de oferecer *insights* aprofundados e analiticamente relevantes sobre o fenômeno investigado (UMEUGO, 2023).

A RSL prévia atuou como um mecanismo sistemático e robusto de identificação, filtragem e refinamento dos estudos, assegurando que os casos selecionados apresentassem elevado nível de qualidade, pertinência temática e alinhamento com os objetivos da pesquisa.

| Autores           | Ano  | Título                                                                                                                     | Referência                       |
|-------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Dalmazo et al.    | 2011 | Variáveis de Projetos de TI em Equilíbrio: Uma Abordagem Bayesiana para a Previsão de Custos de Suporte                    | (DALMAZO et al., 2011)           |
| Dragicevic et al. | 2017 | Modelo de Rede Bayesiana para Estimativa de Esforço de Tarefas no Desenvolvimento de Software Ágil                         | (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017) |
| Bilgaiyan et al.  | 2019 | Estimativa de Esforço no Desenvolvimento de Software Ágil Utilizando Validação Experimental de Modelos de Redes Neurais    | (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019)   |
| Ramessur et al.   | 2021 | Um Modelo Preditivo para Estimar o Esforço em um <b>Sprint</b> Utilizando Técnicas de Aprendizado de Máquina               | (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021)        |
| Feng et al.       | 2022 | Um Modelo de Estimativa de Custos para Projetos Scrum                                                                      | (FENG; PERIYASAMY, 2022)         |
| Kumar et al.      | 2023 | Um Framework Eficaz para Estimativa de Custos em Projetos Scrum por Meio de Técnicas de Modelos Ágeis                      | (KUMAR; SINGH, 2023)             |
| Shameem et al.    | 2023 | Modelo Probabilístico Baseado em Algoritmo Genético para o Sucesso de Projetos Ágeis no Desenvolvimento Global de Software | (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023)  |

Tabela 6 – Trabalhos Utilizados para Análise e Desenvolvimento do Modelo

### 3.1.2 Coleta e Análise de Dados

A coleta de dados envolveu a extração sistemática de informações provenientes dos sete artigos selecionados. Para assegurar consistência e objetividade na análise, foi utilizado um protocolo de análise previamente definido, fundamentado nos critérios de classificação dos modelos apresentados na Tabela 7.

| Critério            | Descrição                                                                                                                     |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo de abordagem   | Indica se o modelo segue uma abordagem tradicional, ágil, híbrida ou orientada a dados para estimativa.                       |
| Entradas requeridas | Especifica o tipo de informação exigida pelo modelo, como Story Points (SP), dados históricos ou julgamento de especialistas. |
| Validação prática   | Indica se o modelo foi testado ou aplicado em um cenário real de desenvolvimento de software ágil.                            |

Tabela 7 – Critérios para classificação dos modelos

Esse protocolo orientou a extração dos dados relevantes de cada caso, com foco nos aspectos essenciais para o atendimento dos objetivos de pesquisa do presente estudo. A análise dos dados foi conduzida por meio de abordagem temática e comparativa entre os casos (síntese transversal). Inicialmente, cada caso foi analisado individualmente (análise intra-caso), com o objetivo de identificar as características do modelo de estimativa, suas limitações operacionais, sua adequação aos contextos ágeis e às PMEs, bem como as lacunas destacadas pelos autores. Foi realizada comparação sistemática entre os sete casos (análise inter-casos), com o propósito de identificar padrões, similaridades e diferenças nas abordagens, desafios e soluções propostas. Essa análise comparativa permitiu:

- Identificar as principais limitações operacionais comuns aos modelos de estimativa de custos em ambientes ágeis;
- Avaliar a adequação desses modelos ao contexto específico das PMEs, considerando restrições relacionadas a dados, recursos e práticas organizacionais;
- Destacar lacunas pouco exploradas que afetam a aplicabilidade das estimativas em projetos ágeis;
- Examinar o grau de adaptação dos modelos às características dinâmicas do desenvolvimento ágil, como mudanças frequentes nos requisitos e a necessidade de reavaliações contínuas.
- Estabelecer uma base teórica sólida para apoiar a proposição de modelos adaptativos, simples e híbridos, capazes de atender às necessidades das PMEs em ambientes ágeis.

Também foi adotada a metodologia de *Design Science Research* (DSR) que apoia a criação e a avaliação de um artefato neste caso, diretrizes para a utilização de um modelo de



estimativa de custos na Seção 4.2 com o objetivo de resolver um problema prático em um domínio específico (UMEUGO, 2023).

Com base na aplicação sistemática do protocolo previamente descrito, os dados extraídos foram consolidados e organizados de modo a evidenciar os principais achados da RSL. A síntese temática permitiu evidenciar lacunas teóricas e operacionais que impactam diretamente a aplicabilidade prática dessas abordagens. Os resultados obtidos fornecem sustentação empírica consistente para a proposição do artefato fundamentado. A subseção seguinte apresenta, de forma sistematizada e alinhada, a análise bibliométrica e questões de pesquisa e os principais resultados provenientes da RSL.

## 3.2 Análise Bibliométrica RSL

Esta seção explora as áreas de aplicação das pesquisas sobre estimativa de custos em ambientes de desenvolvimento de software ágeis. Para isso, são analisados os principais setores de aplicação, os eventos acadêmicos que os estudos foram publicados e as metodologias empregadas. O objetivo é proporcionar compreensão das tendências atuais e da aplicabilidade dessas investigações, evidenciando como a estimativa de custos tem sido integrada e avaliada em diferentes contextos, tanto industriais quanto acadêmicos, bem como a influência das metodologias ágeis sobre essas práticas.

Após a identificação dos veículos de publicação, foram examinados os domínios de aplicação dos estudos, a fim de compreender em quais contextos os modelos de estimativa de custos vêm sendo utilizados. Os estudos foram organizados de acordo com setores específicos, como saúde, logística, telecomunicações e setor público. Além disso, foi considerada a categoria “Domínio não especificado” para os casos em que não há indicação clara de aplicação em um contexto particular. A distribuição dos estudos por domínio de aplicação é apresentada na Tabela 8.

A Figura 1 apresenta a distribuição dos estudos analisados de acordo com respectivos domínios de aplicação. Essa categorização tem como objetivo identificar em quais contextos os métodos de estimativa de custos em ambientes ágeis têm sido investigados, permitindo uma visão geral da concentração e da diversidade das aplicações na literatura.

Conforme ilustrado na Figura 1, observa-se forte concentração de estudos no domínio geral de desenvolvimento de software, o qual apresenta quantidade significativamente superior em relação aos demais. Em contrapartida, os outros domínios, como telecomunicações, logística, transporte, saúde, administração pública, educação e aeroespacial, apresentam baixa representatividade, com ocorrências isoladas. Esse resultado evidencia lacuna na literatura no que diz respeito à aplicação de técnicas de estimativa de custos em contextos específicos, sugerindo a necessidade de diversificação dos estudos para contemplar diferentes setores e cenários de aplicação.

| Domínio de Aplicação                                         | Estudos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Domínio não especificado (Desenvolvimento de Software Geral) | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003), (BENEDIKTSSON; DALCHER, 2004), (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2005), (PEIXOTO; AUDY; PRIKLADNICKI, 2010), (ABRAHAMSSON et al., 2011), (RAMASUBBU; BALAN, 2012), (MAHNIČ; HOVELJA, 2012), (LANG; CONBOY; KEAVENEY, 2013), (SHIVHARE; RATH, 2014), (LÓPEZ-MARTÍNEZ et al., 2018), (QI et al., 2018), (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019), (SHAMS et al., 2019), (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021), (ÜNLÜ et al., 2022), (BUTT et al., 2022), (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023), (BUTT et al., 2023) |
| Telecomunicações                                             | (MOHAGHEGHI; ANDA; CONRADI, 2005)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Logística                                                    | (SANTANA et al., 2011)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Transporte                                                   | (USMAN et al., 2018)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Setor de Saúde                                               | (USMAN et al., 2018)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Administração Pública / Cultura e Esporte                    | (TORRECILLA-SALINAS et al., 2015)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Educação                                                     | (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Aeroespacial                                                 | (STUKES et al., 2021)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Tabela 8 – Distribuição dos estudos por domínio de aplicação

Os estudos também foram classificados quanto à sua natureza, com o objetivo de identificar como as pesquisas têm sido conduzidas na área de estimativa de custos em ambientes ágeis. Os trabalhos foram categorizados em dois grupos: estudos de natureza teórica, que se concentram na proposição de modelos, métodos ou abordagens conceituais, e estudos empíricos ou aplicados, que envolvem validação prática em contextos reais ou experimentais. A classificação dos estudos quanto à sua natureza é apresentada na Tabela 9

| Tipo de Estudo      | Estudos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teórico             | (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011), (SUNKLE; KULKARNI, 2012), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b), (BRAGA et al., 2012), (KAUSHIK et al., 2017), (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017), (ASHEERI; HAMMAD, 2019), (GOVIL; SHARMA, 2022), (ALSHAMMARI, 2022), (FENG; PERIYASAMY, 2022), (KUMAR; SINGH, 2023), (KOMALA et al., 2023) |
| Empírico / Aplicado | Demais estudos na Tabela 8                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Tabela 9 – Classificação dos estudos quanto à natureza

Conforme apresentado na Tabela 9, observa-se a presença de uma quantidade relevante de estudos de natureza teórica, indicando um forte interesse da comunidade científica no

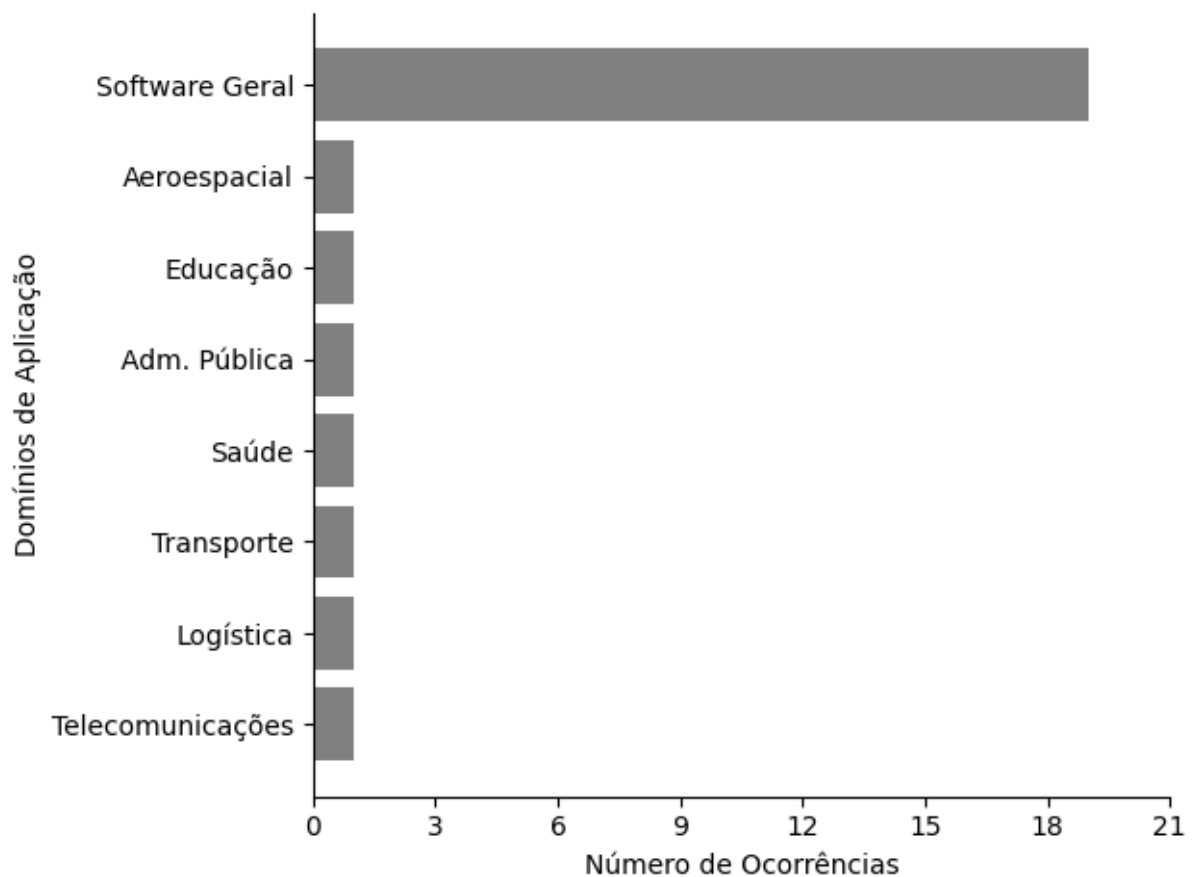


Figura 1 – Distribuição dos estudos por domínio de aplicação

desenvolvimento de modelos e abordagens para estimativa de custos. Por outro lado, os estudos empíricos ou aplicados correspondem à maior parte das pesquisas, uma vez que incluem os trabalhos analisados nos diferentes domínios de aplicação apresentados anteriormente. Esse resultado evidencia um esforço significativo na validação prática das propostas, embora, conforme observado na análise dos domínios, muitos desses estudos ainda sejam realizados em contextos não especificados.

Os resultados indicam equilíbrio entre a proposição de modelos teóricos e sua aplicação prática, ao mesmo tempo em que reforçam a necessidade de ampliar a validação desses modelos em contextos específicos, a fim de aumentar sua aplicabilidade e confiabilidade. Além da análise setorial dos modelos de estimativa de custos, torna-se relevante examinar a distribuição geográfica das pesquisas identificadas. A análise por países permite compreender como o conhecimento científico sobre estimativa de custos em ambientes ágeis está distribuído globalmente, bem como identificar os contextos nacionais que mais contribuem para o avanço dessa área de pesquisa.

A identificação do número de estudos por país possibilita a observação de padrões de concentração científica, evidenciando nações com maior produção acadêmica e potencial liderança no desenvolvimento de modelos, métodos e abordagens voltadas à estimativa de custos em projetos de software. A análise contribui para a compreensão das dinâmicas de colaboração

internacional e das diferenças regionais na adoção e investigação de práticas de estimativa de custos.

Dessa forma, a Tabela 10 apresenta a distribuição das publicações científicas de acordo com seus respectivos países de origem, evidenciando a concentração de estudos e a contribuição internacional para a pesquisa em estimativa de custos em projetos de software conduzidos em ambientes ágeis.

Tabela 10 – Distribuição das publicações por país

| <b>Países</b>  | <b>Ocorrências</b>                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Índia          | (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b), (SUNKLE; KULKARNI, 2012), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (SHIVHARE; RATH, 2014), (BIL-GAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), (ALSHAMMARI, 2022), (GOVIL; SHARMA, 2022), (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023), (KUMAR; SINGH, 2023), (KOMALA et al., 2023) |
| Turquia        | (ÜNLÜ et al., 2022), (BUTT et al., 2022), (BUTT et al., 2023), (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011)                                                                                                                                                            |
| Reino Unido    | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003), (BENEDIKTSSON; DALCHER, 2004), (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2005)                                                                                                                                                                |
| Suécia         | (KAUSHIK et al., 2017), (TANVEER; VOLLMER; BRAUN, 2018), (USMAN et al., 2018)                                                                                                                                                                                    |
| Nova Zelândia  | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003), (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2005), (TAYYAB; USMAN; AHMAD, 2018)                                                                                                                                                                 |
| Brasil         | (PEIXOTO; AUDY; PRIKLADNICKI, 2010), (SANTANA et al., 2011), (BRAGA et al., 2012)                                                                                                                                                                                |
| Estados Unidos | (STUKES et al., 2021), (FENG; PERIYASAMY, 2022)                                                                                                                                                                                                                  |
| Itália         | (ABRAHAMSSON et al., 2011), (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011)                                                                                                                                                                                               |
| Paquistão      | (BUTT et al., 2022), (BUTT et al., 2023)                                                                                                                                                                                                                         |
| Colômbia       | (BUTT et al., 2022), (BUTT et al., 2023)                                                                                                                                                                                                                         |
| Arábia Saudita | (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023), (BUTT et al., 2023)                                                                                                                                                                                                             |
| Alemanha       | (SHAMS et al., 2019), (ALSHAMMARI, 2022)                                                                                                                                                                                                                         |
| Singapura      | (RAMASUBBU; BALAN, 2012)                                                                                                                                                                                                                                         |
| Austrália      | (LANG; CONBOY; KEAVENEY, 2013)                                                                                                                                                                                                                                   |
| Irlanda        | (BENEDIKTSSON; DALCHER, 2004), (LANG; CONBOY; KEAVENEY, 2013)                                                                                                                                                                                                    |
| Espanha        | (TORRECILLA-SALINAS et al., 2015)                                                                                                                                                                                                                                |

| Países    | Ocorrências                                           |
|-----------|-------------------------------------------------------|
| Irã       | ( <a href="#">GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019</a> ) |
| Noruega   | ( <a href="#">MOHAGHEGHI; ANDA; CONRADI, 2005</a> )   |
| Croácia   | ( <a href="#">DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017</a> )    |
| Eslovênia | ( <a href="#">MAHNIČ; HOVELJA, 2012</a> )             |
| Marrocos  | ( <a href="#">NAJM; ZAKRANI; MARZAK, 2023</a> )       |
| México    | ( <a href="#">LÓPEZ-MARTÍNEZ et al., 2018</a> )       |

Foi observado que os mesmos estudos têm sido conduzidos por pesquisadores de diferentes países, evidenciando a relevância global do tema. Trabalhos ([BUTT et al., 2022](#); [BUTT et al., 2023](#)) foram desenvolvidos por pesquisadores do Paquistão, Colômbia e Turquia ([ÜNLÜ et al., 2022](#)), mostrando a existência de colaboração internacional e um interesse contínuo na otimização da estimativa de custos em metodologias ágeis.

Os dados também revelam que a publicação de estudos relacionados à estimativa de custos em ambientes ágeis é predominantemente liderada pela Índia.

A concentração de publicações em determinados países, especialmente na Índia, pode estar diretamente relacionada ao crescimento expressivo do setor de Tecnologia da Informação (TI) no país e à adoção acelerada de metodologias ágeis no desenvolvimento de software. Estudos prévios indicam que a Índia tem realizado investimentos significativos em tecnologias emergentes e inovação digital ([RAGHAVAN et al., 2020](#); [JIANG; WANG, 2024](#)), o que se reflete no aumento da produção científica voltada à estimativa de custos em ambientes ágeis.

Por outro lado, países com menor quantidade de publicações podem enfrentar limitações associadas à adoção de metodologias ágeis, restrições na infraestrutura de pesquisa ou desigualdades regionais no acesso a recursos tecnológicos e à inovação ([RAGHAVAN et al., 2020](#)). A variação na quantidade de estudos publicados entre diferentes países pode estar relacionada ao contexto econômico e ao nível de maturidade do setor de desenvolvimento de software em cada região.

Esses resultados apresentam implicações relevantes tanto para a prática quanto para a teoria. Do ponto de vista organizacional, especialmente em países com menor produção científica, observa-se oportunidade clara para o investimento em metodologias ágeis como estratégia para aprimorar a precisão das estimativas de custos. Países como Brasil e Turquia, que apresentam volume considerável de publicações, possuem potencial para assumir um papel de liderança na adoção e disseminação dessas práticas.

Sob a perspectiva acadêmica, a concentração de estudos em determinadas regiões evidencia a necessidade de investigações mais aprofundadas sobre fatores culturais, organizacionais e estruturais que influenciam a aplicação de metodologias ágeis e modelos de estimativa de custos. O desenvolvimento teórico pode ser ampliado por meio da adaptação desses modelos a diferentes

contextos nacionais, contribuindo para compreensão abrangente e global da estimativa de custos em ambientes ágeis de desenvolvimento de software.

Além da distribuição geográfica das publicações, outro aspecto relevante para a compreensão do panorama científico da área refere-se à evolução temporal dos estudos. A análise da quantidade de trabalhos publicados ao longo dos anos permite identificar tendências de pesquisa, períodos de interesse acadêmico e o amadurecimento do tema ao longo do tempo. A Figura 2 e a Tabela 11 apresentam a distribuição anual das publicações relacionadas à estimativa de custos no desenvolvimento de software em ambientes ágeis.

| Ano  | Ocorrências                                                                                                                                              |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2003 | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003).                                                                                                                        |
| 2004 | (BENEDIKTSSON; DALCHER, 2004).                                                                                                                           |
| 2005 | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2005), (MOHAGHEGHI; ANDA; CONRADI, 2005).                                                                                     |
| 2010 | (PEIXOTO; AUDY; PRIKLADNICKI, 2010).                                                                                                                     |
| 2011 | (SANTANA et al., 2011), (ABRAHAMSSON et al., 2011), (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011).                                                              |
| 2012 | (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b), (MAHNIČ; HOVELJA, 2012), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (BRAGA et al., 2012), (SUNKLE; KULKARNI, 2012), (RAMASUBBU; BALAN, 2012). |
| 2013 | (LANG; CONBOY; KEAVENEY, 2013), (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011).                                                                                  |
| 2014 | (SHIVHARE; RATH, 2014).                                                                                                                                  |
| 2015 | (TORRECILLA-SALINAS et al., 2015).                                                                                                                       |
| 2017 | (KAUSHIK et al., 2017).                                                                                                                                  |
| 2018 | (LÓPEZ-MARTÍNEZ et al., 2018), (TANVEER; VOLLMER; BRAUN, 2018), (USMAN et al., 2018), (QI et al., 2018).                                                 |
| 2019 | (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), (SHAMS et al., 2019), (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019).                                                               |
| 2021 | (STUKES et al., 2021), (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021).                                                                                                        |
| 2022 | (ALSHAMMARI, 2022), (ÜNLÜ et al., 2022), (GOVIL; SHARMA, 2022), (BUTT et al., 2022), (FENG; PERIYASAMY, 2022).                                           |
| 2023 | (NAJM; ZAKRANI; MARZAK, 2023), (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023), (KUMAR; SINGH, 2023), (BUTT et al., 2023), (KOMALA et al., 2023).                        |

Tabela 11 – Distribuição anual das publicações sobre estimativa de custos em ambientes ágeis

A análise da distribuição das publicações por ano revela uma concentração significativa de estudos em determinados períodos. A elevada quantidade de publicações em 2012 pode indicar fase de intensificação do interesse ou de avanços relevantes nas pesquisas sobre estimativa de custos em ambientes de desenvolvimento de software ágeis. Esse cenário pode refletir momento em que novas metodologias ou ajustes nas práticas ágeis estavam sendo explorados, influenciando

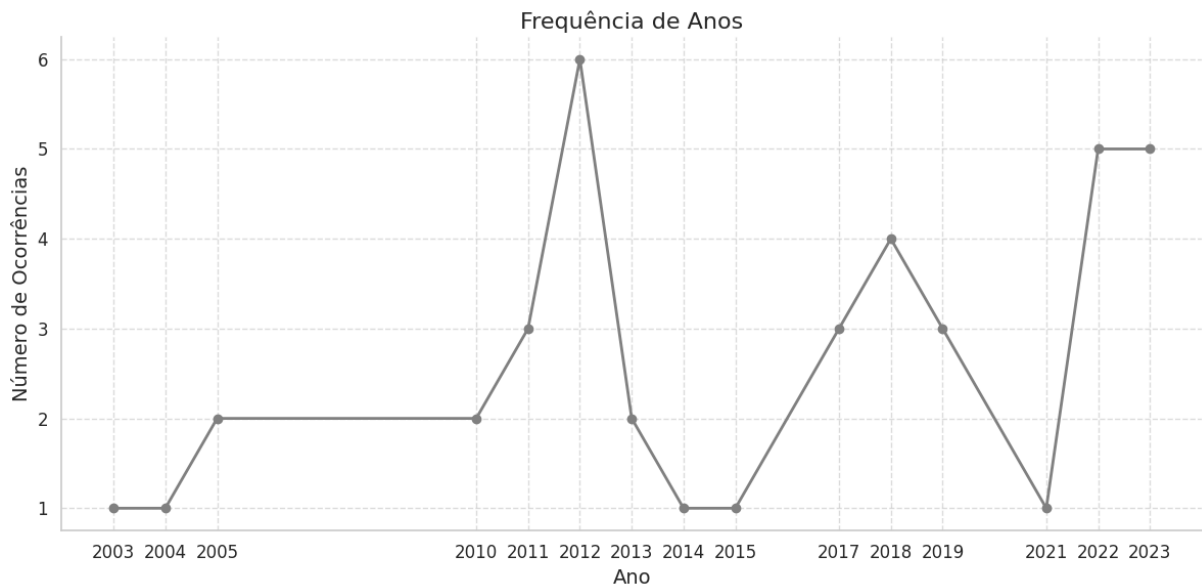


Figura 2 – Publicações por ano

diretamente a forma como os custos eram estimados em projetos ágeis. Em comparação com anos recentes, esse pico sugere possível mudança nas necessidades de pesquisa ou nos desafios enfrentados pelas equipes de desenvolvimento naquele período.

Entre os anos de 2000 e 2015, a quantidade de publicações foi consideravelmente reduzido, com poucos estudos registrados. O ano de 2023, por sua vez, destaca-se pelo aumento no número de publicações, o que pode refletir o crescimento do interesse e o avanço das pesquisas na área de estimativa de custos em ambientes ágeis.

O aumento progressivo da quantidade de publicações a partir de 2017 pode ser associado à ampliação da adoção de metodologias ágeis por empresas de tecnologia, tendência que vem se intensificando globalmente desde a década de 2010. Estudos anteriores (BUTT et al., 2022), (FENG; PERIYASAMY, 2022) apontavam para uma aceleração do interesse em práticas ágeis, à medida que as organizações passaram a reconhecer a necessidade de flexibilidade e controle de custos em projetos de software. Embora as publicações no início dos anos 2000 fossem escassas, o crescimento substancial observado nos anos recentes reflete a consolidação tanto da teoria quanto da prática da estimativa de custos em ambientes ágeis.

Os dados indicam que o campo da estimativa de custos em ambientes ágeis encontra-se em constante evolução, evidenciado pelo aumento da produção acadêmica nos últimos anos. Para as empresas, esse cenário sugere que novas metodologias e práticas estão sendo continuamente discutidas e aperfeiçoadas, o que pode resultar em melhorias nos modelos de estimativa de custos. Para os pesquisadores, a intensificação das publicações a partir de 2017 representa uma oportunidade de consolidar teorias existentes e explorar novas abordagens para a mensuração de estimativas em ambientes ágeis. Do ponto de vista prático, esse movimento indica o desenvolvimento de metodologias sofisticadas, com potencial para contribuir significativamente



para a melhoria da precisão das estimativas de custos.

Após a análise bibliométrica, que evidenciou as principais abordagens, metodologias e tendências relacionadas à estimativa de custos em ambientes ágeis, a investigação passa a se concentrar na análise detalhada das questões de pesquisa que orientam este estudo.

### 3.3 Quais são os principais desafios enfrentados pelas empresas na estimativa de custos em projetos de desenvolvimento de software?

O primeiro achado desta pesquisa está diretamente relacionado aos desafios enfrentados pelas empresas de desenvolvimento de software na estimativa dos custos dos projetos, conforme apresentado na Tabela 12 e Figura 3. A análise dos dados revelou que os principais desafios enfrentados na estimativa de custos em projetos de desenvolvimento de software ágil são numerosos e variados.

Tabela 12 – Principais desafios identificados nos estudos selecionados

| Desafio                                             | Ocorrências                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estimativas Baseadas em Julgamento de Especialistas | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2005), (PEIXOTO; AUDY; PRIKLADNICKI, 2010), (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011), (ABRAHAMSSON et al., 2011), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b), (MAHNIĆ; HOVELJA, 2012), (BRAGA et al., 2012), (KAUSHIK et al., 2017), (LÓPEZ-MARTÍNEZ et al., 2018), (TAYYAB; USMAN; AHMAD, 2018), (USMAN et al., 2018), (TANVEER; VOLLMER; BRAUN, 2018), (SHAMS et al., 2019), (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019), (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021), (ARORA et al., 2022), (GOVIL; SHARMA, 2022), (BUTT et al., 2023). |
| Mudanças Frequentes nos Requisitos                  | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003), (BENEDIKTSSON; DALCHER, 2004), (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011), (ABRAHAMSSON et al., 2011), (SUNKLE; KULKARNI, 2012), (LANG; CONBOY; KEAVENEY, 2013), (TORRECILLA-SALINAS et al., 2015), (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017), (KAUSHIK et al., 2017), (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), (SHAMS et al., 2019), (STUKES et al., 2021), (ALSHAMMARI, 2022), (BUTT et al., 2022), (FENG; PERIYASAMY, 2022), (ABUSAEED; KHAN; MASHKOOR, 2023), (KUMAR; SINGH, 2023), (BUTT et al., 2023). |



| <b>Desafio</b>                                  | <b>Ocorrências</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Falta de Dados Históricos                       | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003), (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2005), (PEIXOTO; AUDY; PRIKLADNICKI, 2010), (BRAGA et al., 2012), (RAMASUBBU; BALAN, 2012), (TORRECILLA-SALINAS et al., 2015), (TANVEER; VOLLMER; BRAUN, 2018), (STUKES et al., 2021), (ALSHAMMARI, 2022), (KOMALA et al., 2023), (NAJM; ZAKRANI; MARZAK, 2023).                |
| Ausência de Modelos e Métodos Adequados         | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2005), (PEIXOTO; AUDY; PRIKLADNICKI, 2010), (SANTANA et al., 2011), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b), (SHIVHARE; RATH, 2014), (KAUSHIK et al., 2017), (TAYYAB; USMAN; AHMAD, 2018), (SHAMS et al., 2019), (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), (BUTT et al., 2022), (NAJM; ZAKRANI; MARZAK, 2023). |
| Falta de Experiência dos Membros da Equipe      | (MOHAGHEGHI; ANDA; CONRADI, 2005), (BRAGA et al., 2012), (RAMASUBBU; BALAN, 2012), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (LANG; CONBOY; KEAVENEY, 2013), (LÓPEZ-MARTÍNEZ et al., 2018), (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021), (ALSHAMMARI, 2022).                                                                                                                  |
| Dificuldade na Previsão de Tempo e Esforço      | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003), (MAHNIĆ; HOVELJA, 2012), (USMAN et al., 2018), (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021), (ARORA et al., 2022), (GOVIL; SHARMA, 2022).                                                                                                                                                     |
| Falta de Controle sobre Recursos e Cronograma   | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017), (STUKES et al., 2021), (KOMALA et al., 2023).                                                                                                                                                                                                 |
| Complexidade do Projeto e das Tarefas           | (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021), (STUKES et al., 2021), (BUTT et al., 2023).                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Impacto da Manutenção                           | (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b), (LANG; CONBOY; KEAVENEY, 2013), (GOVIL; SHARMA, 2022).                                                                                                                                                                                                                                 |
| Complexidade das Técnicas de Estimativa         | (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), (BUTT et al., 2022), (NAJM; ZAKRANI; MARZAK, 2023), (KAUSHIK et al., 2017).                                                                                                                                                                                                                                  |
| Desafios Relacionados às Metodologias Ágeis     | (MOHAGHEGHI; ANDA; CONRADI, 2005), (USMAN et al., 2018), (KOMALA et al., 2023), (KUMAR; SINGH, 2023).                                                                                                                                                                                                                                        |
| Falta de Especificação e Documentação Adequadas | (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011), (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017), (ÜNLÜ et al., 2022).                                                                                                                                                                                                                                               |

| Desafio                          | Ocorrências                                                                                     |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Distância Geográfica             | (PEIXOTO; AUDY; PRIKLADNICKI, 2010), (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023), (RAMASUBBU; BALAN, 2012). |
| Fatores de Sucesso Variáveis     | (GOVIL; SHARMA, 2022), (ABUSAEED; KHAN; MASHKOOR, 2023).                                        |
| Problemas de Escalabilidade      | (ABRAHAMSSON et al., 2011), (KUMAR; SINGH, 2023).                                               |
| Complexidade na Gestão de Custos | (TORRECILLA-SALINAS et al., 2015), (ABUSAEED; KHAN; MASHKOOR, 2023).                            |

Esses dados indicam que, embora a incerteza associada às metodologias ágeis seja um desafio comum, a falta de uma base sólida de dados históricos e a dependência de julgamentos subjetivos para estimativas continuam sendo barreiras para a gestão de custos. O gráfico 3 ilustra a frequência dos principais desafios identificados, destacando a Estimativa Inexata e as Mudanças Frequentes nos Requisitos como os problemas mais prevalentes.

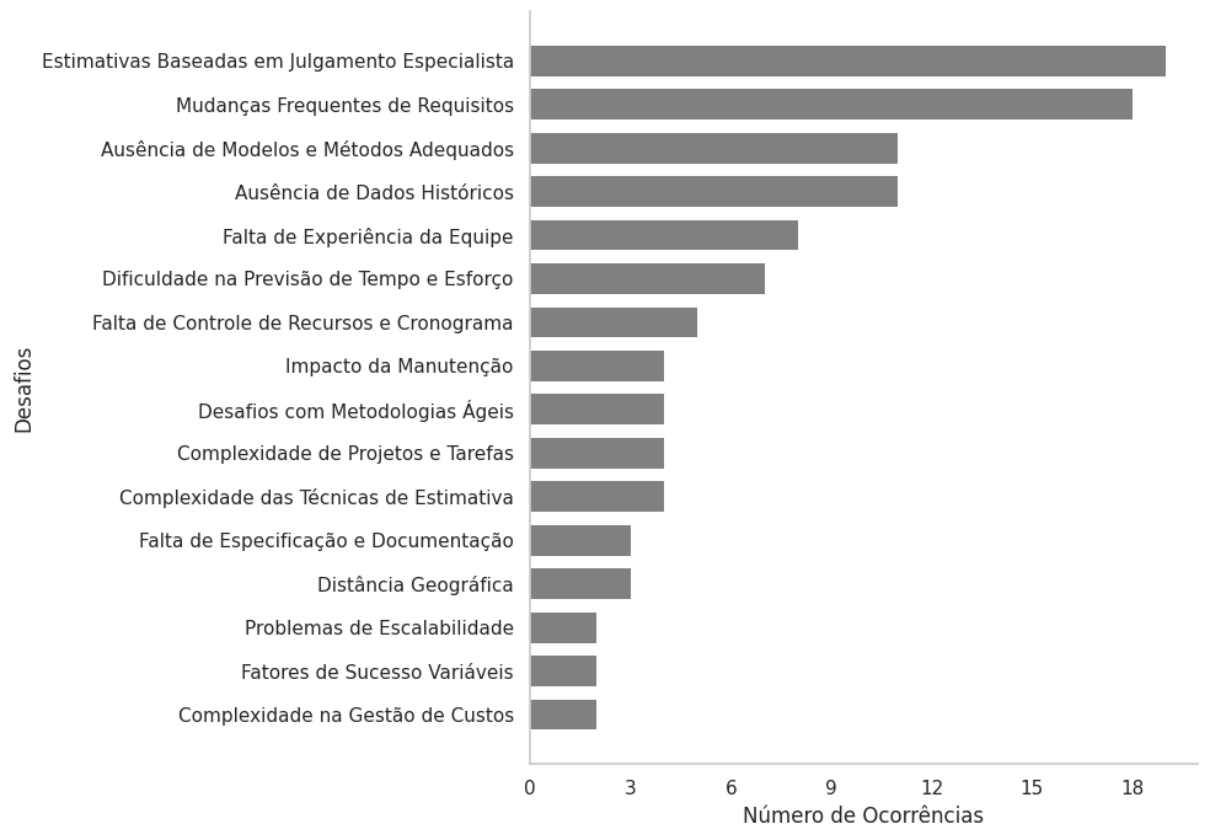


Figura 3 – Principais desafios

Esses desafios estão alinhados com a literatura existente sobre estimativa de custos no desenvolvimento de software ágil. A ausência de modelos e métodos adequados, bem como a dificuldade em prever tempo e esforço, foram identificadas como barreiras significativas para uma

estimativa precisa, conforme demonstrado anteriormente (PASUKSMIT; THONGTANUNAM; KARUNASEKERA, 2024). A dependência do julgamento de especialistas, embora seja uma prática comum, também é criticada por causa sua subjetividade, que pode levar a estimativas imprecisas, conforme discutido em pesquisas anteriores (USMAN et al., 2014) (PASUKSMIT; THONGTANUNAM; KARUNASEKERA, 2024).

Mudanças frequentes nos requisitos também constituem característica central das metodologias ágeis que, apesar de serem vantajosas em termos de flexibilidade e adaptabilidade, frequentemente resultam em variações nas estimativas de custo (SENEVIRATHNE; WIJAYA-SIRIWARDHANE, 2020). A falta de dados históricos, por sua vez, é problema amplamente documentado, uma vez que, sem uma base sólida para a análise de padrões anteriores, as estimativas tornam-se arriscadas e dependentes da intuição da equipe ou do especialista (PUTRI; SIAHAAN; FATICHAH, 2021).

A complexidade da gestão de custos e as questões relacionadas à escalabilidade foram mencionadas com menor frequência; ainda assim, permanecem como aspectos cruciais que devem ser considerados, especialmente ao trabalhar com equipes distribuídas ou projetos em larga escala.

Outro aspecto relevante decorrente da análise é a evolução do uso de métodos quantitativos versus qualitativos na estimativa de custos em ambientes ágeis, um tema que será explorado no próximo achado e que pode oferecer insights sobre como essas abordagens influenciam as práticas de estimativa na área.

As implicações desses desafios são significativas tanto para a prática quanto para a teoria do desenvolvimento de software ágil. Para as empresas, os achados sugerem necessidade urgente de investir em métodos de coleta de dados e na capacitação das equipes para que possam empregar técnicas de estimativa mais sofisticadas, bem como explorar soluções tecnológicas emergentes, como algoritmos de AM, que podem auxiliar na previsão de custos e recursos.

Para a academia, os resultados indicam lacuna nas metodologias de estimativa de custos aplicadas ao desenvolvimento ágil, sugerindo a necessidade de novos modelos e *frameworks* que integrem as incertezas inerentes ao desenvolvimento ágil, como mudanças frequentes de requisitos, com técnicas quantitativas e orientadas por dados. O uso de dados históricos para calibrar modelos de previsão, por exemplo, pode representar uma direção promissora para pesquisas futuras.

Em termos de políticas organizacionais, as empresas devem considerar a adoção de métodos ágeis estruturados e o fomento de uma cultura organizacional que facilite a documentação e o compartilhamento do conhecimento, com o objetivo de reduzir a dependência de julgamentos subjetivos e aumentar a confiabilidade das estimativas de custo. Outro ponto crucial emergente da pesquisa é a identificação de estratégias adotadas para mitigar essas dificuldades. Compreender essas estratégias é essencial, pois permite abordagem informada do processo de estimativa, bem

como a capacidade de adaptação a diferentes cenários. Na próxima seção, as principais estratégias utilizadas para enfrentar esses desafios serão exploradas em detalhes.

### 3.4 Quais são as estratégias mais comumente utilizadas para enfrentar os desafios na estimativa de custos de software?

Este tema é de relevância central para o sucesso de projetos de software, uma vez que uma estimativa de custos é fundamental para o planejamento e a execução desses projetos. As empresas frequentemente enfrentam desafios relacionados à imprecisão das estimativas, o que pode resultar em surpresas financeiras e atrasos no cronograma. Portanto, compreender as estratégias mais comumente utilizadas é essencial para o aprimoramento das estimativas de custo.

Os dados coletados indicam que empresas de desenvolvimento de software ágil utilizam variedade de técnicas e modelos para estimar os custos de projetos. As estratégias adotadas são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Estratégias Comumente Utilizadas

| Estratégias Comuns                             | Ocorrências                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Análise de Dados Históricos                    | (MOHAGHEGHI; ANDA; CONRADI, 2005), (BRAGA et al., 2012), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (LANG; CONBOY; KEAVENEY, 2013), (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011), (RAMASUBBU; BALAN, 2012), (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017), (QI et al., 2018), (TAYYAB; USMAN; AHMAD, 2018), (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019), (KUMAR; SINGH, 2023), (BUTT et al., 2022).                               |
| Validação Contínua e Ajustes Durante o Projeto | (PEIXOTO; AUDY; PRIKLADNICKI, 2010), (MOHAGHEGHI; ANDA; CONRADI, 2005), (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b), (SUNKLE; KULKARNI, 2012), (RAMASUBBU; BALAN, 2012), (SHIVHARE; RATH, 2014), (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019), (KAUSHIK et al., 2017), (TORRECILLA-SALINAS et al., 2015), (BUTT et al., 2023), (KUMAR; SINGH, 2023), (ÜNLÜ et al., 2022). |
| Modelos Baseados em Inteligência Artificial    | (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b), (SHIVHARE; RATH, 2014), (KAUSHIK et al., 2017), (TANVEER; VOLLMER; BRAUN, 2018), (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), (ASHEERI; HAMMAD, 2019), (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021), (ALSHAMMARI, 2022), (KUMAR; SINGH, 2023).                                                                                                                   |

| <b>Estratégias Comuns</b>                                     | <b>Ocorrências</b>                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Planejamento Ágil e Iterativo                                 | (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b), (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017), (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019), (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023), (BUTT et al., 2022), (ALSHAMMARI, 2022).            |
| Adoção de Modelos e Métodos Híbridos (WBS, Story Points, ABC) | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003), (MOHAGHEGHI; ANDA; CONRADI, 2005), (PEIXOTO; AUDY; PRIKLADNICKI, 2010), (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011), (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), (SHAMS et al., 2019), (KOMALA et al., 2023). |
| Ferramentas e Suporte                                         | (RAMASUBBU; BALAN, 2012), (SUNKLE; KULKARNI, 2012), (USMAN et al., 2018), (BUTT et al., 2022), (KUMAR; SINGH, 2023).                                                                                                           |
| Planning Poker                                                | (BRAGA et al., 2012), (TORRECILLA-SALINAS et al., 2015), (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019), (KOMALA et al., 2023), (MAHNIČ; HOVELJA, 2012).                                                                                  |
| Técnicas de Estimativa                                        | (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011), (ABRAHAMSON et al., 2011), (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), (KOMALA et al., 2023), (SANTANA et al., 2011).                                                                              |
| Uso de Modelos de Redes Bayesianas                            | (LÓPEZ-MARTÍNEZ et al., 2018), (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017), (QI et al., 2018).                                                                                                                                            |
| Métodos de Análise                                            | (SHIVHARE; RATH, 2014), (GOVIL; SHARMA, 2022).                                                                                                                                                                                 |
| Métricas de Tamanho Web para Estimativa Precoce de Custos     | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2005), (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011).                                                                                                                                                      |
| Decomposição de Tarefas                                       | (LÓPEZ-MARTÍNEZ et al., 2018), (SHAMS et al., 2019).                                                                                                                                                                           |
| Treinamento e Aprendizado Progressivo                         | (LÓPEZ-MARTÍNEZ et al., 2018), (USMAN et al., 2018).                                                                                                                                                                           |
| Técnicas de Otimização Baseadas em Algoritmos Evolutivos      | (KUMAR; SINGH, 2023), (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023).                                                                                                                                                                         |
| Seleção Ótima de Atributos                                    | (SHIVHARE; RATH, 2014), (TAYYAB; USMAN; AHMAD, 2018).                                                                                                                                                                          |

| Estratégias Comuns                  | Ocorrências                                                   |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Regressão Multi-variada             | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2005), (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021).  |
| Aprimoramentos do COCOMO            | (KAUSHIK et al., 2017), (SUNKLE; KULKARNI, 2012).             |
| Estimativas Baseadas em Use Stories | (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b), (FENG; PERIYASAMY, 2022).          |
| Priorização Dinâmica de Requisitos  | (ABRAHAMSSON et al., 2011), (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017). |
| Métodos de Interpretação            | (NAJM; ZAKRANI; MARZAK, 2023).                                |

A Figura 4 ilustra a frequência das principais estratégias identificadas, evidenciando a Análise de Dados Históricos, o Planejamento Ágil e Iterativo e os modelos baseados em IA como as estratégias utilizadas.

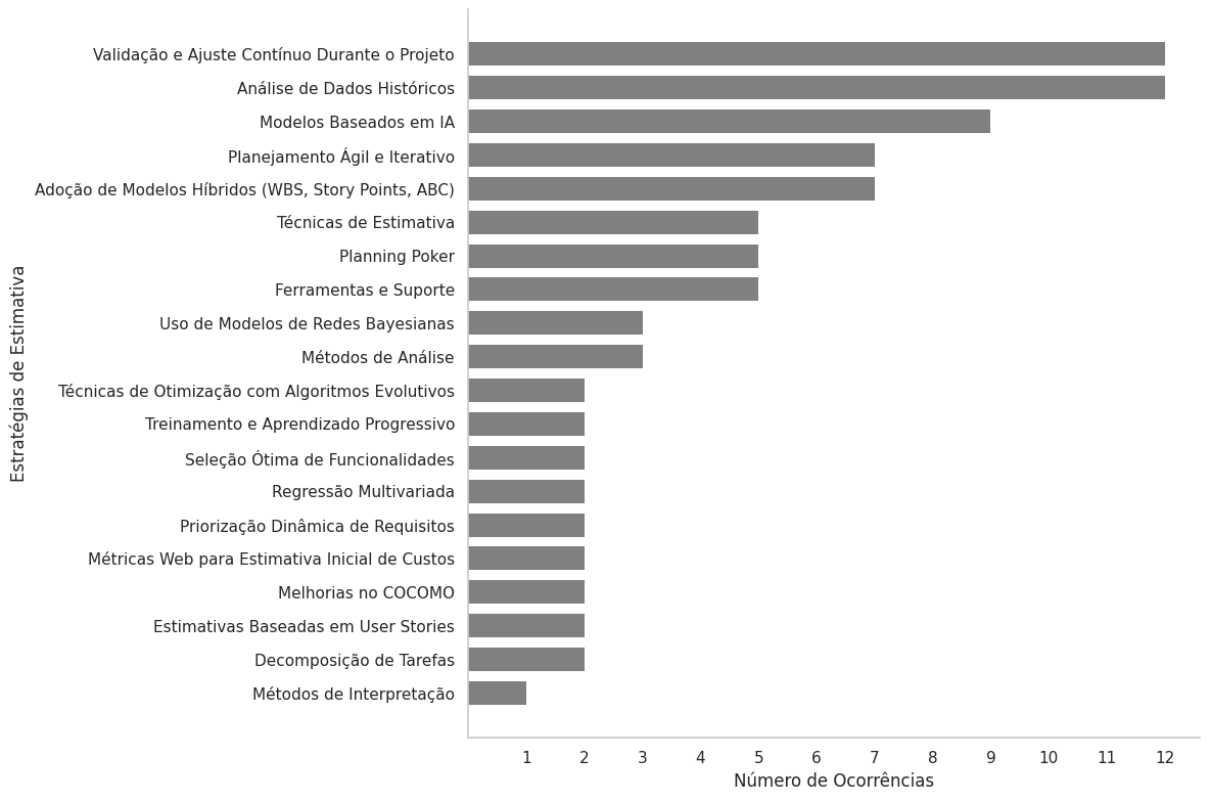


Figura 4 – Estratégias mais comumente utilizadas

Os achados são consistentes com a literatura atual sobre estimativa de custos em

ambientes ágeis. A adoção do planejamento ágil e iterativo (7) é frequentemente associada a maior flexibilidade e adaptabilidade, características essenciais em ambientes de alta incerteza, como o desenvolvimento de software (MALIK; GOYAL, 2022). A análise de dados históricos (12) confirma a importância do aprendizado a partir de experiências passadas para melhorar estimativas futuras, conforme destacado em diversos estudos (USMAN et al., 2014), (TAWOSI; AL-SUBAIHIN; SARRO, 2022; FU; TANTITHAMTHAVORN, 2022).

O uso crescente de modelos baseados em Inteligência Artificial está alinhado às tendências recentes de automação e análise preditiva, nas quais as empresas buscam aprimorar suas estimativas por meio de métodos mais sofisticados. Os modelos híbridos também surgem como resposta à complexidade dos projetos ágeis, permitindo a combinação de modelos tradicionais e modernos, como Work Breakdown Structure (WBS) e SP, o que pode trazer benefícios ao equilibrar precisão e flexibilidade. No entanto, a implementação de técnicas avançadas, como redes *bayesianas* e algoritmos evolutivos, ainda permanece relativamente limitada, sugerindo que as empresas enfrentam desafios na adoção de método complexos, possivelmente por causa da curva de aprendizado ou da necessidade de dados para o treinamento desses modelos.

Após a compreensão das estratégias adotadas para enfrentar os desafios na estimativa de custos, torna-se igualmente relevante explorar os modelos comumente utilizados nesse processo. Esses modelos não apenas refletem as abordagens práticas empregadas pelas organizações, mas também fornecem base teórica que pode ser ajustada de acordo com as necessidades e características específicas de cada projeto. Na próxima seção, são discutidos os modelos frequentemente utilizados para a estimativa de custos.

### 3.5 Quais são os métodos de estimativa mais comumente utilizados?

Este é um tema central para a precisão das estimativas em projetos de software, as quais são fundamentais para o sucesso financeiro e temporal dessas iniciativas. Compreender os métodos utilizados pelas empresas contribui para o mapeamento das práticas dominantes e de suas implicações, fornecendo uma base sólida para a proposição de melhorias nas técnicas de estimativa.

A análise dos métodos empregados na estimativa de custos em projetos de software ágil revela ampla variedade de modelos, cada um com diferentes níveis de aplicabilidade e complexidade, conforme descrito na Tabela 14 e na Figura 5.



Tabela 14 – Métodos de Estimativa Utilizados e Suas Ocorrências nos Estudos Seleccionados

| <b>Métodos de Estimativa</b>                             | <b>Ocorrências</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Técnicas de Otimização Baseadas em Algoritmos Evolutivos | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b), (MAHNIĆ; HOVELJA, 2012), (TANVEER; VOLLMER; BRAUN, 2018), (USMAN et al., 2018), (LANG; CONBOY; KEAVENEY, 2013), (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019), (KOMALA et al., 2023), (BUTT et al., 2022), (GOVIL; SHARMA, 2022), (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023) |
| Aprendizado de Máquina                                   | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (MAHNIĆ; HOVELJA, 2012), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b), (LANG; CONBOY; KEAVENEY, 2013), (TANVEER; VOLLMER; BRAUN, 2018), (USMAN et al., 2018), (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019), (GOVIL; SHARMA, 2022), (BUTT et al., 2022), (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023), (KOMALA et al., 2023) |
| <i>Story Points (SP)</i>                                 | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b), (LANG; CONBOY; KEAVENEY, 2013), (TANVEER; VOLLMER; BRAUN, 2018), (USMAN et al., 2018), (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019), (GOVIL; SHARMA, 2022), (BUTT et al., 2022), (KOMALA et al., 2023)                                                           |
| <i>Planning Poker</i>                                    | (PEIXOTO; AUDY; PRIKLADNICKI, 2010), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (TORRECILLA-SALINAS et al., 2015), (USMAN et al., 2018), (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019), (LÓPEZ-MARTÍNEZ et al., 2018), (ALSHAMMARI, 2022), (KOMALA et al., 2023)                                                                                                          |
| COCOMO (Modelo Construtivo de Custo)                     | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003), (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011), (KAUSHIK et al., 2017), (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), (SHAMS et al., 2019), (ALSHAMMARI, 2022), (BUTT et al., 2023), (KOMALA et al., 2023)                                                                                                                          |
| Pontos de Função                                         | (DESHARNAIS; BUGLIONE; KOCATÜRK, 2011), (SANTANA et al., 2011), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (LANG; CONBOY; KEAVENEY, 2013), (ÜNLÜ et al., 2022), (ALSHAMMARI, 2022)                                                                                                                                                                              |



| Métodos de Estimativa         | Ocorrências                                                                                                                                  |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Métodos Baseados em Regressão | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2005), (LANG; CONBOY; KEAVENEY, 2013), (TAYYAB; USMAN; AHMAD, 2018), (QI et al., 2018), (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021) |
| COCOMO II                     | (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a), (SUNKLE; KULKARNI, 2012), (MAHNIČ; HOVELJA, 2012), (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019)                            |
| Pontos de Caso de Uso (PCU)   | (MOHAGHEGHI; ANDA; CONRADI, 2005), (QI et al., 2018)                                                                                         |
| Métodos Tradicionais          | (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021), (FENG; PERIYASAMY, 2022)                                                                                          |
| Modelos Baseados em Tamanho   | (BENEDIKTSSON; DALCHER, 2004), (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b)                                                                                     |
| Lógica Fuzzy                  | (KAUSHIK et al., 2017), (KUMAR; SINGH, 2023)                                                                                                 |
| Características da Aplicação  | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2005), (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019)                                                                        |
| Método Ágil (Scrum)           | (FENG; PERIYASAMY, 2022), (KUMAR; SINGH, 2023)                                                                                               |

A Tabela 14 apresenta, de forma detalhada, os métodos de estimativa identificados nos estudos selecionados, bem como respectivas ocorrências, permitindo visão analítica dos dados brutos extraídos da literatura. Para facilitar a interpretação desses resultados e oferecer uma compreensão mais intuitiva da distribuição e da frequência dos métodos utilizados, a Figura 5 apresenta representação gráfica desses dados.

A predominância de métodos como Julgamento de Especialistas (*Expert Judgment*) e ML pode ser interpretada à luz da literatura existente sobre estimativa no desenvolvimento de software. Estudo anterior (USMAN et al., 2014) indica que métodos baseados na experiência de especialistas são comuns em ambientes ágeis devido à flexibilidade necessária para lidar com a imprevisibilidade e com mudanças frequentes nos requisitos. O Julgamento de Especialistas emerge como solução prática, particularmente em projetos nos quais as estimativas precisam ser realizadas rapidamente e ajustadas com frequência.

O uso crescente de ML reflete tendência recente de incorporação de tecnologias avançadas para lidar com a complexidade dos projetos de software. Técnicas orientadas por dados têm mostrado resultados promissores no aumento da precisão das estimativas (BRAGA et al., 2012), evidenciando o potencial do ML na análise de grandes volumes de dados históricos e na previsão de custos com base em padrões subjacentes.

*Function Points* e *Planning Poker* permanecem populares devido à simplicidade e facilidade de adaptação ao contexto ágil. Esses modelos oferecem forma estruturada de quantificar e avaliar o trabalho, sendo especialmente úteis em ambientes nos quais mudanças rápidas e

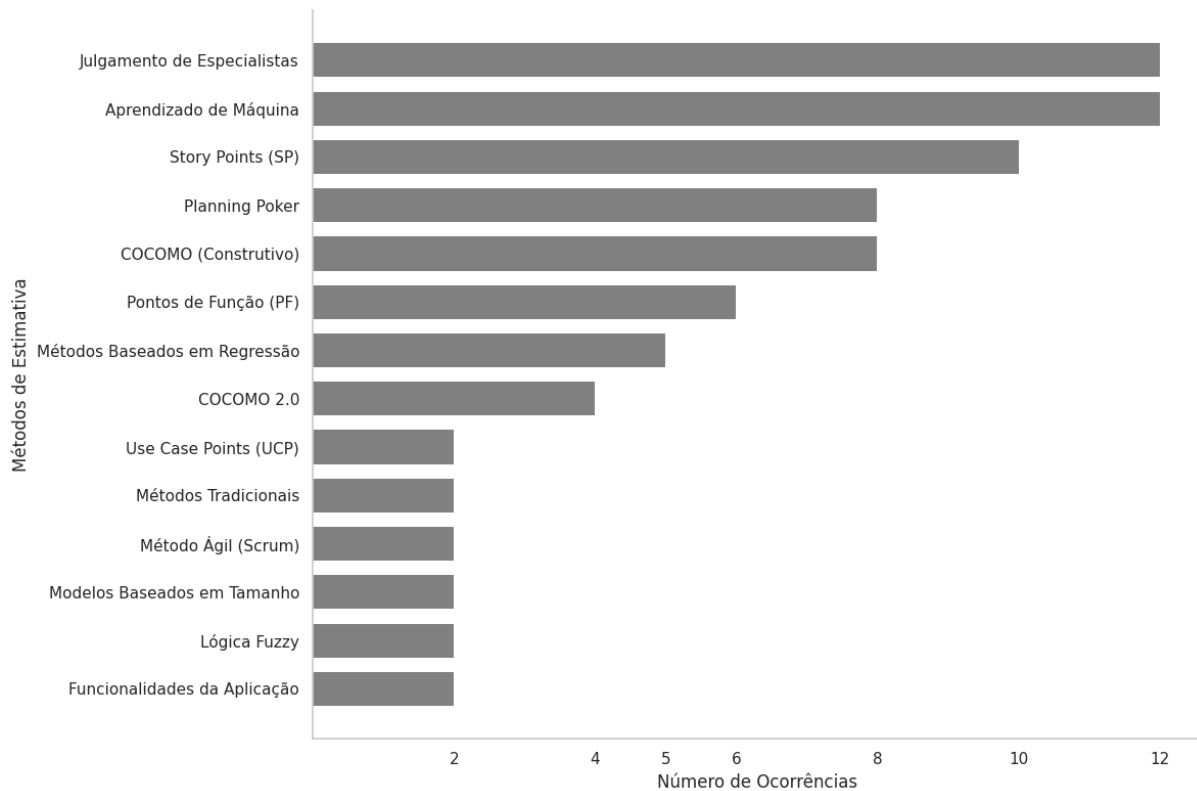


Figura 5 – Métodos de estimativa utilizados

frequentes são comuns. A menor adoção de métodos tradicionais, como o COCOMO 2.0, sugere possível desconexão entre os modelos clássicos e as necessidades ágeis de flexibilidade e rapidez nas estimativas.

Os achados indicam tendência crescente no uso de métodos ágeis e adaptáveis para a estimativa de custos em projetos de software. A relevância de métodos como Julgamento de Especialistas e ML sugere que as organizações estão focadas em estratégias que garantam precisão e flexibilidade necessária para se adaptar a mudanças rápidas ao longo do ciclo de vida do projeto.

Essa mudança em direção a modelos modernos exige investimentos organizacionais em capacitação contínua, a fim de equipar as equipes com as competências necessárias para explorar tecnologias emergentes, como ML, ao mesmo tempo em que se aprimoram as capacidades de julgamento e tomada de decisão. Para os pesquisadores, esse achado reforça a importância de investigar a integração de métodos tradicionais com novas abordagens orientadas por dados, com o objetivo de otimizar a precisão das estimativas em contextos ágeis.

Para o campo da pesquisa, esse fenômeno sugere que o futuro da estimativa de custos em ambientes ágeis dependerá de ferramentas que integrem a experiência prática com análises avançadas de dados. Isso implica demanda crescente por pesquisas que investiguem a integração de métodos quantitativos e qualitativos.

Os desafios na estimativa de custos em ambientes ágeis, incluindo a ausência de modelos adequados e a dificuldade em prever tempo e esforço, têm sido amplamente documentados na literatura. A dependência do julgamento de especialistas, embora comum, tem sido frequentemente criticada por causa da subjetividade inerente, que pode resultar em estimativas imprecisas (USMAN et al., 2014; PASUKSMIT; THONGTANUNAM; KARUNASEKERA, 2024). Mudanças frequentes nos requisitos, característica central das metodologias ágeis, levam a variações nas estimativas de custo (SENEVIRATHNE; WIJAYASIRIWARDHANE, 2020), enquanto a falta de dados históricos agrava os riscos associados às estimativas (PUTRI; SIAHAAN; FATICHAH, 2021).

As estratégias adotadas para mitigar esses desafios incluem o planejamento ágil e iterativo, que proporciona maior flexibilidade e adaptabilidade, essenciais em ambientes de alta incerteza (BRAGA et al., 2012), (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021). A análise de dados históricos tem se mostrado fundamental para aumentar a precisão das estimativas futuras (TAWOSI; AL-SUBAIHIN; SARRO, 2022; FU; TANTITHAMTHAVORN, 2022). Métodos de estimativa, a predominância do Julgamento de Especialistas e do ML reflete tanto a flexibilidade exigida em ambientes ágeis quanto a crescente incorporação de tecnologias para lidar com a complexidade dos projetos.

O Julgamento de Especialistas tem sido amplamente utilizado por causa da necessidade de estimativas ajustáveis, enquanto o ML tem apresentado resultados promissores na análise de grandes volumes de dados históricos e na previsão de custos de forma mais fundamentada (USMAN et al., 2014). Os métodos e estratégias de estimativa de custos no desenvolvimento ágil demonstram alinhamento com a literatura existente, evidenciando uso crescente de tecnologias avançadas para superar os desafios típicos do processo de estimativa.

Outro aspecto relevante emergente desta pesquisa é a necessidade de quantificar e mapear a produção acadêmica, de modo a identificar tendências, padrões de citação e redes de colaboração que orientam o desenvolvimento do conhecimento científico.

# 4

## Modelo Proposto: SP-CostAgile

Este capítulo apresenta o modelo de estimativa de custos proposto nesta dissertação, desenvolvido com o objetivo de atender às especificidades das PMEs que utilizam metodologias ágeis no desenvolvimento de software. O modelo foi concebido a partir das evidências identificadas na revisão sistemática da literatura e busca equilibrar rigor conceitual, simplicidade operacional e aderência às limitações contextuais típicas desse tipo de organização, tais como escassez de dados históricos, restrições de recursos e elevada variabilidade de requisitos.

O modelo proposto estabelece relação direta entre o custo total do projeto e o seu tamanho funcional, mensurado em SP. Essa métrica é amplamente utilizada em ambientes ágeis para representar o esforço relativo associado à funcionalidade a ser desenvolvida, sendo independente de tecnologia, linguagem de programação ou plataforma. A adoção dos SP como base do modelo permite maior flexibilidade e alinhamento com práticas consolidadas, como o *Planning Poker*, além de facilitar a adaptação do modelo a diferentes contextos organizacionais.

De forma geral, o funcionamento do modelo baseia-se no cálculo de custo médio por SP. Esse valor pode ser obtido a partir de dados históricos de projetos anteriores ou, na ausência destes, situação comum em PMEs por meio de estimativas iniciais definidas pela equipe e ajustadas progressivamente ao longo das iterações do projeto. O custo médio por SP é multiplicado pelo total de SP estimados para o projeto, resultando em estimativa de custo global. Essa abordagem permite que a estimativa seja refinada continuamente, acompanhando a evolução do escopo e mantendo coerência com a natureza iterativa e incremental das metodologias ágeis.

Além do tamanho funcional, o modelo incorpora variáveis essenciais ao contexto das PMEs, incluindo custos relacionados à mão de obra, tempo de desenvolvimento, materiais, equipamentos e fatores financeiros indiretos. Esses elementos são considerados de forma integrada, possibilitando uma visão mais realista dos custos envolvidos no projeto e reduzindo a dependência exclusiva de bases de dados históricas estruturadas, frequentemente inexistentes ou incompletas em ambientes de baixa maturidade de processos.

O modelo proposto é denominado **SP-CostAgile** (*SP-Based Agile Cost Estimation Model*). A denominação reflete seus principais fundamentos: a utilização de *SPs* como medida de tamanho funcional, o foco explícito na estimativa de custos e a aderência aos princípios das metodologias ágeis.

As etapas de construção e aplicação do modelo *SP-CostAgile* são descritas a seguir, contemplando desde a definição do tamanho funcional do projeto até o cálculo final da estimativa de custos, bem como os mecanismos de ajuste e refinamento contínuo ao longo do ciclo de vida do projeto. Essa estrutura visa garantir transparência, reprodutibilidade e adaptabilidade do modelo às diferentes realidades organizacionais das PMEs.

Os dados utilizados para a avaliação do modelo proposto foram provenientes de duas fontes distintas, selecionadas com base em critérios de confiabilidade, relevância prática e aderência ao contexto de estimativa de custos em ambientes ágeis.

A primeira fonte refere-se ao Edital de Pregão Eletrônico nº 09.004/2024 da Empresa de Tecnologia da Informação e Comunicação do Município de São Paulo – PRODAM-SP S/A, disponibilizado publicamente por meio da plataforma governamental Compras.gov e formalizado no Processo SEI nº 7010.2024/0006190-5. Trata-se de documentação oficial de contratação pública cujo objeto contempla serviços de desenvolvimento de novos sistemas, manutenção corretiva, adaptativa e evolutiva, além de atividades relacionadas à arquitetura da informação na plataforma Microsoft. Os dados extraídos desse edital correspondem a informações técnicas e estruturais de escopo contratual, utilizadas como base empírica real para simular a aplicação do modelo de estimativa em cenário institucional concreto, com características compatíveis ao contexto de PMEs que atuam em desenvolvimento de software sob demanda.

A segunda fonte consiste em um conjunto de dados acadêmico intitulado *A Versatile Dataset of Agile Open Source Software Projects*, disponibilizado no repositório público *GitHub* e descrito no artigo científico publicado no *arXiv* sob o identificador *arXiv:2202.00979*. O *dataset* reúne informações históricas de mais de 500.000 *issues* provenientes de 44 projetos *open source* que adotam práticas ágeis. Esses dados foram originalmente extraídos de sistemas de gerenciamento de *issues* amplamente utilizados por equipes ágeis, contendo registros de estimativas de esforço, atribuição de tarefas, priorização e evolução de demandas. A escolha desse conjunto de dados justifica-se por sua amplitude, diversidade de projetos e riqueza de atributos relacionados à estimativa e acompanhamento de esforço, permitindo testar o modelo proposto em um ambiente ágil com dados reais, históricos e publicamente auditáveis.

A utilização combinada dessas duas fontes — uma de natureza institucional e contratual, e outra de caráter acadêmico e empírico — permitiu avaliar o modelo sob perspectivas complementares: (i) aplicação prática em contexto governamental real e (ii) validação em larga escala com dados históricos de projetos ágeis *open source*.

## 4.1 Cálculo das Taxas Horárias Efetivas

Para que as estimativas monetárias possam ser realizadas de forma consistente, as proporcionalidades e os valores horários apresentados nas Tabelas 17 e 18 são convertidos em formulações explícitas. Adota-se uma taxa horária base hipotética, denotada por  $X$ , associada a um papel de referência com nível de serviço unitário. As taxas horárias correspondentes aos demais níveis e perfis técnicos são determinadas a partir dessa taxa base, utilizando-se os fatores de proporcionalidade indicados. Um perfil cuja proporcionalidade seja representada por fator multiplicativo terá sua taxa horária calculada como o produto desse fator por  $X$ . Adicionalmente, variáveis como  $X_A$ ,  $X_B$  e  $X_C$  são consideradas modificadores da taxa base, refletindo particularidades associadas a tecnologias específicas, conforme detalhado nas Tabelas 15 e 16. A partir dessa formulação, a Taxa Horária de Serviço Técnico (HST), expressa em Reais (R\$), é interpretada e avaliada para cada perfil, resultando no valor da Taxa Horária Efetiva utilizada nas estimativas subsequentes.

Com base nas Taxas Horárias Efetivas obtidas, torna-se possível derivar o custo médio por SP. Assume-se como premissa que um SP corresponde a uma determinada quantidade de horas de trabalho. Essa equivalência pode variar conforme a maturidade da equipe, a complexidade do projeto e o contexto organizacional, sendo idealmente calibrada a partir de dados históricos reais. Neste estudo de caso, adota-se um valor padrão de horas por SP. O custo por SP é, então, calculado como o produto entre a média das Taxas Horárias Efetivas e a quantidade de horas atribuídas a cada SP, conforme apresentado na Equação 4.1.

$$\text{CostSP} = \text{Média}(\text{Taxa\_Horária\_Efetiva}) \times \text{Horas por Story Point} \quad (4.1)$$

Uma vez determinado o custo por *Story Point*, a estimativa do custo total de cada projeto torna-se direta. A quantidade total de *Story Points* estimados para cada projeto, conforme apresentado nas Tabelas 15 e 16, é multiplicado pelo custo unitário por *Story Point* calculado. Essa abordagem permite a obtenção de estimativas de custo alinhadas às práticas ágeis, mantendo transparência, flexibilidade e coerência com os dados empíricos analisados neste estudo.

*Devido à largura excessiva da tabela original, as Tabelas 15 e 16 foram divididas em duas partes para melhor visualização. A Parte 1 apresenta as colunas de Repositório até Usuários, enquanto a Parte 2 apresenta as colunas de Desenvolvedores até Pontos de História.*

Tabela 15 – Estatísticas Descritivas do Conjunto de Dados TAWOS  
– Parte 1 (Repositório até Usuários)

| Repositório  | Nome do Projeto     | Chave do Projeto | # Problemas | # Erros | # Usuários |
|--------------|---------------------|------------------|-------------|---------|------------|
| Crowd        | CWD                 |                  | 4,311       | 1,841   | 2,663      |
| Confluence   | Cloud               | CONFCLOUD        | 23,409      | 10,071  | 24,064     |
| Software     | Cloud               | JSWCLLOUD        | 11,702      | 3,505   | 15,187     |
| Jira         | Cloud               | JRACLOUD         | 25,669      | 8,339   | 30,020     |
| Confluence   | Server              | CONFSERVER       | 42,324      | 25,477  | 30,755     |
| Atlassian    | Software Server     | JSWSERVER        | 12,862      | 6,007   | 15,468     |
| Jira         | Server              | JRASERVER        | 44,165      | 20,630  | 36,585     |
| Bamboo       | BAM                 |                  | 14,252      | 6,050   | 7,092      |
| Clover       | CLOV                |                  | 1,501       | 531     | 347        |
| Atlassian    | FishEye             | FE               | 5,533       | 2,896   | 2,371      |
| Mesos        | MESOS               |                  | 10,157      | 4,891   | 1,282      |
| Apache       | MXNet               | MXNET            | 1,404       | 373     | 156        |
| Usergrid     | USERGRID            |                  | 1,339       | 349     | 97         |
| Command-Line | Interface           | CLI              | 645         | 399     | 165        |
| Titanium     | Mobile Platform     | TIDOC            | 3,059       | 1,344   | 421        |
| Aptana       | Studio              | APSTUD           | 8,135       | 6,152   | 3,365      |
| Appcelerator | Studio              | TISTUD           | 5,979       | 3,455   | 654        |
| The          | Titanium SDK        | TIMOB            | 22,059      | 15,742  | 3,170      |
| Appcelerator | Daemon              | DAEMON           | 313         | 123     | 36         |
| Appcelerator | Alloy Framework     | ALOY             | 1,519       | 646     | 386        |
| DNN Tracker  | DotNetNuke Platform | DNN              | 10,060      | 7,319   | 1,092      |
| Blockchain   | Explorer            | BE               | 802         | 164     | 149        |

*Continua na próxima página*

Continuação da Tabela 15

| Repositório | Nome do Projeto        | Chave do Projeto | # Problemas | # Erros | # Usuários |
|-------------|------------------------|------------------|-------------|---------|------------|
| Fabric      | FAB                    |                  | 13,682      | 3,562   | 1,283      |
| Indy        | Node                   | INDY             | 2,321       | 826     | 133        |
| Sawtooth    | STL                    |                  | 1,663       | 318     | 174        |
| Hyperledger | Indy SDK               | IS               | 1,531       | 396     | 177        |
| Lsstcorp    | Data Management        | DM               | 26,506      | 2,551   | 277        |
| Lyrasis     | Dura Cloud             | DURACLOUD        | 1,125       | 374     | 32         |
| Compass     | COMPASS                |                  | 1,791       | 737     | 484        |
| Java        | Driver                 | JAVA             | 3,560       | 1,028   | 1,439      |
| C++         | Driver                 | CXX              | 2,032       | 502     | 409        |
| MongoDB     | Core Server            | SERVER           | 48,663      | 22,342  | 8,837      |
| MongoDB     | Evergreen              | EVG              | 10,299      | 2,636   | 300        |
| Moodle      | Moodle                 | MDL              | 66,741      | 41,355  | 12,230     |
| Mule        | MULE                   | 11,816           | 5,421       | 1,449   |            |
| Mulesoft    | Mule APIkit            | APIKIT           | 886         | 467     | 123        |
| Sonatype    | Nexus                  | NEXUS            | 9,912       | 5,975   | 2,896      |
| DataCass    | DATA CASS              |                  | 798         | 166     | 205        |
| Spring XD   | XD                     |                  | 3,707       | 610     | 189        |
| Talend      | Data Quality           | TDQ              | 15,315      | 6,288   | 708        |
| Talend      | Data Preparation       | TDP              | 5,670       | 2,180   | 320        |
| Talend      | Data Management        | TMDM             | 9,137       | 6,374   | 478        |
| Talend      | Big Data               | TBD              | 4,624       | 2,731   | 553        |
| Talendforge | Enterprise Service Bus | TESB             | 15,985      | 4,451   | 590        |
| Total       |                        |                  | 508,963     | 237,594 | 208,811    |



Tabela 16 – Estatísticas Descritivas do Conjunto de Dados TAWOS  
– Parte 2 (Desenvolvedores até Pontos de História)

| # Desen-<br>volvedo-<br>res | #<br>Registros<br>de<br>Mudança | # Comentários | #<br>Compo-<br>nentes | # Sprints | # Versões | # Pontos de<br>História |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------|-----------------------|-----------|-----------|-------------------------|
| 105                         | 62,408                          | 7,440         | 50                    | 44        | 227       | 214                     |
| 513                         | 321,439                         | 64,655        | 147                   | 477       | 17        | 352                     |
| 211                         | 201,512                         | 30,143        | 33                    | 74        | 68        | 318                     |
| 557                         | 295,951                         | 74,473        | 66                    | 59        | 170       | 361                     |
| 422                         | 1,608,633                       | 125,591       | 104                   | 565       | 1,121     | 662                     |
| 182                         | 304,682                         | 35,400        | 44                    | 70        | 433       | 351                     |
| 462                         | 1,162,959                       | 130,457       | 115                   | 50        | 598       | 380                     |
| 107                         | 256,321                         | 28,638        | 115                   | 14        | 391       | 528                     |
| 20                          | 25,812                          | 2,259         | 15                    | 48        | 63        | 387                     |
| 74                          | 112,723                         | 8,914         | 9                     | 109       | 245       | 240                     |
| 252                         | 108,349                         | 30,152        | 42                    | 227       | 87        | 3,272                   |
| 50                          | 49,295                          | 384           | 9                     | 41        | 0         | 209                     |
| 37                          | 15,435                          | 1,535         | 15                    | 38        | 8         | 487                     |
| 29                          | 10,956                          | 2,233         | 12                    | 98        | 145       | 374                     |
| 62                          | 81,454                          | 7,712         | 6                     | 217       | 261       | 1,297                   |
| 15                          | 107,961                         | 19,138        | 49                    | 12        | 91        | 890                     |
| 63                          | 147,215                         | 19,880        | 56                    | 163       | 126       | 3,406                   |

Continua na próxima página

Continuação da Tabela 16

| # Desen-<br>volvido-<br>res | #<br>Registros<br>de<br>Mudança | # Comentários | #<br>Compo-<br>nentes | # Sprints | # Versões | # Pontos de<br>História |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------|-----------------------|-----------|-----------|-------------------------|
| 161                         | 483,361                         | 83,252        | 52                    | 301       | 568       | 4,665                   |
| 5                           | 4,062                           | 469           | 44                    | 62        | 20        | 242                     |
| 30                          | 36,312                          | 4,491         | 15                    | 118       | 172       | 315                     |
| 33                          | 197,067                         | 32,015        | 143                   | NA        | 70        | 2,594                   |
| 64                          | 8,621                           | 1,634         | 0                     | 47        | 0         | 373                     |
| 457                         | 151,811                         | 23,056        | 26                    | 142       | 55        | 636                     |
| 59                          | 40,111                          | 5,884         | 6                     | 76        | 26        | 681                     |
| 56                          | 15,800                          | 576           | 29                    | 22        | 4         | 966                     |
| 92                          | 21,842                          | 2,971         | 10                    | 75        | 30        | 720                     |
| 211                         | 310,891                         | 71,744        | 259                   | 396       | 4         | 20,664                  |
| 12                          | 11,559                          | 1,443         | 14                    | 7         | 86        | 666                     |
| 17                          | 23,617                          | 2,077         | 87                    | 91        | 77        | 499                     |
| 35                          | 42,995                          | 11,018        | 35                    | 46        | 107       | 238                     |
| 39                          | 30,193                          | 4,756         | 13                    | 56        | 70        | 224                     |
| 452                         | 1,030,545                       | 136,823       | 37                    | NA        | 444       | 784                     |
| 67                          | 204,228                         | 16,939        | 6                     | NA        | 26        | 5,402                   |
| 554                         | 1,298,195                       | 481,606       | 97                    | 151       | 373       | 1,594                   |
| 129                         | 233,760                         | 16,627        | 129                   | 311       | 274       | 4,170                   |

Continua na próxima página

Continuação da Tabela 16

| # Desen-<br>volvido-<br>res | #<br>Registros<br>de<br>Mudança | # Comentários | #<br>Compo-<br>nentes | # Sprints | # Versões | # Pontos de<br>História |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------|-----------------------|-----------|-----------|-------------------------|
| 34                          | 16,137                          | 744           | 19                    | 124       | 96        | 473                     |
| 82                          | 168,909                         | 26,159        | 91                    | 143       | 167       | 1,845                   |
| 10                          | 7,070                           | 919           | 11                    | 54        | 154       | 243                     |
| 31                          | 43,227                          | 4,120         | 18                    | 66        | 37        | 3,705                   |
| 131                         | 249,243                         | 33,438        | 88                    | 144       | 245       | 1,843                   |
| 48                          | 107,565                         | 6,187         | 10                    | 79        | 68        | 813                     |
| 110                         | 173,623                         | 31,071        | 31                    | 76        | 141       | 297                     |
| 98                          | 70,596                          | 5,447         | 35                    | 46        | 149       | 344                     |
| 118                         | 169,426                         | 17,929        | 40                    | 90        | 371       | 1,000                   |
| <b>Total</b>                | 10,023,871                      | 1,612,399     | 2,232                 | 5,029     | 7,885     | 69,724                  |

*Devido à extensão da Tabela 17 e 18, optou-se por sua divisão em duas partes, mantendo-se a padronização visual e a continuidade do conteúdo. A Parte 1 apresenta os Itens 1 a 4, enquanto a Parte 2 contempla os Itens 5 a 8.*

Tabela 17 – Proporcionalidade por Perfil Técnico — Parte 1

| Nível                               | Perfil de Serviço                                                                                                                                         | Exp. (anos) | Qtd. HST | Prop. | Valor HST (R\$) | Subtotal (R\$) |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|-------|-----------------|----------------|
| <b>ITEM 1: MICROSOFT DOT NET</b>    |                                                                                                                                                           |             |          |       |                 |                |
| 1                                   | Analista Desenvolvedor;<br>Analista de Sistemas;<br>DBA; Analista de Su-<br>porte; Analista de Testes;<br>Designer Gráfico                                | 3           | QEH      | 0,80  | X×0,80          | QEH×(X×0,80)   |
| 2                                   | DBA; Analista de Proces-<br>sos; Analista de Requisi-<br>tos; Analista de Sistemas;<br>Analista Desenvolvedor                                             | 4           | QEH      | 1,00  | X               | QEH×X          |
| 3                                   | DBA; Analista de Proces-<br>sos; Analista de Requisi-<br>tos; Analista de Sistemas;<br>Analista Desenvolvedor;<br>Arquiteto; GP                           | 5           | QEH      | 1,20  | X×1,20          | QEH×(X×1,20)   |
| <b>ITEM 2: MICROSOFT SQL SERVER</b> |                                                                                                                                                           |             |          |       |                 |                |
| 1                                   | DBA; Analista de Dados;<br>Analista Desenvolvedor                                                                                                         | 3           | QEH      | 0,80  | XA×0,80         | QEH×(XA×0,80)  |
| 2                                   | DBA; Analista de Dados;<br>Analista Desenvolvedor                                                                                                         | 4           | QEH      | 1,02  | XA=X×1,02       | QEH×XA         |
| 3                                   | DBA; Analista de Dados;<br>Analista Desenvolvedor                                                                                                         | 5           | QEH      | 1,20  | XA×1,20         | QEH×(XA×1,20)  |
| <b>ITEM 3: MICROSOFT AZURE</b>      |                                                                                                                                                           |             |          |       |                 |                |
| 1                                   | DBA; Analista de Da-<br>dos; Analista de Requi-<br>sitos; Analista de Siste-<br>mas; Analista Desenvol-<br>vedor; Analista de Testes;<br>Designer Gráfico | 3           | QEH      | 0,80  | XB×0,80         | QEH×(XB×0,80)  |
| 2                                   | DBA; Analista de Requisi-<br>tos; Analista de Sistemas;<br>Analista Desenvolvedor                                                                         | 4           | QEH      | 1,25  | XB=X×1,25       | QEH×XB         |

Continua na próxima página

Continuação da Tabela 17

| Nível                               | Perfil de Serviço                                                                        | Exp. (anos) | Qtd. HST | Prop. | Valor HST (R\$) | Subtotal (R\$) |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|-------|-----------------|----------------|
| 3                                   | DBA; Analista de Requisitos; Analista de Sistemas; Analista Desenvolvedor; Arquiteto; GP | 5           | QEH      | 1,20  | XB×1,20         | QEH×(XB×1,20)  |
| 4                                   | Cientista de Dados (Azure ML)                                                            | 3           | QEH      | 1,60  | XB×1,60         | QEH×(XB×1,60)  |
| <b>ITEM 4: MICROSOFT SHAREPOINT</b> |                                                                                          |             |          |       |                 |                |
| 1                                   | Analista Desenvolvedor; Designer Gráfico                                                 | 3           | QEH      | 0,80  | XC×0,80         | QEH×(XC×0,80)  |

Tabela 18 – Proporcionalidade por Perfil Técnico — Parte 2

| Nível                                 | Perfil de Serviço                                                                                                     | Exp. (anos) | Qtd. HST | Prop. | Valor HST (R\$) | Subtotal (R\$) |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|-------|-----------------|----------------|
| <b>ITEM 5: MICROSOFT DYNAMICS CRM</b> |                                                                                                                       |             |          |       |                 |                |
| 1                                     | Analista Desenvolvedor CRM; Analista de Sistemas CRM; Analista de Processos; Analista de Requisitos                   | 3           | QEH      | 0,80  | X×0,80          | QEH×(X×0,80)   |
| 2                                     | Analista Desenvolvedor CRM; Analista de Sistemas CRM; Analista de Processos; Analista de Requisitos                   | 4           | QEH      | 1,00  | X               | QEH×X          |
| 3                                     | Analista Desenvolvedor CRM; Analista de Sistemas CRM; GP; Arquiteto                                                   | 5           | QEH      | 1,20  | X×1,20          | QEH×(X×1,20)   |
| <b>ITEM 6: MICROSOFT POWER BI</b>     |                                                                                                                       |             |          |       |                 |                |
| 1                                     | Analista Desenvolvedor BI; Analista de Dados                                                                          | 3           | QEH      | 0,80  | X×0,80          | QEH×(X×0,80)   |
| 2                                     | Analista Desenvolvedor BI; Analista ETL/Bi; Analista de Dados                                                         | 4           | QEH      | 1,00  | X               | QEH×X          |
| 3                                     | Analista Desenvolvedor BI; Analista ETL/Bi; Arquiteto; Eng. de Dados                                                  | 5           | QEH      | 1,20  | X×1,20          | QEH×(X×1,20)   |
| <b>ITEM 7: MICROSOFT IA</b>           |                                                                                                                       |             |          |       |                 |                |
| 1                                     | Analista Desenvolvedor IA; Analista de Sistemas IA; Analista de Testes; Analista de Requisitos; Analista de Processos | 3           | QEH      | 0,80  | X×0,80          | QEH×(X×0,80)   |

*Continua na próxima página*

Continuação da Tabela 18

| Nível                                   | Perfil de Serviço                                                                                          | Exp. (anos) | Qtd. HST | Prop. | Valor HST (R\$) | Subtotal (R\$) |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|-------|-----------------|----------------|
| 2                                       | Analista Desenvolvedor<br>IA; Analista de Sistemas<br>IA; Analista de Requisitos;<br>Analista de Processos | 4           | QEH      | 1,00  | X               | QEH×X          |
| 3                                       | Analista Desenvolvedor<br>IA; Analista de Sistemas<br>IA; Arquiteto; GP                                    | 5           | QEH      | 1,20  | X×1,20          | QEH×(X×1,20)   |
| <b>ITEM 8: MICROSOFT POWER PLATFORM</b> |                                                                                                            |             |          |       |                 |                |
| 1                                       | Analista Desenvolvedor<br>PP; Analista de Sistemas<br>PP; Analista de Processos;<br>Analista de Requisitos | 3           | QEH      | 0,80  | X×0,80          | QEH×(X×0,80)   |
| 2                                       | Analista Desenvolvedor<br>PP; Analista de Sistemas<br>PP; Analista de Processos;<br>Analista de Requisitos | 4           | QEH      | 1,00  | X               | QEH×X          |
| 3                                       | Analista Desenvolvedor<br>PP; Analista de Sistemas<br>PP; GP; Arquiteto                                    | 5           | QEH      | 1,20  | X×1,20          | QEH×(X×1,20)   |



## 4.2 Diretrizes Detalhadas de Adoção

Para garantir a aplicação do modelo, especialmente em PMEs com maturidade ágil limitada, é proposta uma série de diretrizes estruturadas em fases desmostrado em seguida, com responsabilidades claramente definidas e recomendações de ferramentas. Essas diretrizes têm como objetivo permitir uma implementação gradual e realista.

**Fase 1: Preparação e Alinhamento** é considerada crucial para estabelecer as bases da adoção do modelo de estimativa proposto. Diversas atividades-chave estão incluídas nesta fase. Primeiramente, deve-se realizar uma **Avaliação da Composição da Equipe e Recursos** para analisar o tamanho da equipe, habilidades, disponibilidade e recursos tecnológicos existentes, fornecendo *insights* sobre o contexto e as restrições do projeto. Em seguida, é necessária uma **Avaliação da Maturidade Ágil** para determinar o nível atual de adoção de práticas ágeis tanto pela equipe quanto pela organização, orientando o ritmo e a profundidade de treinamentos necessários.

Terceiro, deve-se realizar **Avaliação da Disponibilidade de Dados** para identificar quais dados históricos de *sprints*—como SPs entregues e custos associados—estão acessíveis e em qual formato; caso não haja dados disponíveis, deve-se estabelecer um plano para garantir sua coleta a partir da primeira *sprint*.

Quarto, a **Definição de Objetivos de Estimativa** é essencial para esclarecer as expectativas da organização quanto ao modelo de estimativa, incluindo objetivos como previsibilidade financeira, melhor alocação de recursos e comunicação com *stakeholders*. Deve-se fornecer **Treinamento Básico** por meio de *workshops* sobre princípios ágeis fundamentais e conceitos centrais do modelo de estimativa, garantindo que os participantes compreendam a lógica e os benefícios do modelo.

**Fase 2: Coleta de Dados e Calibração** foca na aplicação de técnicas de estimativa e na coleta de dados necessários para calcular o CSP. Primeiramente, deve-se realizar a **Estimativa Colaborativa de Story Points (SPs)** utilizando técnicas como *Planning Poker*, garantindo que a equipe alcance consenso sobre o tamanho relativo de cada SP para consistência interna.

Em seguida, é essencial o **Registro dos SPs Entregues e Custos Associados** ao final de cada *sprint*, capturando tanto os SPs efetivamente entregues quanto o custo total da *sprint*; ferramentas como Jira, Trello ou planilhas podem ser utilizadas para este propósito. Terceiro, deve-se realizar a **Filtragem de Sprints Atípicas** aplicando critérios de exclusão—como a entrega de menos de 50% dos SPs planejados—para garantir que o CSP seja calculado com dados representativos do desempenho normal da equipe.

**Fase 3: Estimativa Inicial e Refinamento** baseia-se nos dados coletados para gerar estimativas iniciais e iniciar o ciclo de refinamento. O **Cálculo do CSP Inicial** deve ser realizado utilizando dados históricos ou, no caso da primeira *sprint*, pelas abordagens previamente descritas.

Em seguida, a **Geração da Estimativa Inicial de Custos** envolve a aplicação do CSP inicial para estimar o custo do *backlog* atual ou de novas funções. A **Revisão e Ajuste** exige que as estimativas sejam apresentadas à equipe e aos *stakeholders*, que as premissas subjacentes sejam discutidas e que o CSP seja ajustado caso novas informações ou mudanças no contexto do projeto sejam identificadas.

**Fase 4: Integração Contínua e Monitoramento** enfatiza a necessidade de manter a relevância e a precisão do modelo de estimativa ao longo do tempo deve-se implementar, quando necessário, a **integração com ferramentas de gerenciamento** para automatizar a coleta de dados e o cálculo do CSP, utilizando ferramentas como Jira ou Trello, reduzindo o esforço manual. **Atualizações periódicas do CSP** devem ser realizadas regularmente—após cada *sprint* ou mensalmente—para refletir as condições atuais do projeto, a produtividade da equipe e variações de custo. Devem ser realizadas **revisões regulares** para analisar tendências de produtividade, identificar desvios e implementar ajustes estratégicos no planejamento e na estimativa.

A adoção sustentável do modelo é ainda apoiada por diversas **boas práticas**. É essencial **manter o modelo simples e adaptável**, evitando complexidade desnecessária e garantindo que atenda às necessidades específicas das PMEs. **Garantir transparência**, documentando claramente as premissas, fórmulas e dados utilizados no cálculo do CSP, para construir confiança e facilitar a compreensão. As estimativas devem ser **comunicadas de forma clara** a clientes, gestores e equipes técnicas, incluindo explicações sobre significado e limitações. As organizações devem **investir em treinamento contínuo**, realizando *workshops* regulares para manter o engajamento da equipe e o conhecimento atualizado. Por fim, recomenda-se **adotar o modelo gradualmente**, iniciando com projetos-piloto ou equipes menores para testar e refinar o processo antes de uma implementação mais ampla, minimizando riscos e promovendo aprendizado.

Para mostrar a aplicabilidade prática do modelo, é realizada uma **simulação e ilustração prática** utilizando dados representativos do histórico de sprints de uma PME. Essa simulação mostra como o modelo opera em um cenário real, incluindo o cálculo do CSP, a atualização das estimativas e o gerenciamento de *sprints* atípicas.

A **simulação e ilustração prática** é conduzida para demonstrar a aplicabilidade do modelo de estimativa proposto. Utilizando dados representativos do histórico de *sprints* de uma PME, a simulação apresenta o funcionamento do modelo em um cenário real, incluindo o cálculo do Custo por *Story Point* (CSP), a atualização das estimativas de custo e o tratamento de *sprints* atípicas.

**Dados Iniciais** A Tabela 19 apresenta os Story Points (SP) entregues e os custos associados em três *sprints* consecutivas:

A base do modelo está na capacidade de calcular e ajustar o Custo por Story Point (CSP), que é posteriormente utilizado para projetar custos futuros. As etapas e equações a seguir detalham esse processo:

Tabela 19 – Aplicação do Modelo de Estimativa de Custos com Dados de Exemplo

| Sprint   | SP Entregues | Custo (R\$) |
|----------|--------------|-------------|
| Sprint 1 | 20           | 8.000,00    |
| Sprint 2 | 15           | 6.500,00    |
| Sprint 3 | 25           | 10.000,00   |

**Cálculo Inicial do CSP:** No início do projeto ou para um novo *backlog*, o CSP é calculado a partir dos dados históricos das *sprints*, estabelecendo uma linha de base:

$$CSP = \frac{\sum_{i=1}^n Cost_i}{\sum_{i=1}^n SP_i} \quad (4.2)$$

Onde:

- $Cost_i$  é o custo total do *sprint*  $i$ .
- $SP_i$  é a quantidade total de Story Points entregues no *sprint*  $i$ .
- $n$  é a quantidade número de *sprints* históricas consideradas.

**Estimativa Inicial de Custo:** Utilizando o CSP inicial, o custo total do *backlog* é estimado por:

$$C_{\text{initial}} = SP_{\text{total}} \times CSP \quad (4.3)$$

Onde  $SP_{\text{total}}$  corresponde à soma de todos os *Story Points* do *backlog* a ser estimado.

**Ajuste Dinâmico do CSP:** Conforme o projeto avança, o CSP é atualizado para refletir a produtividade e custos mais recentes da equipe, mantendo as estimativas precisas:

$$CSP_{\text{adjusted}} = \frac{\sum_{i=1}^n Cost_i}{\sum_{i=1}^n SP_i} \quad (4.4)$$

O valor de  $n$  pode representar apenas as *sprints* recentes ou uma média ponderada, dependendo da volatilidade do projeto. A escolha deve ser feita pela equipe, considerando a estabilidade do projeto.

**Atualização da Estimativa de Custo:** Com o CSP ajustado, o custo do escopo remanescente e de novas funcionalidades é atualizado:

$$C_{\text{updated}} = (SP_{\text{remaining}} + SP_{\text{new}}) \times CSP_{\text{adjusted}} \quad (4.5)$$

Onde:

- $SP_{\text{remaining}}$  são os Story Points ainda não entregues.
- $SP_{\text{new}}$  são os *Story Points* de novas funções adicionadas ao *backlog*.

**Cálculo do CSP e Estimativa Inicial** Com base nos dados da Tabela 19, o Custo por Story Point (CSP) médio é calculado como:

$$\text{CSP} = \frac{8.000 + 6.500 + 10.000}{20 + 15 + 25} = \frac{24.500}{60} \approx \text{R\$}408,33$$

Esse CSP inicial permite estimar custos futuros. Por exemplo, se um novo *backlog* for estimado em 50 SP, o custo projetado será:

$$C_{\text{inicial}} = 50 \times 408,33 = \text{R\$}20.416,50$$

**Tratamento de Sprints Atípicas e Ajuste do Modelo:** Uma característica essencial do modelo de estimativa proposto é a filtragem de *sprints* que poderiam distorcer as projeções de custo. Por exemplo, se uma quarta *sprint* entregar apenas 10 SP a um custo de R\$1.500,00, esse valor representa menos de 50% da entrega média observada nas *sprints* anteriores (média de SP entregues =  $60/3 = 20$  SP; 50% de 20 SP = 10 SP) e, portanto, seria excluído do recálculo do CSP.

Essa exclusão é justificada pela possível influência de eventos anormais, como ausência de pessoal, mudanças de escopo ou interrupções não planejadas, garantindo que o CSP reflita o desempenho típico da equipe.

O mecanismo de filtragem aumenta a robustez do modelo, mantendo sua adaptabilidade — característica essencial para PMEs que frequentemente enfrentam volatilidade operacional. O limite de 50% aplicado neste exemplo pode ser ajustado com base na estabilidade histórica e no contexto de cada organização.

**Fluxo de Trabalho e Responsabilidades:** A Tabela 20 detalha as fases de implementação e as responsabilidades associadas.

A Figura 6 ilustra o fluxo lógico da adoção do modelo, resumindo as etapas de implementação e suas interações.

**Fluxo Lógico para Adoção Contínua e Aplicação do Modelo de Estimativa de Custos** descreve as etapas necessárias para garantir estimativa de custos e adaptável em ambientes ágeis, especialmente para PMEs. O fluxo inicia com **análise do contexto organizacional**, que envolve compreender a cultura da PME, os recursos disponíveis, a maturidade ágil e os objetivos de negócio, permitindo que o modelo seja adaptado às realidades específicas da organização.

Em seguida, a equipe realiza a **estimativa de Story Points** utilizando técnicas colaborativas, como *Planning Poker*, para quantificar e compreender o esforço necessário para os itens do *backlog*. Após a conclusão da *sprint*, a etapa de **registro e aprendizado dos dados da sprint**

Tabela 20 – Fases de Implementação e Responsabilidades

| Fase                | Atividades                                | Responsável                | Ferramentas                  |
|---------------------|-------------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Preparação          | Avaliação da equipe e recursos            | Gerente de Projeto         | Reuniões, entrevistas        |
| Treinamento         | <i>Workshops</i> e apresentação do modelo | <i>Agile Coach</i> / Autor | Materiais, planilhas         |
| Coleta de Dados     | Estimativa e registro de custos           | Equipe Ágil                | Jira, Trello, planilhas      |
| Estimativa Inicial  | Cálculo com base em dados anteriores      | Gerente de Projeto         | Planilhas, <i>scripts</i>    |
| Integração Contínua | Configuração de integração e automação    | Analista de Sistemas       | APIs, <i>scripts</i>         |
| Ajustes e Revisão   | Avaliação contínua e refinamentos         | Equipe + Gerente           | <i>Dashboards</i> , reuniões |

captura os SPs entregues e os custos associados, formando a base para o cálculo do CSP. Um **verificador de sprint precursor de 50%** determina se a sprint atende aos critérios mínimos de desempenho; caso menos de 50% dos SPs planejados sejam entregues, a sprint é considerada atípica. As **sprints rejeitadas** são excluídas do cálculo do CSP, e possíveis anomalias são investigadas, com retorno à análise quando necessário.

As *sprints* aprovadas são utilizadas para o **cálculo do CSP**, refletindo o custo médio atual para entregar um *Story Point*. A partir do CSP, é gerada a **estimativa inicial de custos** para o backlog ou novas funcionalidades, fornecendo um ponto de partida para o planejamento financeiro. A **integração com ferramentas de gerenciamento** automatiza a coleta de dados, o registro de SPs e custos, e as atualizações do CSP, reduz os erros. Após cada *sprint*, a **atualização pós-sprint / ajuste do CSP** refina dinamicamente o CSP para refletir a produtividade e custos atuais, apoiando a **estimativa**.

Caso as estimativas sejam imprecisas ou a qualidade dos dados seja questionável, é realizada uma **avaliação das estimativas e dos dados**, retornando-se à estimativa de SP conforme necessário. A **revisão periódica e ajustes** e a aplicação contínua de **boas práticas** asseguram a adoção sustentável, o uso eficaz do modelo e o desenvolvimento de uma cultura de estimativa dentro da organização.

O uso de dados simulados neste exemplo apoia a consistência interna do método proposto e demonstra viabilidade em cenários controlados. Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de estudos de caso reais para avaliar a precisão do modelo, o esforço de implementação e sua adaptabilidade em diferentes contextos organizacionais.

Embora o modelo proposto seja baseado em princípios consolidados de estimativa de custos presentes na literatura (KUMAR; SINGH, 2023; DALMAZO et al., 2011; BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019; RAMESSUR; NAGOWAH, 2021; DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017; FENG; PERIYASAMY, 2022; SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023), sua inovação

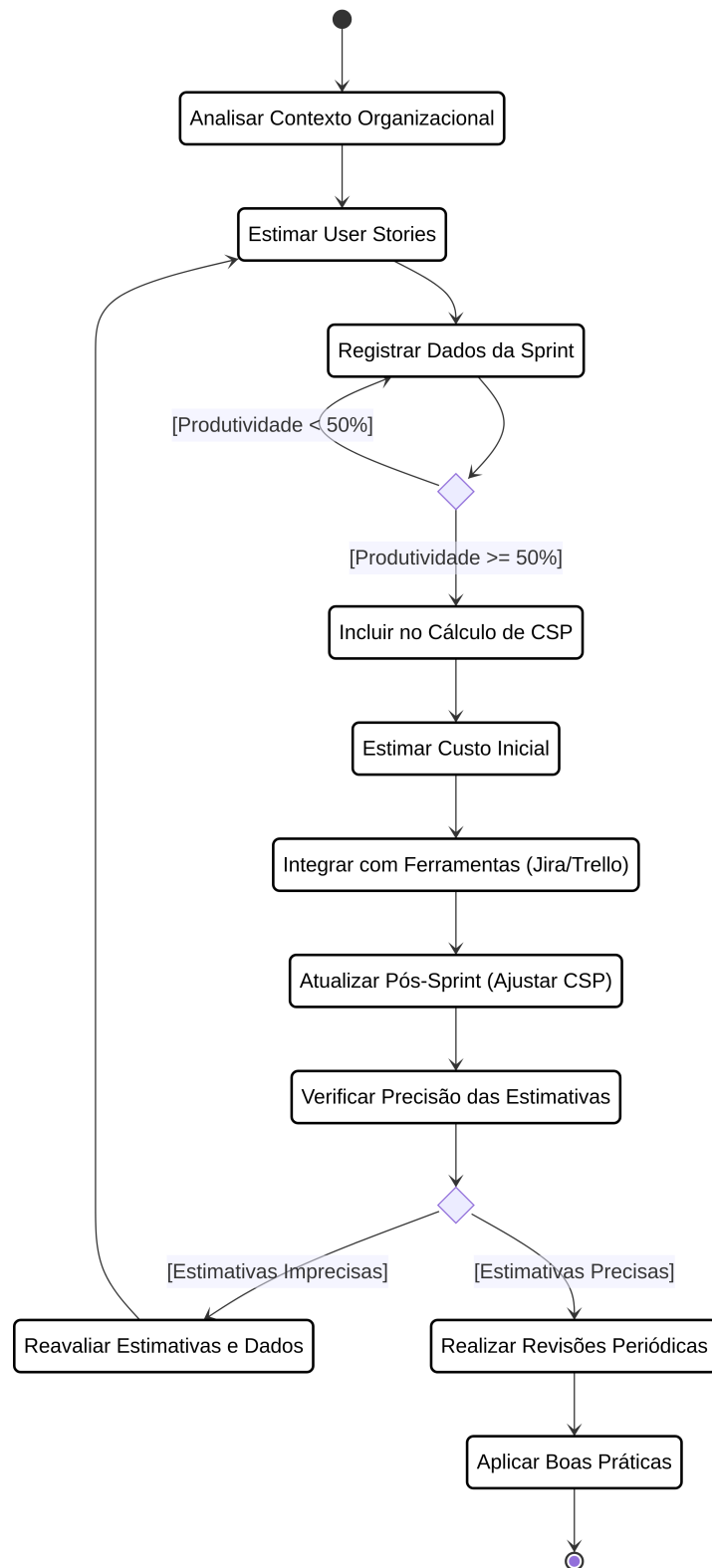


Figura 6 – Fluxograma do Modelo Proposto

reside na adaptação estratégica e simplificação desses conceitos para atender às necessidades e restrições específicas de PMEs em contextos ágeis. Diferentemente de abordagens complexas, que requerem grandes volumes de dados históricos ou conhecimento avançado em estatística —

recursos frequentemente escassos em PMEs (MARKAKI et al., 2023; VRONTIS; CHAUDHURI; CHATTERJEE, 2022; AHMAD, 2012), o modelo oferece um framework leve e acessível.

**Leve** refere-se a um modelo que exige recursos computacionais e esforço de implementação mínimos, evitando complexidade excessiva, fluxos de trabalho longos ou dependência de grandes volumes de dados históricos. **Acessível** indica que o modelo é fácil de compreender e aplicar, mesmo para equipes sem conhecimento avançado em estatística, análise de dados ou metodologias sofisticadas de estimativa (MIHELIČ; VRHOVEC; HOVELJA, 2023).

# 5

## Resultados e Discussões

Este capítulo apresenta a análise e a discussão dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste estudo. Os dados são examinados à luz do referencial teórico e dos trabalhos relacionados, permitindo a interpretação crítica dos achados. A discussão busca relacionar os resultados com estudos prévios, destacando convergências, divergências e implicações. Esta seção contribui para a compreensão dos resultados e para o atendimento aos objetivos propostos pela pesquisa.

### 5.1 Resultados e Discussão Sobre Lacunas e Desafios em Estimativas Ágeis

Uma análise abrangente dos modelos de estimativa existentes, como COCOMO (BOEHM et al., 1995) e FP (ABRAN; ROBILLARD, 1996), revelou limitações intrínsecas que comprometem sua precisão e aplicabilidade, especialmente no contexto de ambientes ágeis. Um dos principais desafios é a dependência de dados históricos, que frequentemente são escassos ou inconsistentes em PMEs, dificultando a geração de previsões (ROJAS-LEMA et al., 2021).

Essa falta de informação histórica (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021; SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023) é considerada um fator crítico que impede a calibração adequada de modelos tradicionais, os quais requerem um volume substancial de dados de projetos anteriores para gerar estimativas. Na ausência de uma linha de base confiável, as premissas subjacentes a esses modelos ficam enfraquecidas, uma vez que a calibração é essencial para alcançar consistência e minimizar erros de estimativa.

A natureza informal dos processos nas PMEs, como observado em (ROJAS-LEMA et al., 2021), exacerba essa situação, tornando a coleta e a organização de dados um desafio contínuo, reforçando a noção de que as PMEs enfrentam dificuldades únicas na estimativa de custos (ROJAS-LEMA et al., 2021). A ausência de documentação sistemática não apenas reduz



a qualidade dos dados disponíveis, mas também impede a criação de bases de conhecimento organizacional que poderiam apoiar estimativas futuras.

Consequentemente, torna-se evidente a necessidade de abordagens adaptativas a dados, uma vez que modelos tradicionais orientados por dados não conseguem operar em contextos onde os registros estão fragmentados ou ausentes. Outro problema crítico identificado é a premissa de estabilidade nos requisitos de projeto, inerente aos modelos de estimativa, que entra em conflito direto com a natureza dinâmica e iterativa das metodologias ágeis.

De acordo com o Manifesto Ágil (ROJAS-LEMA et al., 2021), a adaptabilidade e a capacidade de resposta às mudanças são prioridades, tornando, portanto, modelos tradicionais como FP (ABRAN; ROBILLARD, 1996) inadequados sem a devida adaptação. A incompatibilidade com práticas ágeis — que consideram elementos dinâmicos, como requisitos em constante evolução e equipes distribuídas — permanece um desafio persistente (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021).

Essa observação corrobora a visão de que modelos como COCOMO e FP, quando aplicados sem adaptação, não conseguem capturar as características dinâmicas de projetos ágeis (ABRAN; ROBILLARD, 1996). Os modelos de estimativa devem ser intrinsecamente flexíveis, capazes de reestimativas contínuas e projetados para incorporar a incerteza inerente aos projetos ágeis, alinhando-se à necessidade de abordagens leves e adaptáveis para PMEs (ROJAS-LEMA et al., 2021).

A complexidade de certos modelos de estimativa constitui uma barreira significativa à adoção em PMEs, que frequentemente operam com recursos limitados. Modelos que exigem conhecimentos técnicos avançados, como aqueles baseados em aprendizado de máquina ou em infraestruturas computacionalmente intensivas (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), são impraticáveis para equipes pequenas, reforçando a afirmação de que as PMEs carecem de recursos e ferramentas padronizados (ROJAS-LEMA et al., 2021).

Essas barreiras técnicas e operacionais limitam não apenas a adoção inicial, mas também a manutenção e escalabilidade a longo prazo das práticas de estimativa em ambientes com restrição de recursos. A dependência de conhecimento especializado ou de ferramentas sofisticadas contrasta com a demanda por abordagens leves e simplificadas, destacando a importância do desenvolvimento de métodos de estimativa alinhados às restrições operacionais das PMEs.

A busca por modelos híbridos e de baixo custo computacional (KUMAR; SINGH, 2023), conforme sugerido em artigos (PUTRI; SIAHAAN; FATICHAH, 2021; KHAN et al., 2021), representa resposta direta a essa demanda, oferecendo alternativas práticas. Para ilustrar essas limitações, a Tabela 21 apresenta uma análise comparativa dos modelos de estimativa mais frequentemente discutidos na literatura. A tabela contrasta dimensões-chave, como adequação a PMEs, dependência de dados empíricos, consideração de fatores dinâmicos e práticas de validação.

Por exemplo, enquanto abordagens baseadas em heurísticas, (KUMAR; SINGH, 2023) demonstram potencial para equilibrar adaptabilidade com baixa complexidade, modelos baseados em redes neurais (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019) permanecem impraticáveis por causa do custo computacional. De maneira semelhante, abordagens baseadas em Bayes (DALMAZO et al., 2011; DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017) oferecem flexibilidade no gerenciamento da incerteza, mas são limitadas pela dependência de conjuntos de dados históricos, os quais frequentemente não estão disponíveis em PMEs.

| Estudo                           | Técnica                     | Adequado para PMEs | Dados Reais | Fatores Dinâmicos | Validação |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|-------------|-------------------|-----------|
| (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023)  | Algoritmo Genético          | Não                | Simulado    | Não               | Parcial   |
| (KUMAR; SINGH, 2023)             | Ágil + Heurísticas          | Sim                | Sim         | Parcial           | Parcial   |
| (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021)        | ML ( <i>Random Forest</i> ) | Limitado           | Simulado    | Não               | Parcial   |
| (FENG; PERIYASAMY, 2022)         | Paramétrico                 | Sim                | Sim         | Sim               | Parcial   |
| (BRAGA et al., 2012)             | Redes Bayesianas            | Sim                | Sim         | Parcial           | Não       |
| (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017) | Rede Bayesiana              | Não                | Sim         | Não               | Sim       |
| (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019)   | Redes Neurais               | Não                | Sim         | Não               | Parcial   |

Tabela 21 – Comparação de Modelos de Estimativa com Base em Dimensões Principais

Limitações metodológicas e operacionais dos modelos analisados restringem sua aplicabilidade em projetos reais, particularmente em PMEs. A disponibilidade e a qualidade limitadas dos dados, a dependência de cenários simulados e as suposições simplificadas que não capturam a complexidade dos projetos representam desafios persistentes (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017; RAMESSUR; NAGOWAH, 2021).

Para consolidar essas observações, a Tabela 22 apresenta uma síntese das principais limitações e conclusões dos estudos analisados, destacando a diversidade de contextos nos quais esses modelos foram avaliados e as lacunas recorrentes na validação empírica.

Como mostrado na Tabela 22, os estudos frequentemente convergem em três principais deficiências: (i) dependência excessiva de dados históricos ou homogêneos, (ii) alinhamento insuficiente com os princípios ágeis e (iii) falta de validação empírica em PMEs reais. Essas limitações explicam por que, apesar de décadas de pesquisa, as práticas de estimativa permanecem frágeis nas PMEs.

Superá-las requer modelos que operem efetivamente sob incerteza, incorporem fatores contextuais e dinâmicos e sejam validados em ambientes aplicados. Esse alinhamento entre inovação teórica e teste empírico constitui passo fundamental para o avanço da pesquisa em estimativa de custos em PMEs ágeis.

| Estudo                           | Principais Limitações e Conclusões                                                                         | Contexto/Práticas                            |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| (BRAGA et al., 2012)             | Heterogeneidade de dados entre projetos leva a estimativas menos precisas e resultados mais inconclusivos. | Cenários variados, limitações de dados       |
| (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017) | Dependência de dados históricos e falta de padronização dos fatores de custo                               | Processos informais, baixa transferibilidade |
| (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019)   | Alta complexidade computacional e barreiras técnicas para PMEs                                             | Restrições operacionais em pequenas equipes  |
| (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021)        | Suposições simplificadas e exclusão de variáveis de contexto                                               | Pouca adequação aos processos ágeis          |
| (FENG; PERIYASAMY, 2022)         | Adaptação insuficiente a mudanças e distribuição                                                           | Equipes ágeis, desenvolvimento distribuído   |
| (KUMAR; SINGH, 2023)             | Necessidade de modelos híbridos e leves para ambientes com escassez de dados                               | Foco em IA, ênfase em métodos ágeis          |
| (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023)  | Baixa validação empírica, amostras homogêneas, exclusão de variáveis de contexto                           | Validação limitada ao contexto               |

Tabela 22 – Síntese das Principais Conclusões dos Estudos Analisados (Organizados por Ano)

A análise revela consenso claro e crescente, especialmente no contexto ágeis. Modelos algorítmicos tradicionais, como SLIM e o Modelo Putnam, conforme discutido no referencial teórico, são rígidos demais e dependentes de dados para ambientes caracterizados por volatilidade e registros históricos escassos (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019).

Métodos puramente qualitativos, como a Técnica Delphi, embora flexíveis, carecem de rigor quantitativo e podem ser lentos e sujeitos a vieses, tornando-os menos adequados às rápidas iterações do desenvolvimento ágil (KUMAR; SINGH, 2023).

Essa dicotomia evidencia a necessidade de modelos híbridos, que integrem as forças de diferentes abordagens. Os achados estão alinhados às sugestões de revisões sistemáticas recentes, como (FERNÁNDEZ-DIEGO et al., 2020), que propõem que a combinação de técnicas baseadas em dados com julgamento especializado pode gerar resultados mais robustos.

Abordagem híbrida poderia utilizar método baseado em analogia para estabelecer estimativa inicial, que seria refinada iterativamente com base em contribuições de especialistas (semelhante a um Delphi simplificado) e ajustada após cada *sprint* com base em dados de desempenho em tempo real, que defende a combinação de práticas ágeis com heurísticas (KUMAR; SINGH, 2023) e modelo modular de análise estática, que sugere que métodos leves e adaptáveis podem alcançar alta precisão (ROJAS-LEMA et al., 2021).

Tal modelo seria simultaneamente adaptativo, conforme exigido pelos princípios ágeis (BRAGA et al., 2012), e prático para PMEs, que frequentemente dependem do conhecimento tácito de suas equipes (ROJAS-LEMA et al., 2021).

A adaptabilidade desses modelos deve ir além da simples possibilidade de reestimativa. Deve envolver a capacidade de aprendizado e autocorreção, sendo aí que a integração de conceitos de aprendizado de máquina, mesmo de forma simplificada, se mostra promissora.

Enquanto modelos complexos são impraticáveis (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), técnicas leves de aprendizado de máquina (HOC; HAI; NHUNG, 2020) para otimização do UCP poderiam ser usadas para identificar os fatores de custo relevantes a partir dos dados limitados disponíveis em PME. Um modelo poderia, por exemplo, utilizar uma análise de regressão simples para correlacionar *story points* com esforço real ao longo de vários *sprints*, refinando continuamente sua própria fórmula preditiva. Isso atende à lacuna sobre a necessidade de compreender melhor os fatores que influenciam a qualidade da estimativa (ROJAS-LEMA et al., 2021).

Revisitando os objetivos desta pesquisa, a análise confirma que eles foram substancialmente atingidos. O objetivo principal era identificar as limitações operacionais, a adequação às PMEs e as lacunas nos modelos de estimativa de custos existentes em ambientes ágeis.

- **Limitações Operacionais:** A análise identificou claramente as principais limitações, incluindo a dependência excessiva de dados históricos inexistentes (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023), a incapacidade de lidar com requisitos dinâmicos (BRAGA et al., 2012; RAMESSUR; NAGOWAH, 2021) e a alta complexidade de certos modelos (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), que atuam como barreiras significativas à adoção;
- **Adequação às PMEs:** Os resultados confirmam que a maioria dos modelos tradicionais e muitos modelos avançados não são adequados para PMEs. Isso se deve à discrepância entre os requisitos dos modelos (por exemplo, grandes conjuntos de dados, processos formais, expertise especializada) e o contexto típico das PMEs (por exemplo, escassez de dados, práticas informais, recursos limitados), ponto consistentemente destacado na literatura (ROJAS-LEMA et al., 2021);
- **Identificação de Lacunas:** A pesquisa evidenciou lacuna crítica: a ausência de modelos que sejam simultaneamente simples, adaptativos e validados empiricamente em ambientes reais de PMEs. Embora alguns estudos proponham técnicas inovadoras, muitas vezes utilizam dados simulados ou não consideram as restrições práticas de implementação em pequenas empresas (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023; RAMESSUR; NAGOWAH, 2021);
- **Grau de Adaptação:** O estudo avaliou o grau de adaptação, concluindo que a maioria dos modelos oferece apenas adaptações superficiais aos princípios ágeis. Frequentemente, tratam projetos ágeis como série de mini-*waterfalls*, em vez de abraçar os princípios centrais de *feedback* contínuo e escopo emergente. Isso reforça a necessidade de modelos concebidos desde a base com a agilidade em mente (ROJAS-LEMA et al., 2021).

Ao analisar sistematicamente essas dimensões em múltiplos “casos” (os artigos selecionados), este estudo fornece visão consolidada que corrobora os achados de SLRs individuais, como (USMAN et al., 2014) e (FERNÁNDEZ-DIEGO et al., 2020), mas também aprofunda a

compreensão sobre por que esses desafios persistem especificamente no nicho de PMEs ágeis. O futuro da estimativa de custos em PMEs ágeis não reside em encontrar um modelo “perfeito”, mas em desenvolver um *framework* para criação de estratégias de estimativa híbridas, leves e contextualmente adaptadas. Isso eleva o campo além da simples identificação de problemas, propondo caminho viável para soluções práticas, metodologicamente sólidas e operacionalmente factíveis para as organizações que precisam delas.

### 5.1.1 Ameaças à Validade

As ameaças à validade podem afetar os achados deste estudo, conforme discutido nos parágrafos a seguir.

**Validade interna** refere-se aos potenciais vieses introduzidos durante a seleção dos estudos e a extração de dados. Embora procedimentos sistemáticos tenham sido seguidos, alguns estudos relevantes podem ter sido omitidos por causa limitações das bases de dados ou variações nas palavras-chave;

**Validade externa** está relacionada à generalização dos resultados. Os estudos selecionados concentram-se predominantemente em contextos específicos, como PMEs ou determinados frameworks ágeis, o que pode limitar a aplicabilidade das conclusões a cenários mais amplos;

**Validade de constructo** é desafiada pelas definições operacionais e pelos critérios de inclusão usados para selecionar os estudos. Algumas pesquisas relevantes podem ter sido excluídas devido à estrita adesão às definições formais de modelos;

**Validade de conclusão** depende da qualidade e consistência dos dados relatados nos estudos primários. A heterogeneidade e a validação empírica limitada em alguns trabalhos reduzem a robustez das evidências gerais;

Ao reconhecer essas limitações, este estudo busca fornecer compreensão transparente e equilibrada do panorama atual dos modelos de estimativa de custos em ambientes ágeis.

### 5.1.2 Agenda de Pesquisa e Direções Futuras

Com base nas ameaças identificadas, propõe-se a seguinte agenda de pesquisa:

- **Desenvolvimento de Modelos Híbridos Adaptativos:** Combinando abordagens paramétricas, baseadas em especialistas e em aprendizado de máquina;
- **Validação Empírica em Amostras Diversas:** Focando em diferentes equipes ágeis, tipos de projeto e cenários de PMEs;
- **Inclusão de Fatores Contextuais e Dinâmicos:** Como maturidade ágil, domínio do produto, distribuição da equipe e mudanças nos requisitos.

- **Métricas Específicas para Ágil:** Para refletir melhor entregas incrementais, variabilidade da equipe e complexidade das histórias;
- **Ferramentas Leves e Incrementais:** Especialmente projetadas para PMEs com escassez de dados e recursos limitados;
- **Padronização de Fatores de Custo:** Permitindo replicação e comparabilidade entre modelos.

## 5.2 Limitações e Lacunas de Pesquisa nos Estudos Primários Selecionados

Embora o **SP-CostAgile** ainda não tenha passado por validação empírica, sua estrutura está fundamentada em análise sistemática de sete estudos selecionados a partir de uma revisão ampla de quarenta e dois artigos sobre estimativa de custos em ambientes ágeis, disponíveis na Tabela 6.

Essa análise identificou limitações recorrentes em PMEs, como a ausência de diretrizes práticas, dependência de dados históricos e baixa adaptabilidade de processos estruturados de estimativa. Esses achados orientaram o desenho dos componentes do modelo e das diretrizes de implementação, visando abordar especificamente essas lacunas, conforme apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 – Principais Limitações Enfrentadas por PMEs e Soluções Propostas pelo Modelo, com Estudos Relacionados

| Barreira Identificada                          | Solução Proposta no Modelo                                                                                   | Estudos Relacionados                                            |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Falta de dados históricos                      | Estimativas baseadas em <i>Story Points</i> (SP) combinadas com custo médio ajustado por <i>sprint</i> (CSP) | (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017), (RAMESSUR; NAGOWAH, 2021)     |
| Equipes pequenas e variáveis                   | Aplicação apoiada por diretrizes de treinamento                                                              | (BOEHM et al., 1995), (BOEHM et al., 2005)                      |
| Baixa maturidade em métricas                   | Treinamento, <i>workshops</i> e integração gradual do modelo                                                 | (FENG; PERIYASAMY, 2022)                                        |
| Dificuldade de integração de ferramentas       | Compatível com planilhas, Jira, Trello ou <i>scripts</i>                                                     | (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019), (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023) |
| Necessidade de ajuste contínuo das estimativas | Fórmulas dinâmicas de atualização de custo por <i>Story Point</i>                                            | (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017), (FENG; PERIYASAMY, 2022)      |

As soluções propostas oferecem estratégias práticas para desafios frequentemente relatados na literatura. A falta de dados históricos em equipes pequenas ou recém-formadas (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017; RAMESSUR; NAGOWAH, 2021) é mitigada na abordagem proposta

combinando SP com um custo médio ajustado por *sprint* CSP, permitindo refinamento iterativo sem depender de grandes bases de dados, frequentemente indisponíveis para PMEs.

De forma similar, desafios associados a equipes pequenas e variáveis — muitas vezes negligenciados por modelos preditivos tradicionais, como o COCOMO (BOEHM et al., 1995; BOEHM et al., 2005) — são abordados por meio de práticas leves e treinamento prático. A baixa maturidade em métricas ágeis, enfatizada em modelos específicos de Scrum (FENG; PERIYASAMY, 2022), é superada por meio de treinamentos direcionados e adoção gradual, promovendo confiança sem provocar mudanças culturais disruptivas.

A integração de ferramentas, que representava limitação em abordagens baseadas em redes neurais e algoritmos genéticos (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019; SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023), é resolvida garantindo compatibilidade com softwares amplamente utilizados, como planilhas, Jira, Trello ou *scripts* simples, facilitando a incorporação da estimativa de custos aos fluxos de trabalho existentes. A necessidade de ajuste contínuo das estimativas, anteriormente limitada em alguns modelos (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017; FENG; PERIYASAMY, 2022), é atendida por fórmulas dinâmicas por *Story Point*, oferecendo maior aplicabilidade e flexibilidade.

Embora o **SP-CostAgile** demonstre potencial prático, a validação empírica por meio de estudos-piloto e *feedback* de profissionais é essencial para refinar aplicação em diferentes PMEs. De forma geral, o modelo conecta aspectos teóricos e práticos da estimativa de custos em ambientes ágeis, oferecendo às PMEs adequado para cenários reais, abordando as limitações identificadas em estudos anteriores.

### 5.3 Resultados da Aplicação do Modelo de Estimativa de Custos em Ambientes Ágeis

Após a estimativa de custos, foram aplicadas estatísticas descritivas para analisar a distribuição dos custos estimados e das métricas do projeto. Uma matriz de correlação foi calculada para variáveis como a quantidade de *issues*, *bugs*, desenvolvedores e SP, sendo utilizados mapas de calor (*heatmaps*) e gráficos de dispersão para ilustrar suas relações. Essas análises auxiliam na identificação dos principais direcionadores de custo do modelo.

Conforme esperado, o **SP-CostAgile** apresenta proporcionalidade direta em relação aos SP. Correlações positivas também foram observadas para *issues* e *bugs* embora fracas indicando que projetos com maior número de issues e bugs tendem a apresentar maior quantidade de SP e, consequentemente, custos mais elevados. Os mapas de calor e gráficos de dispersão fornecem suporte visual a esses achados.



### Matriz de Correlação das Métricas do Projeto e do Custo Estimado

A Figura 7 apresenta a matriz de correlação entre as métricas do projeto e o custo estimado, com valores variando de -1 (correlação negativa perfeita) a +1 (correlação positiva perfeita). Conforme esperado, foi observada uma correlação perfeita (1,0) entre o Custo Estimado e os *Story Points*, uma vez que o custo é diretamente derivado dessa métrica.

A quantidade de *Issues* e o Número de *Bugs* apresentam forte correlação positiva (0,75), indicando que projetos com mais *issues* tendem a possuir também mais *bugs*. Ambas as métricas também se correlacionam positivamente com o Custo Estimado (0,45 e 0,38, respectivamente), embora de forma menos direta do que os *Story Points*.

A quantidade de Usuários apresenta correlação negativa com o custo (-0,32), possivelmente refletindo maior maturidade do projeto ou base de código estável, com menor necessidade de esforço adicional. A quantidade de Desenvolvedores, por sua vez, exibe apenas correlação fraca com o custo (0,12), sugerindo baixo valor preditivo. Essa análise evidencia a interdependência entre as variáveis e sua influência relativa sobre o custo do projeto.

|                | # Issues | # Bugs | ... | # Story Points | Estimated_Cost |
|----------------|----------|--------|-----|----------------|----------------|
| # Issues       | 1.00     | 0.95   | ... | 0.18           | 0.18           |
| # Bugs         | 0.95     | 1.00   | ... | 0.00           | 0.00           |
| # Users        | 0.67     | 0.61   | ... | -0.15          | -0.15          |
| # Developers   | 0.85     | 0.75   | ... | 0.04           | 0.04           |
| # Story Points | 0.18     | 0.00   | ... | 1.00           | 1.00           |
| Estimated_Cost | 0.18     | 0.00   | ... | 1.00           | 1.00           |

Figura 7 – Correlation Matrix

### Estatísticas Descritivas dos Custos Estimados e das Métricas do Projeto

A Figura 8 apresenta as estatísticas descritivas dos custos estimados e das métricas do projeto, resumindo a quantidade de observações, média, desvio padrão, valores mínimo e máximo, bem como os quartis (25%, 50% e 75%).

A análise evidencia a distribuição e a variabilidade de cada métrica. O Custo Estimado apresenta considerável dispersão entre os projetos analisados, refletindo diferenças substanciais de escopo e complexidade. A quantidade de *Issues* e *Bugs* também exibem variabilidade significativa, corroborada pela forte correlação entre essas variáveis ( $r = 0,95$ ). Os *Story Points* demonstram associação perfeitamente positiva com o Custo Estimado ( $r = 1,00$ ), indicando alinhamento direto entre esforço estimado e custo projetado.

Essas estatísticas fornecem visão inicial do conjunto de dados, servindo como base para análises posteriores, como a matriz de correlação.

### Visualizações Geradas

### Matriz de Correlação das Métricas do Projeto e do Custo Estimado



|       | # Issues  | # Bugs    | ... | # Story Points | Estimated_Cost |
|-------|-----------|-----------|-----|----------------|----------------|
| count | 44.00     | 44.00     | ... | 44.00          | 44.00          |
| mean  | 11,567.34 | 5,399.86  | ... | 1,584.64       | 1,497,164.44   |
| std   | 14,593.71 | 8,146.67  | ... | 3,226.42       | 3,048,318.43   |
| min   | 313.00    | 123.00    | ... | 209.00         | 197,463.20     |
| 25%   | 1,630.00  | 523.75    | ... | 349.25         | 329,971.40     |
| 50%   | 5,824.50  | 2,683.50  | ... | 582.00         | 549,873.60     |
| 75%   | 13,824.50 | 6,075.50  | ... | 1,371.25       | 1,295,557.00   |
| max   | 66,741.00 | 41,355.00 | ... | 20,664.00      | 19,523,347.20  |

Figura 8 – Estatísticas descritivas dos custos estimados e das métricas do projeto.

A Figura 9 apresenta a matriz de correlação entre diferentes métricas do projeto e o custo estimado. Essa visualização é fundamental para identificar relações lineares entre as variáveis, em que valores próximos de +1 ou -1 indicam correlações positivas ou negativas fortes, respectivamente, enquanto valores próximos de 0 indicam pouca ou nenhuma correlação linear. A análise dessa matriz possibilita compreender quais métricas do projeto exercem maior influência sobre o custo estimado, fornecendo subsídios para a identificação dos principais direcionadores de custo no modelo proposto.

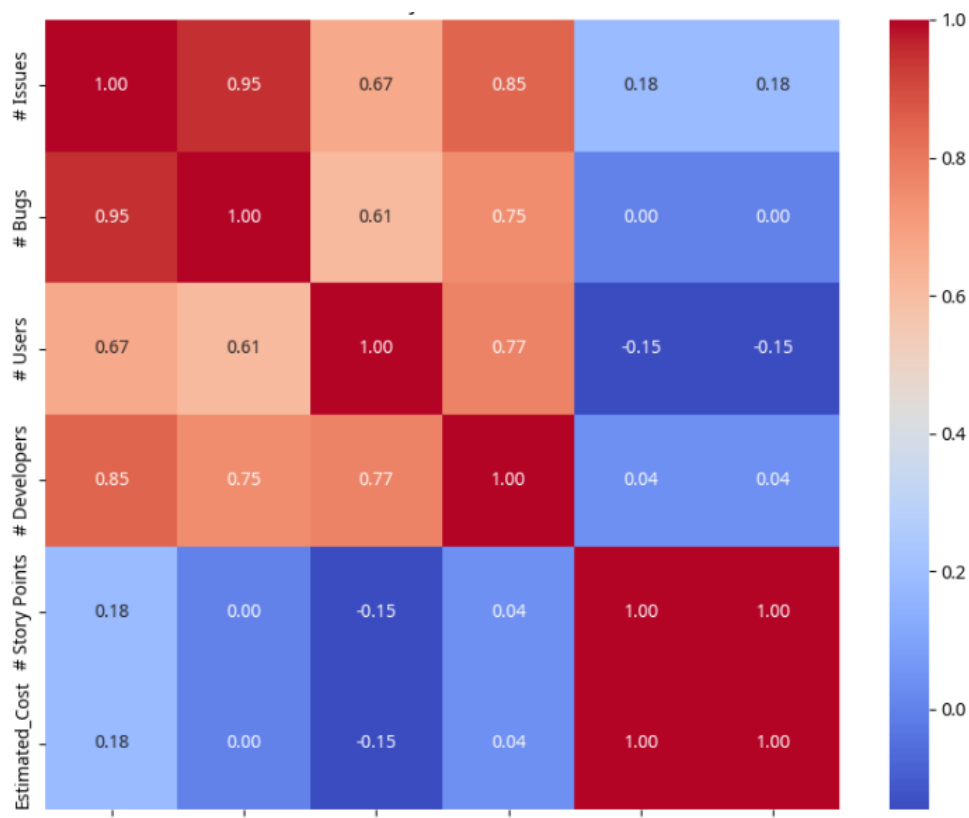


Figura 9 – Matriz de Correlação

A Figura 10 apresenta o gráfico de dispersão do Custo Estimado (R\$) em função dos SP. Conforme definido no **SP-CostAgile**, o custo é diretamente proporcional aos SP, resultando em relação linear positiva. Cada ponto representa projeto e o alinhamento consistente ao longo

de uma linha ascendente confirma que maiores quantidades de SP estão associadas a custos estimados mais elevados. Esse padrão claro reforça a interpretabilidade e a previsibilidade do **SP-CostAgile**, permitindo que os *stakeholders* compreendam como o escopo funcional impacta o orçamento do projeto.

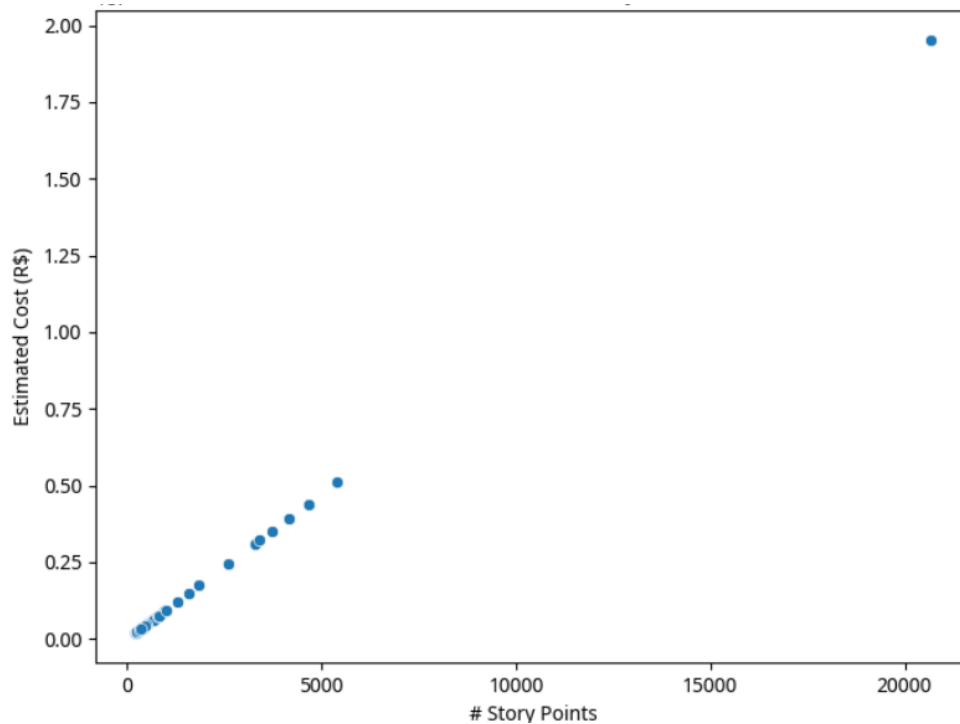


Figura 10 – Custo Estimado vs. Pontos de História

A Figura 11 apresenta o gráfico de dispersão do Custo Estimado (R\$) em relação à quantidade de *issues*. A dispersão considerável dos pontos indica que, embora a maior quantidade de *issues* tenda a estar associado a custos elevados, essa relação não é estritamente linear nem diretamente proporcional. Projetos com quantidades semelhantes de *issues* podem apresentar custos bastante distintos, sugerindo que as *issues* atuam como fator secundário de custo, em consonância com a correlação moderada observada na matriz de correlação. Essa variabilidade pode decorrer de fatores como complexidade das *issues*, prioridade ou estratégia de resolução adotada. Essa análise evidencia a necessidade de considerar múltiplas métricas para estimativa de custos mais abrangente.

A Figura 12 apresenta o gráfico de dispersão do Custo Estimado (R\$) em função da quantidade de *bugs*. De forma semelhante ao observado para as *issues*, a relação é não linear e apresenta elevada dispersão. Projetos com maior número de *bugs* tendem, em média, a apresentar custos mais elevados, porém a variabilidade é significativa, refletindo fatores como severidade dos *bugs*, esforço de correção e fase do projeto em que ocorrem. Esse comportamento está alinhado com a correlação relativamente baixa observada na matriz de correlação, indicando que os bugs influenciam o custo, mas não constituem seus principais direcionadores. O gráfico reforça que o impacto qualitativo dos bugs, e não apenas a quantidade, deve ser considerado na

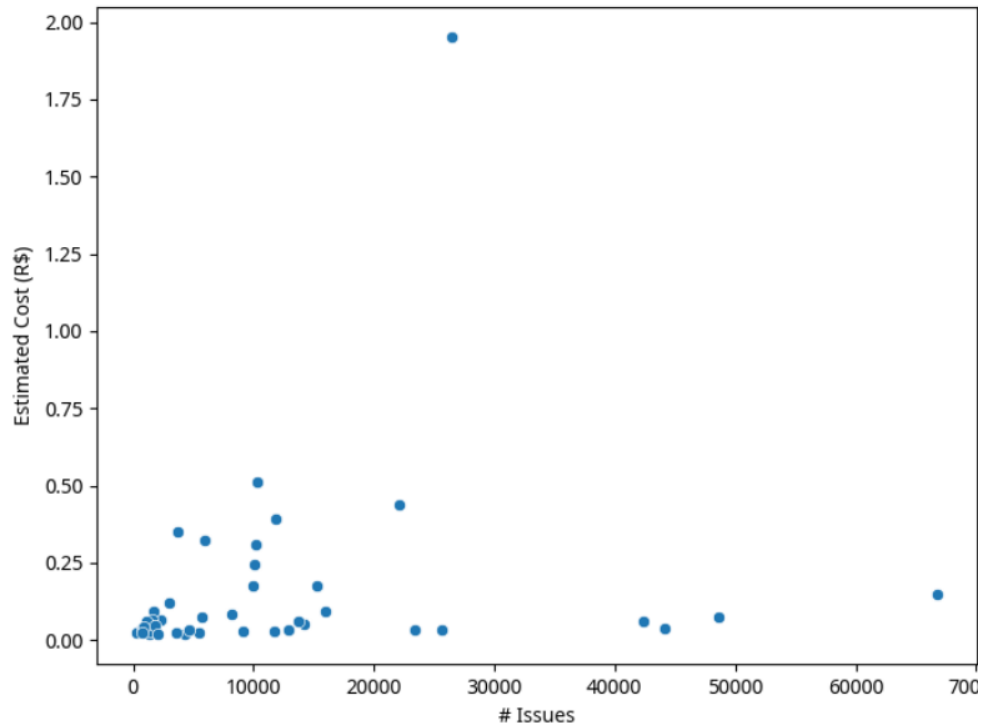


Figura 11 – Custo Estimado vs. Problemas

estimativa de custos.

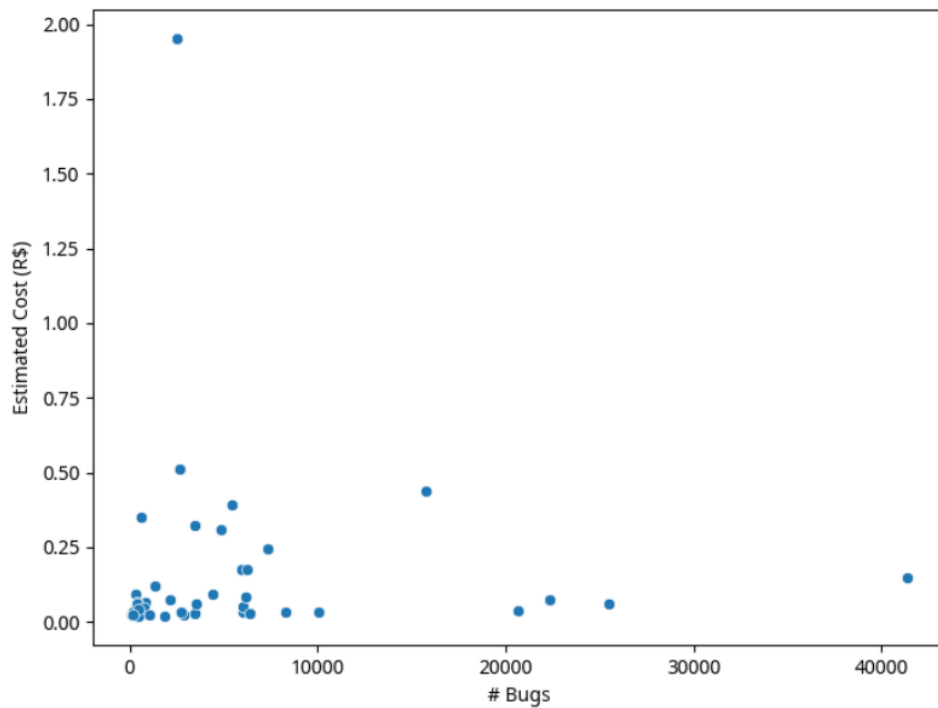


Figura 12 – Custo Estimado vs. Erros

A Figura 13 apresenta o gráfico de dispersão do Custo Estimado (R\$) em relação à quantidade de desenvolvedores. A correlação observada é muito fraca, em consonância com o

coeficiente próximo de zero identificado na matriz de correlação. Os pontos de dados encontram-se amplamente dispersos, sem a formação de uma tendência clara, indicando que o tamanho da equipe, por si só, não determina o custo do projeto. Fatores como produtividade individual, experiência da equipe ou complexidade do projeto provavelmente exercem influência. Esse resultado evidencia a relevância de métricas relacionadas a esforço e escopo, como SP, em detrimento da simples contagem de desenvolvedores para a estimativa de custos em ambientes ágeis.

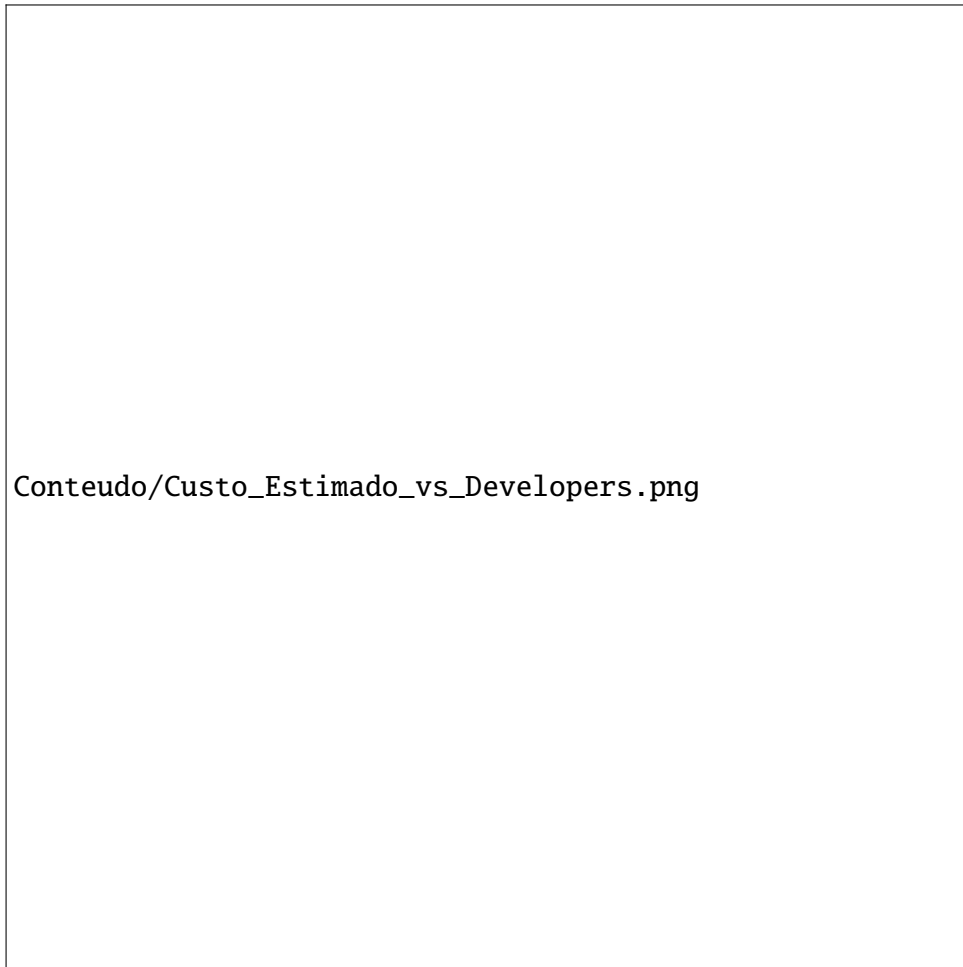


Figura 13 – Custo Estimado vs. Quantidade Desenvolvedores

### **Abordagem de Validação na Ausência de Dados Reais**

A validação de modelos de estimativa de custos geralmente envolve a comparação entre os valores estimados e os custos reais dos projetos. A ausência de dados reais de custo exigiu a adoção de uma abordagem alternativa, com foco na robustez teórica e na análise de sensibilidade. Conforme destacado pela Baytech Consulting ([PUTRI; SIAHAAN; FATICHAH, 2021](#); [KHAN et al., 2021](#)), a estimativa ágil frequentemente utiliza termos relativos, o que demanda a definição clara de pressupostos para a conversão em valores absolutos. A validação concentra-se na consistência interna do modelo e em sua capacidade de refletir variações de custo esperadas com base nas características do projeto.

### Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade é essencial para avaliar a robustez do modelo quando os dados reais são limitados (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023). Essa análise examina como alterações nas variáveis de entrada afetam os resultados. As principais variáveis de sensibilidade consideradas são:

- **Taxa Horária Base (X):** Afeta diretamente todas as taxas horárias efetivas, o custo por SP e o custo total estimado, ilustrando faixas de custo esperadas sob diferentes cenários de mão de obra;
- **Horas por SP:** Um dos pressupostos mais críticos, refletindo a produtividade ou a complexidade associada aos SP. Variações nesse parâmetro exercem um efeito linear sobre o custo por SP e o custo total, sendo fundamentais para a aplicabilidade do modelo.

A variação desses pressupostos mostra a capacidade de resposta do modelo a fatores internos e externos, fornecendo uma visão sobre possíveis flutuações de custo. Essa abordagem avalia a consistência do modelo, em vez de sua acurácia absoluta.

### Comparação com a Literatura e Modelos Teóricos

O **SP-CostAgile** está alinhado à literatura que destaca a estimativa relativa em projetos ágeis e o uso de Story Points como medida de tamanho funcional (KOMALA et al., 2023). Embora não seja preditivo no sentido tradicional (validado por métricas como MAPE ou RMSE em comparação com dados reais), o modelo oferece uma estrutura que pode ser calibrada com dados históricos quando estes estiverem disponíveis. Estudos revisados na ResearchGate (NAJM; ZAKRANI; MARZAK, 2023) e na Springer (ALSHAMMARI, 2022) discutem a estimativa de esforço e custos em ambientes ágeis, frequentemente baseadas em pressupostos e calibração. **SP-CostAgile** integra dados detalhados de perfis técnicos da equipe (Tabela 17 e 18) com métricas de projeto (Tabela 15 e 16), possibilitando a geração de estimativas de custo transparentes.

## 5.4 Limitações do Estudo

Embora este estudo tenha fornecido uma análise relevante sobre a estimativa de custos no desenvolvimento de software em empresas ágeis, algumas limitações devem ser reconhecidas. A primeira limitação refere-se ao idioma dos artigos revisados. A pesquisa foi exclusivamente focada em artigos publicados em inglês, o que pode ter restringido o escopo da revisão da literatura. Embora o inglês seja amplamente utilizado em publicações acadêmicas, a exclusão de artigos em outros idiomas, como espanhol ou francês, pode ter levado à omissão de contribuições importantes provenientes de diferentes contextos culturais e empresariais. A inclusão de literatura

em outros idiomas poderia ter proporcionado uma perspectiva mais abrangente sobre as práticas de estimativa de custos em empresas ágeis em nível global.

A segunda limitação está relacionada ao fato de que a análise dos dados foi realizada por dois pesquisadores. Embora essa abordagem tenha sido condicionada por limitações de tempo e recursos, algum grau de subjetividade pode ter sido introduzido na interpretação dos resultados. A participação mais pesquisadores poderia ter mitigado vieses individuais e aumentado a validade da análise. Equipe mais ampla poderia ter facilitado a incorporação de uma diversidade maior de perspectivas, contribuindo para o aumento da confiabilidade das conclusões. Essas limitações não reduzem a relevância do estudo, mas indicam oportunidades de aprimoramento para pesquisas futuras, como a ampliação do conjunto de fontes de dados e a inclusão de mais analistas no processo de interpretação dos dados.

# 6

## Conclusão

Esta pesquisa consolidou uma análise abrangente sobre a estimativa de custos no desenvolvimento de software ágil em PMEs, integrando evidências da literatura, diretrizes conceituais e a proposição de um modelo analítico orientado por métricas ágeis. Os resultados mostram que, embora ampla variedade de métodos seja empregada incluindo Julgamento de Especialistas, SP, modelos paramétricos clássicos e abordagens baseadas em IA, ainda persistem limitações significativas relacionadas à confiabilidade, disponibilidade de dados históricos e adaptação ao dinamismo inerente aos ambientes ágeis.

A revisão sistemática evidenciou que modelos clássicos, como COCOMO e Pontos de Função, mantêm relevância como referências estruturais, mesmo tendo sido originalmente concebidos para contextos tradicionais. A adaptação ao ambiente ágil, isoladamente ou em combinação com técnicas contemporâneas, revela-se estratégia recorrente na literatura. Contudo, a dependência excessiva do julgamento humano, a frequente mudança de requisitos e a escassez de dados históricos configuram desafios críticos que comprometem a acurácia das estimativas, especialmente no contexto das PMEs.

A análise comparativa dos diferentes modelos reforçou que abordagens baseadas em IA e técnicas de otimização apresentam elevado potencial preditivo e adaptativo, mas aplicabilidade prática em PMEs é restringida por exigências de grandes volumes de dados, infraestrutura tecnológica e validação empírica. De forma complementar, modelos baseados em engenharia dirigida por modelos e técnicas híbridas apontam caminhos promissores, embora ainda enfrentem barreiras relacionadas à padronização e à generalização em contextos organizacionais diversos.

Diante dessas limitações, este trabalho avançou ao propor diretrizes para a implementação gradual de estimativas de custos em PMEs ágeis, combinando métricas utilizadas, como SP, com mecanismos simplificados de custeio por *sprint*. Essa abordagem busca equilibrar rigor conceitual e viabilidade operacional, permitindo estimativas mesmo em cenários de baixa maturidade em métricas e ausência de dados históricos robustos. As diretrizes propostas preenchem lacunas

identificadas na literatura e oferecem um ponto de partida estruturado para a adoção progressiva de práticas de estimativa alinhadas aos princípios ágeis.

Como desdobramento dessas diretrizes, foi desenvolvido um modelo de estimativa de custos baseado em SP. Os resultados indicaram correlação direta entre o escopo funcional e o custo estimado, reforçando a centralidade de métricas de esforço e escopo em ambientes ágeis, em detrimento de métricas puramente estruturais, como o tamanho da equipe. Embora o modelo não tenha sido validado com dados reais de custo, sua estrutura mostrou comportamento previsível e passível de calibração futura.

Apesar das contribuições teóricas e metodológicas, este estudo apresenta limitações, especialmente relacionadas à ausência de validação empírica em projetos reais e à dependência de dados simulados ou ilustrativos. Assim, pesquisas futuras devem concentrar-se na aplicação prática dos modelos e diretrizes propostos em contextos reais de PMEs, incorporando dados históricos de custo, complexidade das tarefas, experiência das equipes e maturidade dos processos ágeis. A calibração empírica desses modelos permitirá o refinamento de seus parâmetros e o fortalecimento de seu poder preditivo.

Os resultados preliminares desta pesquisa foram publicados nos anais do Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software, (SANTOS; SOARES, 2025), o que possibilitou a validação inicial da estrutura conceitual e metodológica do modelo proposto. Essa publicação contribuiu para o refinamento dos construtos, fortalecimento da fundamentação empírica e consolidação da relevância científica da proposta no contexto de PMEs que adotam metodologias ágeis. No ano de 2026, três artigos de autoria de (SANTOS; SOARES, 2025), estando atualmente em processo de avaliação editorial.

O primeiro artigo, intitulado **Cost Estimation in Agile Environments: A Model Adapted for Small and Medium-Sized Enterprises**, observa a aplicação do modelo SP-CostAgile com dados relacionados ao desenvolvimento de software ágil, buscando analisar sua adequação ao contexto de PMEs e sua contribuição para a melhoria da previsibilidade de custos em ambientes iterativos. O segundo artigo **Guidelines for Using a Cost Estimation Model in Agile Projects of Small and Medium-Sized Enterprises**, propõe diretrizes estruturadas para facilitar a adoção do SP-CostAgile, com foco na redução de incertezas financeiras e na sistematização do processo de implementação. O terceiro artigo **Challenges in Cost Estimation in Agile Environments: Identifying Gaps and Limitations**, tem como objetivo identificar lacunas e limitações em um conjunto específico de estudos selecionados por meio de RSL, evidenciando fragilidades nas abordagens atuais de estimativa de custos em ambientes ágeis.

Paralelamente, os achados desta dissertação evidenciam que o SP-CostAgile apresenta potencial para proteção intelectual na modalidade de Modelo de Utilidade, uma vez que configura solução técnica de aplicação prática, com melhoria funcional no processo de estimativa de custos. Diferentemente de uma contribuição exclusivamente teórica, o modelo mostra viabilidade operacional e possibilidade de exploração tecnológica. Os procedimentos institucionais cabíveis



foram devidamente realizados, incluindo a análise de anterioridade e o encaminhamento formal do pedido ao setor competente, evidenciando não apenas a maturidade científica da pesquisa e potencial inovador e aplicabilidade no contexto organizacional

Como continuidade desta pesquisa, recomenda-se a aplicação empírica do **SP-CostAgile** em projetos reais de PMEs que adotam metodologias ágeis, com o objetivo de avaliar a eficácia e acurácia a partir de dados históricos concretos de custo, esforço e duração. Essa validação empírica permitirá a calibração dos parâmetros do **SP-CostAgile**, bem como a análise de adaptabilidade a diferentes contextos organizacionais e níveis de maturidade ágil. Também podem investigar a incorporação de variáveis adicionais ao **SP-CostAgile**, como complexidade técnica das histórias, volatilidade dos requisitos, senioridade das equipes e indicadores de desempenho por *sprint*. A inclusão desses fatores tende a ampliar o poder explicativo e preditivo do **SP-CostAgile**, mantendo a transparência e interpretabilidade, aspectos fundamentais para adoção em PMEs.

A integração do **SP-CostAgile** com técnicas de IA e aprendizado de máquina, de forma híbrida e incremental, visando à atualização dinâmica das estimativas ao longo do ciclo de vida dos projetos podem ser exploradas. Essa abordagem permitiria comparar estimativas estáticas e adaptativas, contribuindo para a evolução contínua do processo de estimativa de custos em ambientes ágeis. A realização de estudos comparativos entre o **SP-CostAgile**, modelos tradicionais e abordagens inteligentes, considerando critérios como precisão das estimativas, custo de adoção, complexidade de implementação e impacto no suporte à tomada de decisão gerencial em PMEs ágeis. Esta pesquisa contribui para o avanço do conhecimento ao integrar modelos tradicionais e abordagens modernas de estimativa de custos, oferecendo uma base conceitual e prática para o desenvolvimento de soluções adaptadas às realidades das PMEs ágeis. Os resultados reforçam a necessidade de modelos híbridos, escaláveis e interpretáveis, capazes de apoiar a gestão de custos em ambientes dinâmicos, caracterizados por incerteza, evolução contínua e restrições de recursos.

# Referências

- ABRAHAMSSON, P. et al. Predicting development effort from user stories. In: IEEE. *2011 International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*. [S.l.], 2011. p. 400–403. Citado 8 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 47, 50, 51 e 109.
- ABRAN, A.; ROBILLARD, P. N. Function points analysis: An empirical study of its measurement processes. *IEEE Transactions on Software Engineering*, IEEE, v. 22, n. 12, p. 895–910, 1996. Citado 4 vezes nas páginas 21, 22, 77 e 78.
- ABUSAEED, S.; KHAN, S. U. R.; MASHKOOR, A. A fuzzy ahp-based approach for prioritization of cost overhead factors in agile software development. *Applied Soft Computing*, Elsevier, v. 133, p. 02–20, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494622010262>>. Citado 3 vezes nas páginas 45, 47 e 110.
- AHMAD, K. *The Use of Management Accounting Practices in Malaysian SMEs*. [S.l.]: University of Exeter (United Kingdom), 2012. v. 1. 15–366 p. Citado na página 76.
- AL-HANAKTA, R. et al. The effect of innovation on small and medium enterprises: a bibliometric analysis. *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*, De Gruyter Poland, v. 10, n. 1, p. 35–50, 2021. Citado na página 13.
- ALANAZI, S. T. et al. Evaluation approaches of service oriented architecture (soa)-a survey. In: IEEE. *2019 2nd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)*. [S.l.], 2019. p. 1–6. Citado 3 vezes nas páginas 13, 27 e 30.
- ALSHAMMARI, F. H. Cost estimate in scrum project with the decision-based effort estimation technique. *Soft Computing*, Springer, v. 26, n. 20, p. 10993–11005, 2022. Citado 11 vezes nas páginas 28, 39, 41, 43, 45, 46, 49, 50, 53, 90 e 107.
- ARORA, M. et al. An efficient anfis-eebat approach to estimate effort of scrum projects. *Scientific Reports*, Nature Publishing Group UK London, v. 12, n. 1, p. 02–14, 2022. Citado 3 vezes nas páginas 45, 46 e 109.
- ASHEERI, M. M. A.; HAMMAD, M. Machine learning models for software cost estimation. In: *2019 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–6. Citado 3 vezes nas páginas 39, 49 e 107.
- ASRES, M. W.; ARDITO, L.; PATTI, E. Computational cost analysis and data-driven predictive modeling of cloud-based online-nilm algorithm. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, IEEE, v. 10, n. 4, p. 2409–2423, 2021. Citado na página 30.
- AZZEH, M.; NASSIF, A. B.; ATTILI, I. B. Predicting software effort from use case points: A systematic review. *Science of Computer Programming*, Elsevier, v. 204, p. 1–26, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167642320302045>>. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.
- AZZEH, M. et al. On the value of project productivity for early effort estimation. *Science of Computer Programming*, Elsevier, v. 219, p. 102819, 2022. Citado 3 vezes nas páginas 23, 26 e 27.

- BARATA, S. F. et al. Determinants of e-commerce, artificial intelligence, and agile methods in small-and medium-sized enterprises. *IEEE Transactions on Engineering Management*, IEEE, p. 6903–6917, 2024. Citado na página 14.
- BENEDIKTSSON, O.; DALCHER, D. Project effort estimation: Or, when size makes a difference. In: SPRINGER. *European Conference on Software Process Improvement*. [S.l.], 2004. p. 171–183. Citado 6 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 54 e 109.
- BILGAIYAN, S.; MISHRA, S.; DAS, M. Effort estimation in agile software development using experimental validation of neural network models. *International Journal of Information Technology*, Springer, v. 11, n. 3, p. 569–573, 2019. Citado 17 vezes nas páginas 36, 39, 41, 43, 45, 46, 49, 50, 53, 74, 78, 79, 80, 81, 83, 84 e 107.
- BOEHM, B. W. Software engineering economics. *Inc., Englewood Cliffs*, p. 102–150, 1981. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- BOEHM, B. W. et al. Cost models for future software life cycle processes: Cocomo 2.0. *Annals of Software Engineering*, Springer, v. 1, p. 57–94, 1995. Citado 5 vezes nas páginas 18, 20, 77, 83 e 84.
- BOEHM, B. W. et al. Cocomo suite methodology and evolution. *CrossTalk*, v. 18, n. 4, p. 20–25, 2005. Citado 4 vezes nas páginas 18, 20, 83 e 84.
- BOONE, E. R. et al. A learning curve model accounting for the flattening effect in production cycles. In: *Handbook of Scholarly Publications from the Air Force Institute of Technology (AFIT), Volume 1, 2000-2020*. [S.l.]: CRC Press, 2022. p. 171–186. Citado 3 vezes nas páginas 27, 29 e 30.
- BRAGA, M. R. et al. A pattern language for agile software estimation. In: *Proceedings of the 9th Latin-American Conference on Pattern Languages of Programming*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2012. p. 1–15. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2591028.2600814>>. Citado 13 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 46, 49, 50, 54, 56, 79, 80, 81 e 108.
- BUTT, S. A. et al. Prediction based cost estimation technique in agile development. *Advances in engineering software*, Elsevier, v. 175, p. 01–12, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965997822002307>>. Citado 10 vezes nas páginas 28, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 49, 53 e 109.
- BUTT, S. A. et al. A software-based cost estimation technique in scrum using a developer's expertise. *Advances in Engineering Software*, Elsevier, v. 171, p. 01–17, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965997822000709>>. Citado 12 vezes nas páginas 28, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 49, 50, 53 e 108.
- BUTT, S. A. et al. A cost estimating method for agile software development. In: SPRINGER. *Computational Science and Its Applications–ICCSA 2021: 21st International Conference, Cagliari, Italy, September 13–16, 2021, Proceedings, Part VII 21*. [S.l.], 2021. p. 231–245. Citado na página 12.
- CHOUDHARI, J.; SUMAN, U. Phase wise effort estimation for software maintenance: an extended smeem model. In: *Proceedings of the CUBE International Information Technology Conference*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2012. p. 397–402.

ISBN 9781450311854. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2381716.2381790>>. Citado 8 vezes nas páginas 39, 41, 43, 46, 49, 53, 54 e 108.

CHOUDHARI, J.; SUMAN, U. Story points based effort estimation model for software maintenance. *Procedia Technology*, Elsevier, v. 4, p. 761–765, 2012. Citado 11 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 46, 49, 50, 51, 53, 54 e 107.

CLEMMONS, R. K. Project estimation with use case points. *The Journal of Defense Software Engineering*, v. 19, n. 2, p. 18–22, 2006. Citado na página 23.

CORDEIRO, E. R. et al. Knowledge management in small and medium enterprises: A systematic literature review, bibliometric analysis, and research agenda. *Journal of Knowledge Management*, v. 28, n. 2, p. 02–23, 07 2023. ISSN 1367-3270. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/JKM-10-2022-0800>>. Citado na página 13.

DALMAZO, B. L. et al. It project variables in the balance: A bayesian approach to prediction of support costs. In: IEEE. *2011 25th Brazilian Symposium on Software Engineering*. [S.l.], 2011. p. 224–232. Citado 3 vezes nas páginas 36, 74 e 79.

DESHARNAIS, J.-M.; BUGLIONE, L.; KOCATÜRK, B. Using the cosmic method to estimate agile user stories. In: *Proceedings of the 12th international conference on product focused software development and process improvement*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2011. p. 68–73. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2181101.2181117>>. Citado 9 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 46, 49, 50, 53 e 109.

DRAGICEVIC, S.; CELAR, S.; TURIC, M. Bayesian network model for task effort estimation in agile software development. *Journal of systems and software*, Elsevier, v. 127, p. 109–119, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121217300171>>. Citado 14 vezes nas páginas 36, 39, 42, 45, 46, 49, 50, 51, 74, 79, 80, 83, 84 e 107.

FENG, N. et al. Designing subscription menu for software products: Whether to release a long-length option. *Information & Management*, Elsevier, v. 59, n. 6, p. 2–16, 2022. Citado 3 vezes nas páginas 14, 16 e 17.

FENG, X.; PERIYASAMY, K. A cost estimation model for scrum projects. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, Consortium for Computing Sciences in Colleges, v. 38, n. 4, p. 30–37, 2022. Citado 15 vezes nas páginas 28, 36, 39, 41, 43, 44, 45, 51, 54, 74, 79, 80, 83, 84 e 109.

FERNÁNDEZ-DIEGO, M. et al. An update on effort estimation in agile software development: A systematic literature review. *IEEE Access*, IEEE, v. 8, p. 68–100, 2020. Citado 6 vezes nas páginas 12, 27, 28, 30, 80 e 81.

FU, M.; TANTITHAMTHAVORN, C. Gpt2sp: A transformer-based agile story point estimation approach. *IEEE Transactions on Software Engineering*, IEEE, v. 49, n. 2, p. 611–625, 2022. Citado 5 vezes nas páginas 24, 25, 27, 52 e 56.

GANDOMANI, T. J.; FARAJI, H.; RADNEJAD, M. Planning poker in cost estimation in agile methods: Averaging vs. consensus. In: IEEE. *2019 5th Conference on Knowledge Based Engineering and Innovation (KBEI)*. [S.l.], 2019. p. 066–071. Citado 9 vezes nas páginas 39, 42, 43, 45, 49, 50, 53, 54 e 108.

GIL-GOMEZ, H. et al. Customer relationship management: digital transformation and sustainable business model innovation. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, Taylor and Francis Group, v. 33, n. 1, p. 33–50, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 18.

- GOVIL, N.; SHARMA, A. Estimation of cost and development effort in scrum-based software projects considering dimensional success factors. *Advances in Engineering Software*, Elsevier, v. 172, p. 01–09, 2022. Citado 10 vezes nas páginas 28, 39, 41, 43, 45, 46, 47, 50, 53 e 108.
- GRASS, A.; BACKMANN, J.; HOEGL, M. From empowerment dynamics to team adaptability: Exploring and conceptualizing the continuous agile team innovation process. *Journal of Product Innovation Management*, Wiley Online Library, v. 37, n. 4, p. 324–351, 2020. Citado na página 12.
- HARIS, M.; CHUA, F.-F.; LIM, A. H.-L. An ensemble-based framework to estimate software project effort. In: IEEE. *2023 IEEE 8th International Conference On Software Engineering and Computer Systems (ICSECS)*. [S.l.], 2023. p. 47–52. Citado 3 vezes nas páginas 23, 26 e 27.
- HOC, H. T.; HAI, V. V.; NHUNG, H. L. T. K. Adamoptimizer for the optimisation of use case points estimation. In: SPRINGER. *Software Engineering Perspectives in Intelligent Systems: Proceedings of 4th Computational Methods in Systems and Software 2020, Vol. 1 4*. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 1–10. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 81.
- HU, Q. Change point analysis of functional variance function with stationary error. *Journal of Multivariate Analysis*, Elsevier, v. 202, p. 105311, 2024. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- HUANG, X. et al. Improving the cocomo model using a neuro-fuzzy approach. *Applied Soft Computing*, Elsevier, v. 7, n. 1, p. 29–40, 2007. Citado na página 18.
- ILMUDEEN, A.; BAO, Y.; ALHARBI, I. M. How does business-it strategic alignment dimension impact on organizational performance measures: Conjecture and empirical analysis. *Journal of Enterprise Information Management*, Emerald Publishing Limited, v. 32, n. 3, p. 457–476, 2019. Citado na página 17.
- JIANG, P. H. W.; WANG, W. Y. C. Comparison of saas and iaas in cloud erp implementation: The lessons from the practitioners. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, Emerald Publishing Limited, v. 54, n. 3, p. 683–701, 2024. Citado 4 vezes nas páginas 14, 17, 18 e 42.
- KARNER, G. Resource estimation for objectory projects. *Objective Systems SF AB*, Citeseer, v. 17, n. 1, p. 1–9, 1993. Citado na página 23.
- KAUSHIK, A. et al. Stacking regularization in analogy-based software effort estimation. *Soft Computing*, Springer, v. 26, p. 1197–1216, 2022. Citado na página 19.
- KAUSHIK, A. et al. Software cost optimization integrating fuzzy system and coa-cuckoo optimization algorithm. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, Springer, v. 8, p. 1461–1471, 2017. Citado 10 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 46, 49, 51, 53, 54 e 109.
- KHAN, J. A. et al. An amplified cocomo-ii based cost estimation model in global software development context. *IEEE Access*, IEEE, v. 9, p. 88602–88620, 2021. Citado 7 vezes nas páginas 13, 14, 18, 27, 32, 78 e 89.
- KHARUSI, A. A. A systematic mapping study on software effort estimation. *Journal of Theoretical Applied Information Technology*, v. 98, n. 17, p. 3619–3643, September 2020. Citado na página 13.



- KOMALA, C. et al. Innovative cost estimation for agile technology: A novel energy storage technique incorporating modified planning poker. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, v. 13, n. 4, p. 1646–1660, 2023. Citado 9 vezes nas páginas 28, 39, 41, 43, 46, 50, 53, 90 e 109.
- KRÖGER, M. et al. Platform for adaptive integration of data-driven models and simulations into ultra short pulse manufacturing systems. *Journal of Laser Micro/Nanoengineering*, v. 19, n. 1, 2024. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 26.
- KUMAR, S.; SINGH, M. P. An effective framework for scrum projects cost stimation through agile model technique. In: *8th International Conference on Computing in Engineering and Technology (ICCET 2023)*. [S.l.: s.n.], 2023. v. 2023, p. 520–525. Citado 16 vezes nas páginas 28, 36, 39, 41, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 54, 74, 78, 79, 80 e 107.
- LAKSANA, M. A. I.; PRIYADI, Y.; WIBOWO, Y. F. A. Formation of use case scenario based on use case diagram using text semantics for idvar4cl application development. In: IEEE. *2025 10th International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC)*. [S.l.], 2025. p. 415–420. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.
- LANG, M.; CONBOY, K.; KEAVENEY, S. Cost estimation in agile software development projects. In: *Information Systems Development: Reflections, Challenges and New Directions*. [S.l.]: Springer, 2013. p. 689–706. Citado 9 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 46, 49, 53, 54 e 109.
- LEE, I. Pricing and profit management models for saas providers and iaas providers. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, MDPI, v. 16, n. 4, p. 859–873, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- LI, D. et al. Plantnet: A dual-function point cloud segmentation network for multiple plant species. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Elsevier, v. 184, p. 243–263, 2022. Citado na página 22.
- LI, M. et al. Two-dimensional motion estimation using phase-based image processing with riesz transform. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Elsevier, v. 188, p. 110044, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.
- LIU, Y. et al. Design of tailored subscription business models – a guide for machinery and equipment manufacturers. In: BEHRENS, B.-A. et al. (Ed.). *Production at the Leading Edge of Technology*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021. p. 2–10. ISBN 978-3-662-62138-7. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. et al. User stories complexity estimation using bayesian networks for inexperienced developers. *Cluster computing*, Springer, v. 21, p. 715–728, 2018. Citado 8 vezes nas páginas 39, 42, 43, 45, 46, 50, 53 e 107.
- LUMBA, E.; WIDYANINGRUM, D.; WAWORUNTU, A. Cost estimation for software development using function point analysis method. *machine learning*, v. 2, n. 3, p. 4, 2025. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- MAHMOOD, Y.; KAMA, N.; AZMI, A. A systematic review of studies on use case points and expert-based estimation of software development effort. *Journal of Software: Evolution and Process*, Wiley Online Library, v. 32, n. 7, p. 1–20, 2020. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 26.

MAHNIČ, V.; HOVELJA, T. On using planning poker for estimating user stories. *Journal of Systems and Software*, v. 85, n. 9, p. 2086–2095, 2012. ISSN 0164-1212. Selected papers from the 2011 Joint Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture (WICSA 2011). Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121212001021>>. Citado 9 vezes nas páginas 39, 42, 43, 45, 46, 50, 53, 54 e 107.

MALIK, N.; GOYAL, S. K. Software quality evaluation by cocomo ii with nn and svm. *Mathematical Statistician and Engineering Applications*, v. 71, n. 1, p. 26–35, 2022. Citado 3 vezes nas páginas 14, 20 e 52.

MALLIDI, R. K.; SHARMA, M. Study on agile story point estimation techniques and challenges. *Int. J. Comput. Appl.*, v. 174, n. 13, p. 9–14, 2021. Citado 4 vezes nas páginas 24, 25, 26 e 27.

MARAPELLI, B.; CARIE, A.; ISLAM, S. M. Software effort estimation with use case points using ensemble machine learning models. In: IEEE. *2021 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)*. [S.l.], 2021. p. 1–6. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 26.

MARKAKI, O. et al. Encouraging ai adoption by smes: Opportunities and contributions by the ict49 project cluster. In: IEEE. *2023 14th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA)*. [S.l.], 2023. p. 1–8. Citado 5 vezes nas páginas 13, 14, 29, 30 e 76.

MENDES, E.; MOSLEY, N.; COUNSELL, S. Do adaptation rules improve web cost estimation? In: *Proceedings of the fourteenth ACM conference on Hypertext and hypermedia*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2003. p. 173–183. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/900051.900091>>. Citado 8 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 46, 50, 53 e 108.

MENDES, E.; MOSLEY, N.; COUNSELL, S. Investigating web size metrics for early web cost estimation. *Journal of Systems and Software*, Elsevier, v. 77, n. 2, p. 157–172, 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121204001463>>. Citado 9 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 46, 50, 51, 54 e 110.

MIHELIČ, A.; VRHOVEC, S.; HOVELJA, T. Agile development of secure software for small and medium-sized enterprises. *Sustainability*, MDPI, v. 15, n. 1, p. 801, 2023. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 76.

MISLICK, G. K.; NUSSBAUM, D. A. *Cost Estimation: Methods and Tools*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 18, 20 e 22.

MOHAGHEGHI, P.; ANDA, B.; CONRADI, R. Effort estimation of use cases for incremental large-scale software development. In: *Proceedings of the 27th international conference on Software engineering*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2005. p. 303–311. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/1062455.1062516>>. Citado 8 vezes nas páginas 39, 42, 43, 46, 49, 50, 54 e 108.

MOHERDAUI, W. *Informatica Hoje Anuário (2023)*. 2023. Disponível em: <<https://www.forumeditorial.com.br/anuario/anuario-informatica-hoje-2023.pdf>>. Citado na página 30.

- MUSILEK, P. et al. On the sensitivity of cocomo ii software cost estimation model. In: IEEE. *Proceedings Eighth IEEE Symposium on Software Metrics*. [S.l.], 2002. p. 13–20. Citado na página 20.
- NAGESWARAN, S. Test effort estimation using use case points. In: *Proceedings of Quality Week*. [S.l.]: Publisher Name, 2001. p. 1–6. Citado na página 22.
- NAING, M. D.; TSUME, Y. Dissolution profiles of bcs class ii drugs generated by the gastrointestinal simulator alpha has an edge over the compendial usp ii method. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, Elsevier, v. 203, p. 114436, 2024. Citado na página 24.
- NAJM, A.; ZAKRANI, A.; MARZAK, A. Efficient shapely explanation of support vector regression for agile and non-agile software effort estimation. In: *Intelligent Sustainable Systems: Selected Papers of WorldS4 2022, Volume 2*. [S.l.]: Springer, 2023. p. 711–729. Citado 6 vezes nas páginas 42, 43, 46, 51, 90 e 110.
- NARBAEV, T. et al. A machine learning study to improve the reliability of project cost estimates. *International Journal of Production Research*, Taylor & Francis, v. 62, n. 12, p. 02–18, 2024. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 28.
- NEO, G. da S. et al. Writing better user stories and estimates story point with machine learning and natural language processing: G. da Silva Neo et al. *SN Computer Science*, Springer, v. 6, n. 7, p. 02–12, 2025. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- NHUNG, H. L. T. K.; HOC, H. T.; HAI, V. V. An evaluation of technical and environmental complexity factors for improving use case points estimation. In: SPRINGER. *Software Engineering Perspectives in Intelligent Systems: Proceedings of 4th Computational Methods in Systems and Software 2020, Vol. 1 4*. [S.l.], 2020. p. 3–11. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 24.
- OLIVEIRA, L. A. T. d. Planejamento estratégico aplicado a uma pequena empresa de desenvolvimento de software. 2011. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.
- PASUKSMIT, J.; THONGTANUNAM, P.; KARUNASEKERA, S. A systematic literature review on reasons and approaches for accurate effort estimations in agile. *ACM Computing Surveys*, ACM New York, NY, 2024. Citado 4 vezes nas páginas 12, 13, 48 e 56.
- PECH, M.; VRCHOTA, J. Classification of small-and medium-sized enterprises based on the level of industry 4.0 implementation. *Applied Sciences*, MDPI, v. 10, n. 15, p. 5150, 2020. Citado 3 vezes nas páginas 27, 29 e 30.
- PEIXOTO, C. E. L.; AUDY, J. L. N.; PRIKLADNICKI, R. Effort estimation in global software development projects. In: IEEE. *2010 5th IEEE International Conference on Global Software Engineering*. [S.l.], 2010. p. 123–127. Citado 10 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 53 e 108.
- PERMANA, B.; FERDIANA, R.; PRATAMA, A. Large language model employment for story point estimation problems in agile development. In: IEEE. *2024 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*. [S.l.], 2024. p. 391–398. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.



- PUTRI, R. R.; SIAHAAN, D. O.; FATICHAH, C. Improve the accuracy of software project effort and cost estimates in cocomo ii using gwo. In: IEEE. *2021 5th International Conference on Informatics and Computational Sciences (ICICoS)*. [S.l.], 2021. p. 128–133. Citado 6 vezes nas páginas 13, 27, 48, 56, 78 e 89.
- QI, K. et al. Calibrating use case points using bayesian analysis. In: *Proceedings of the 12th ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018. p. 1–10. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3239235.3239236>>. Citado 6 vezes nas páginas 39, 43, 49, 50, 54 e 109.
- RAGHAVAN, R. et al. Impact of software as a service (saas) on software acquisition process. *Journal of Business & Industrial Marketing*, v. 35, n. 4, p. 757–770, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/JBIM-12-2018-0382>>. Citado 4 vezes nas páginas 14, 17, 18 e 42.
- RAMASUBBU, N.; BALAN, R. K. Overcoming the challenges in cost estimation for distributed software projects. In: IEEE. *2012 34th international conference on software engineering (icse)*. [S.l.], 2012. p. 91–101. Citado 8 vezes nas páginas 39, 41, 43, 46, 47, 49, 50 e 109.
- RAMESSUR, M. A.; NAGOWAH, S. D. A predictive model to estimate effort in a sprint using machine learning techniques. *International Journal of Information Technology*, Springer, v. 13, n. 3, p. 1101–1110, 2021. Citado 18 vezes nas páginas 27, 36, 39, 43, 45, 46, 49, 51, 54, 56, 74, 77, 78, 79, 80, 81, 83 e 109.
- REHMAN, S.-u.; MOHAMED, R.; AYOUP, H. The mediating role of organizational capabilities between organizational performance and its determinants. *Journal of Global Entrepreneurship Research*, Springer, v. 9, n. 1, p. 1–23, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.
- RINDELL, K. et al. Security in agile software sevelopment: A practitioner survey. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 131, p. 106488, 2021. Citado na página 12.
- ROBLES, B. D. V. et al. Identification of methods, approaches, and factors in effort estimation for devops projects: A systematic literature mapping. In: IEEE. *2023 Mexican International Conference on Computer Science (ENC)*. [S.l.], 2023. p. 1–6. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- ROJAS-LEMA, X. et al. Performance measurement in smes: Systematic literature review and research directions. *Total Quality Management & Business Excellence*, Taylor & Francis, v. 32, n. 15-16, p. 02–27, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1774357>>. Citado 7 vezes nas páginas 13, 29, 30, 77, 78, 80 e 81.
- ROMAHDONI, M. R.; KURNIAWAN, R.; PRIKURNIA, A. K. Penerapan sistem informasi manajemen pada umkm kabupaten pesawaran menggunakan metode use case point. *Jurnal Sistem Informasi & Manajemen Basis Data (SIMADA) Vol*, v. 7, n. 2, p. 93, 2024. Citado na página 23.
- SACHAN, R. K. et al. Optimizing basic cocomo model using simplified genetic algorithm. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 89, p. 492–498, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- SÁNCHEZ, E. R.; SANTACRUZ, E. F. V.; MACEDA, H. C. Effort and cost estimation using decision tree techniques and story points in agile software development. *Mathematics*, MDPI, v. 11, n. 6, p. 1477, 2023. Citado na página 12.

- SANTANA, C. et al. Using function points in agile projects. In: SILLITTI, A. et al. (Ed.). *Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 176–191. ISBN 978-3-642-20677-1. Citado 7 vezes nas páginas 39, 41, 43, 46, 50, 53 e 107.
- SANTOS, M. C. F.; COSTA, D. B.; FERREIRA, E. d. A. M. Proposta de fluxo de trabalho de informação para integração de estimativa de custos, planejamento e monitoramento com bim em pmes. *Ambiente Construído*, SciELO Brasil, v. 21, p. 113–129, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.
- SANTOS, M. V.; SOARES, M. S. Cost estimation for agile software development in small and medium-sized enterprises. In: SBC. *Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software (SBQS)*. [S.l.], 2025. p. 1–6. Citado na página 93.
- SCHÜNKE, L. C. et al. A rapid review of machine learning approaches for telemedicine in the scope of covid-19. *Artificial Intelligence in Medicine*, Elsevier, v. 129, p. 102312, 2022. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 33.
- SEBRAE. Serviço brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas-sebrae. 2007. Citado na página 29.
- SENEVIRATHNE, D. S.; WIJAYASIRIWARDHANE, T. K. Extending use-case point-based software effort estimation for open source freelance software development. In: IEEE. *2020 International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE)*. [S.l.], 2020. p. 188–194. Citado 3 vezes nas páginas 24, 48 e 56.
- SHAMEEM, M.; NADEEM, M.; ZAMANI, A. T. Genetic algorithm based probabilistic model for agile project success in global software development. *Applied Soft Computing*, Elsevier, v. 135, p. 02–16, 2023. Citado 17 vezes nas páginas 28, 36, 39, 41, 43, 47, 50, 53, 74, 77, 79, 80, 81, 83, 84, 90 e 107.
- SHAMS, A. et al. App cost estimation: Evaluating agile environments. In: IEEE. *2019 IEEE 21st Conference on Business Informatics (CBI)*. [S.l.], 2019. v. 1, p. 383–390. Citado 8 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 46, 50, 53 e 107.
- SHIVHARE, J.; RATH, S. K. Software effort estimation using machine learning techniques. In: *Proceedings of the 7th India Software Engineering Conference*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–6. Citado 7 vezes nas páginas 39, 41, 43, 46, 49, 50 e 107.
- STUKES, S. et al. An innovative approach to modeling viper rover software life cycle cost. In: IEEE. *2021 IEEE Aerospace Conference (50100)*. [S.l.], 2021. p. 1–16. Citado 7 vezes nas páginas 28, 39, 41, 43, 45, 46 e 108.
- SUNKLE, S.; KULKARNI, V. Cost estimation for model-driven engineering. In: SPRINGER. *Model Driven Engineering Languages and Systems: 15th International Conference, MODELS 2012, Innsbruck, Austria, September 30–October 5, 2012. Proceedings 15*. [S.l.], 2012. p. 02–17. Citado 9 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 49, 50, 51, 54 e 110.
- TANVEER, B.; VOLLMER, A. M.; BRAUN, S. A hybrid methodology for effort estimation in agile development: An industrial evaluation. In: *Proceedings of the 2018 International Conference on Software and System Process*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 21–30. Citado 7 vezes nas páginas 41, 43, 45, 46, 49, 53 e 110.

- TAWOSI, V.; AL-SUBAIHIN, A.; SARRO, F. Investigating the effectiveness of clustering for story point estimation. In: IEEE. *2022 IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER)*. [S.l.], 2022. p. 827–838. Citado 4 vezes nas páginas 25, 27, 52 e 56.
- TAWOSI, V.; ALAMIR, S.; LIU, X. Search-based optimisation of llm learning shots for story point estimation. In: SPRINGER. *International symposium on search based software engineering*. [S.l.], 2023. p. 123–129. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- TAYYAB, M. R.; USMAN, M.; AHMAD, W. A machine learning based model for software cost estimation. In: SPRINGER. *Proceedings of SAI Intelligent Systems Conference (IntelliSys) 2016: Volume 2*. [S.l.], 2018. p. 402–414. Citado 7 vezes nas páginas 41, 45, 46, 49, 50, 54 e 110.
- TORRECILLA-SALINAS, C. J. et al. Estimating, planning and managing agile web development projects under a value-based perspective. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 61, p. 124–144, 2015. Citado 10 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 53 e 108.
- TSUME, Y. et al. The in vivo predictive dissolution for immediate release dosage of donepezil and danazol, bcs class iic drugs, with the gis and the usp ii with biphasic dissolution apparatus. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, Elsevier, v. 56, p. 100920, 2020. Citado na página 24.
- UMEUGO, W. Secure software development lifecycle: A case for adoption in software smes. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, v. 14, n. 1, 2023. Citado 6 vezes nas páginas 13, 29, 30, 35, 36 e 38.
- ÜNLÜ, H. et al. Utilization of three software size measures for effort estimation in agile world: A case study. In: IEEE. *2022 48th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*. [S.l.], 2022. p. 239–246. Citado 9 vezes nas páginas 28, 39, 41, 42, 43, 46, 49, 53 e 108.
- USMAN, M. et al. Effort estimation in agile software development: A systematic literature review. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Predictive Models in Software Engineering*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 82–91. Citado 7 vezes nas páginas 12, 30, 48, 52, 54, 56 e 81.
- USMAN, M. et al. Developing and using checklists to improve software effort estimation: A multi-case study. *Journal of Systems and Software*, Elsevier, v. 146, p. 286–309, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121218302073>>. Citado 8 vezes nas páginas 39, 41, 43, 45, 46, 50, 53 e 108.
- VITO, G. D. et al. Echo: An approach to enhance use case quality exploiting large language models. In: IEEE. *2023 49th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*. [S.l.], 2023. p. 53–60. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 26.
- VRONTIS, D.; CHAUDHURI, R.; CHATTERJEE, S. Adoption of digital technologies by smes for sustainability and value creation: Moderating role of entrepreneurial orientation. *Sustainability*, MDPI, v. 14, n. 13, p. 7949, 2022. Citado na página 76.
- YALÇINER, B. et al. Enhancing agile story point estimation: Integrating deep learning, machine learning, and natural language processing with sbert and gradient boosted trees. *Applied Sciences*, MDPI, v. 14, n. 16, p. 7305, 2024. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.

YANIS, R. Z. I.; PRIYADI, Y.; PUSPITASARI, S. Y. Measurement of similarity between use case description and sequence diagram in software requirement specification using text analysis for dtrain application. In: IEEE. *2022 2nd International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS)*. [S.l.], 2022. p. 328–333. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.

# Apêndices

Tabela 24 – Artigos da revisão sistemática da literatura

| <b>Artigos</b>                                                                                         | <b>Autores</b>                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Using Function Points in Agile Projects                                                                | (SANTANA et al., 2011)           |
| User Stories Complexity Estimation Using Bayesian Networks for Inexperienced Developers                | (LÓPEZ-MARTÍNEZ et al., 2018)    |
| Effort estimation in agile software development using experimental validation of neural network models | (BILGAIYAN; MISHRA; DAS, 2019)   |
| Cost Estimate in Scrum Project with the Decision-based Effort Estimation Technique                     | (ALSHAMMARI, 2022)               |
| Machine Learning Models for Software Cost Estimation                                                   | (ASHEERI; HAMMAD, 2019)          |
| Software Effort Estimation Using Machine Learning Techniques                                           | (SHIVHARE; RATH, 2014)           |
| Story Points Based Effort Estimation Model for Software Maintenance                                    | (CHOUDHARI; SUMAN, 2012b)        |
| Genetic Algorithm Based Probabilistic Model for Agile Project Success in Global Software Development   | (SHAMEEM; NADEEM; ZAMANI, 2023)  |
| On Using Planning Poker for Estimating User Stories                                                    | (MAHNIČ; HOVELJA, 2012)          |
| Bayesian Network Model for Task Effort Estimation in Agile Software development                        | (DRAGICEVIC; CELAR; TURIC, 2017) |
| An Effective Framework for Scrum Projects Cost Stimulation Through Agile Model Technique               | (KUMAR; SINGH, 2023)             |
| App Cost Estimation: Evaluating Agile Environments                                                     | (SHAMS et al., 2019)             |

| <b>Artigos</b>                                                                                                     | <b>Autores</b>                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Phase Wise effort Estimation for Software Maintenance: An Extended SMEEM Model-                                    | (CHOUDHARI; SUMAN, 2012a)           |
| Effort Estimation of Use Cases for Incremental Large-scale Software development                                    | (MOHAGHEGHI; ANDA; CONRADI, 2005)   |
| Do adaptation Rules Improve Web Cost Estimation?                                                                   | (MENDES; MOSLEY; COUNSELL, 2003)    |
| A Pattern Language for Agile Software Estimation                                                                   | (BRAGA et al., 2012)                |
| Effort Estimation in Global Software Development Projects: Preliminary Results from a Survey                       | (PEIXOTO; AUDY; PRIKLADNICKI, 2010) |
| Planning Poker in Cost Estimation in Agile Methods: Averaging vs. Consensus                                        | (GANDOMANI; FARAJI; RADNEJAD, 2019) |
| Utilization of Three Software Size Measures for Effort Estimation in Agile World: A Case Study                     | (ÜNLÜ et al., 2022)                 |
| An Innovative Approach to Modeling VIPER Rover Software Life Cycle Cost                                            | (STUKES et al., 2021)               |
| Estimation of Cost and Development effort in Scrum-based software projects Considering Dimensional Success Factors | (GOVIL; SHARMA, 2022)               |
| Estimating, planning and managing Agile Web development projects under a value-based perspective                   | (TORRECILLA-SALINAS et al., 2015)   |
| Developing and Using Checklists to Improve Software Effort Estimation: A Multi-case Study                          | (USMAN et al., 2018)                |
| A Software-based Cost Estimation Technique in Scrum Using a Developer's Expertise                                  | (BUTT et al., 2022)                 |

| <b>Artigos</b>                                                                                                          | <b>Autores</b>                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Prediction Based Cost Estimation Technique in Agile Development                                                         | ( <a href="#">BUTT et al., 2023</a> )                      |
| Project Effort Estimation: Or, when Size Makes a Difference                                                             | ( <a href="#">BENEDIKTSSON; DAL-CHER, 2004</a> )           |
| Software Cost Optimization Integrating Fuzzy System and COA-Cuckoo Optimization Algorithm                               | ( <a href="#">KAUSHIK et al., 2017</a> )                   |
| Calibrating Use Case Points Using Bayesian Analysis                                                                     | ( <a href="#">QI et al., 2018</a> )                        |
| A Predictive Model to Estimate Effort in a Sprint Using Machine Learning Techniques                                     | ( <a href="#">RAMESSUR; NA-GOWAH, 2021</a> )               |
| Cost Estimation in Agile Software Development Projects                                                                  | ( <a href="#">LANG; CONBOY; KEAVE-NEY, 2013</a> )          |
| Predicting development effort from user stories                                                                         | ( <a href="#">ABRAHAMSSON et al., 2011</a> )               |
| Using the COSMIC Method to Estimate Agile User Stories                                                                  | ( <a href="#">DESHARNAIS; BUGLI-ONE; KO-CATÜRK, 2011</a> ) |
| A Cost Estimation Model for Scrum Projects                                                                              | ( <a href="#">FENG; PERIYA-SAMY, 2022</a> )                |
| Innovative Cost Estimation for Agile Technology: A Novel Energy Storage Technique Incorporating Modified Planning Poker | ( <a href="#">KOMALA et al., 2023</a> )                    |
| Overcoming the Challenges in Cost Estimation for Distributed Software Projects                                          | ( <a href="#">RAMASUBBU; BALAN, 2012</a> )                 |
| An Efficient ANFIS-EEBAT Approach to Estimate Effort of Scrum Projects                                                  | ( <a href="#">ARORA et al., 2022</a> )                     |



| <b>Artigos</b>                                                                                                | <b>Autores</b>                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Investigating Web Size Metrics for Early Web Cost Estimation                                                  | (MENDES;<br>MOSLEY;<br>COUN-<br>SELL,<br>2005) |
| A Machine Learning Based Model for Software Cost Estimation                                                   | (TAYYAB;<br>USMAN;<br>AHMAD,<br>2018)          |
| A Fuzzy AHP-Based Approach for Prioritization of Cost Overhead Factors in Agile Software development          | (ABUSAEED;<br>KHAN;<br>MASH-<br>KOOR,<br>2023) |
| A Hybrid Methodology for Effort Estimation in Agile Development: An Industrial Evaluation                     | (TANVEER;<br>VOLL-<br>MER;<br>BRAUN,<br>2018)  |
| Cost Estimation For Model-driven Engineering                                                                  | (SUNKLE;<br>KUL-<br>KARNI,<br>2012)            |
| Efficient Shapely Explanation of Support Vector Regression for Agile and Non-agile Software Effort Estimation | (NAJM;<br>ZAKRANI;<br>MARZAK,<br>2023)         |