

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Coordenação de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Tese de Doutorado

Uma Estratégia Metodológica para Integração do
Pensamento Computacional ao Ensino de
Matemática

Érick John Fidelis Costa

Campina Grande, Paraíba, Brasil

17/08/2022

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Coordenação de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Uma Estratégia Metodológica para Integração do
Pensamento Computacional ao Ensino de
Matemática

Érick John Fidelis Costa

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Campina Grande - Campus I como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Ciência da Computação.

Área de Concentração: Ciência da Computação

Linha de Pesquisa:

Lívia Maria Rodrigues Sampaio Campos

Cláudio Elízio Calazans Campelo

(Orientadores)

Campina Grande, Paraíba, Brasil

©Érick John Fidelis Costa, 17/08/2022

C837e Costa, Erick John Fidelis.
Uma estratégia metodológica para integração do pensamento computacional ao ensino de matemática / Erick John Fidelis Costa.
– Campina Grande, 2022.
209 f. : il.color.

Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2022.
"Orientação: Prof.^a Dr.^a Livia Maria Rodrigues Sampaio Campos, Prof. Dr. Cláudio Elízio Calazans Campelo".
Referências.

1. Pensamento Computacional. 2. Matemática. 3. Ensino.
4. Metodologia. I. Campos, Livia Maria Rodrigues Sampaio.
II. Campelo, Cláudio Elízio Calazans. III. Título.

CDU 37.012:51(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO CIENCIAS DA COMPUTACAO
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

ERICK JOHN FIDELIS COSTA

UMA ESTRATÉGIA METODOLÓGICA PARA INTEGRAÇÃO DO PENSAMENTO COMPUTACIONAL AO ENSINO DE MATEMÁTICA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação como pré-requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação.

Aprovada em: 17/08/2022

Profa. Dra. LÍVIA MARIA RODRIGUES SAMPAIO CAMPOS, UFCG, Orientadora

Prof. Dr. CLÁUDIO ELÍZIO CALAZANS CAMPELO UFCG, Orientador

Prof. Dr. WILKERSON DE LUCENA ANDRADE, UFCG, Examinador Interno

Prof. Dr. JOÃO ARTHUR BRUNET MONTEIRO, UFCG, Examinador Interno

Prof. Dr. SEAN WOLFGAND MATSUI SIQUEIRA, UNIRIO, Examinador Externo

Prof. Dr. EDUARDO HENRIQUE DA SILVA ARANHA, UFRN, Examinador Externo



Documento assinado eletronicamente por **LIVIA MARIA RODRIGUES SAMPAIO CAMPOS, COORDENADOR DE POS-GRADUACAO**, em 19/08/2022, às 11:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOAO ARTHUR BRUNET MONTEIRO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/08/2022, às 12:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sean Wolfgang Matsui Siqueira, Usuário Externo**, em 19/08/2022, às 13:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **WILKERSON DE LUCENA ANDRADE, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/08/2022, às 14:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **CLAUDIO ELIZIO CALAZANS CAMPELO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/08/2022, às 00:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Henrique da Silva Aranha, Usuário Externo**, em 24/08/2022, às 10:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **2627028** e o código CRC **8618EC86**.

*Dedico este trabalho a minha esposa e aos meus pais,
que me apoiaram durante todos esses anos de vida acadêmica:
Rayanna Macedo, Cleane Gonçalves e Geraldo Ribeiro.*

Resumo

O Pensamento Computacional passou a ser considerado uma abordagem para estimular a capacidade de resolução de problemas. Seu principal objetivo é desenvolver competências associadas à ciência da computação para apoiar a criação de soluções para problemas em diversos contextos. Essas competências estão associadas ao desenvolvimento da nossa capacidade entender, planejar, executar e observar problemas. Com o intuito de estimulá-las, a literatura destaca duas vertentes metodológicas: a primeira visa ensinar disciplinas específicas da ciência da computação; e a segunda a partir de estratégias interdisciplinares que visam a incorporação do estímulo às competências em paralelo com as disciplinas do ensino básico. Embora avanços significativos sejam evidentes, alguns problemas ainda são característicos: a falta de infraestrutura técnica/tecnológica, por parte das escolas por exemplo; e a necessidade de formação de professores em tópicos específicos relacionados à ciência da computação, impactando negativamente a motivação desses profissionais na condução de atividades que fogem de suas especialidades. Diante deste cenário, esta pesquisa propõe uma estratégia metodológica que visa possibilitar que professores de matemática estimulem as competências do Pensamento Computacional a partir de recursos pedagógicos da própria disciplina, sem a dependência de infraestrutura ou condução de atividades que fogem de suas especialidades. A estratégia metodológica proposta foi construída utilizando como base as questões de matemática comumente adotadas em sala de aula para incorporação das competências do Pensamento Computacional. Após a proposição da estratégia, avaliamos a capacidade de assimilação e replicação da proposta por graduados e graduandos de cursos de matemática. A intervenção foi realizada com 37 profissionais com diferentes níveis de experiência e os resultados apontam que esses participantes foram capazes de associar e replicar os conceitos gerais e específicos em torno da estratégia metodológica proposta. Uma das métricas utilizadas foi o índice de concordância Kappa, que indicou uma média de 0.444, para a atividade de identificação de competências, e 0.246, para a criação e catalogação de novas questões e suas competências. Estes valores indicam que houve moderada concordância entre os participantes.

Palavras-chave: Pensamento Computacional; Matemática; Ensino; Metodologia.

Abstract

Computational Thinking came to be considered an approach to stimulate problem-solving skills. Its main objective is to develop skills associated with computer science to support the creation of solutions to problems in different contexts. These competencies are associated with developing our ability to collect, represent and analyze data; abstract information; decompose problems; build algorithms; automate routines; parallelize procedures; and simulate behaviors. In order to encourage them, the literature highlights two methodological aspects: the first aims to teach specific disciplines of computer science; and the second from interdisciplinary strategies that aim to incorporate the stimulus to skills in parallel with the subjects of basic education. Although significant advances are evident, some problems are still characteristic: the lack of technical/technological infrastructure, on the part of schools, for example; and the need to train teachers in specific topics related to computer science, negatively impacting the motivation of these professionals in conducting activities that are outside their specialties. Given this scenario, this research proposes a methodological strategy that aims to enable mathematics teachers to stimulate the skills of Computational Thinking from pedagogical resources of the discipline itself, without relying on infrastructure or conducting activities that are outside their specialties. The proposed methodological strategy was built using as a basis the mathematics questions commonly adopted in the classroom to incorporate the skills of Computational Thinking. After the proposal of the strategy, we evaluated the capacity of assimilation and replication of the proposal by graduates and students of mathematics courses. The intervention was carried out with 37 professionals with different levels of experience and the results indicate that these participants were able to associate and replicate the general and specific concepts around the proposed methodological strategy. One of the metrics used was the Kappa agreement index, which indicated an average of 0.444 for the activity of identifying competencies, and 0.246 for the creation and cataloging of new questions and their competencies. These values indicate that there was moderate agreement among the participants.

Keywords: Computational Thinking; Mathematics; Teaching; Methodology.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer imensamente às pessoas que fizeram parte desta caminhada. Anos de lutas, altos, baixos e muito aprendizado. Meus orientadores Livia e Cláudio por toda paciência e ensinamentos durante os últimos anos. Ao professor Rodrigo Cohen por todas as contribuições e apoio durante as etapas desta pesquisa. Agradeço à banca avaliadora deste trabalho, professores Wilkerson, João, Sean e Eduardo, pela disponibilidade e atenção em contribuírem com minha pesquisa.

Minha esposa, Rayanna, por estar sempre comigo desde o início do Mestrado e durante todo o Doutorado, servindo de apoio para minhas decisões e colaborando em todos os sentidos com este trabalho. Meus sinceros agradecimentos.

Meus pais: Cleane e Geraldo. A todos os meus familiares que sempre acreditaram que investir em meus estudos era o melhor caminho a seguir: Minha avó Rita, meus tios Cláudio e José Gonçalves, minhas tias Vera, Geraldina e Veronice.

Aos meus irmãos: Ewerton, Emanuel e Jaqueline. Por estarem sempre preocupados comigo e me darem grandes presentes, meus sobrinhos: Júlia, Kauê e Maria.

Aos amigos do Lacina: Caio e Larissa. Que durante todos os desafios para conclusão do doutorado, sempre conseguiam um tempo para conversas super agradáveis.

Aos amigos que fiz no IFPB - Santa Luzia. Em especial: Alexandre, Magna, Francinaide, Filipe e Jerônimo. Aprendi muito com todos vocês durante os dois anos que fiz parte do corpo docente da instituição.

Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e a todos que diretamente e indiretamente fizeram parte de toda esta caminhada.

A Deus e aos benfeitores espirituais que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e protegendo por todos os caminhos que decidi seguir. Obrigado a todos!

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contexto	1
1.2	Problema	4
1.3	Objetivos	6
1.4	Etapas de Pesquisa	7
1.5	Contribuições	7
1.6	Estrutura do Documento	8
2	Cronologia da Pesquisa e Contribuições Secundárias	10
2.1	Resumo Cronológico da Pesquisa	10
2.2	Pensamento Computacional na Matemática: Uma Abordagem Conjunta . .	13
2.3	Automação do Processo de Classificação e Colaboração	16
2.3.1	Classificação Automática de Questões	16
2.3.2	Compensar: O Ambiente Colaborativo	18
2.4	A Estratégia Metodológica e a Validação da Proposta	19
2.5	Resumo do Capítulo	21
3	Conceitos Fundamentais	22
3.1	Pensamento Computacional	22
3.2	Currículos do Pensamento Computacional	26
3.3	Pensamento Computacional e a Matemática	31
3.4	Aprendizagem Baseada em Problemas	33
3.5	Resumo do Capítulo	35

4	Trabalhos Relacionados	36
4.1	Objetivo	36
4.2	Metodologia de Revisão	37
4.3	Resultados	37
4.3.1	Caracterizações Gerais	38
4.3.2	Caracterizações Específicas	40
4.3.3	A PC+ e o Contexto Literário	53
4.4	Resumo do Capítulo	54
5	Proposição da Estratégia Metodológica PC+	55
5.1	Bases Teóricas	56
5.2	Definição Conceitual	58
5.3	Orientações Práticas	61
5.3.1	Concepção de Questões	61
5.3.2	Catálogo de Questões	63
5.3.3	Utilização das questões	66
5.4	Resumo do Capítulo	68
6	Metodologia de Validação e Resultados	69
6.1	Definição da Metodologia de Validação	69
6.1.1	Objetivo	72
6.1.2	Questões de Pesquisa e Métricas	73
6.1.3	Organização e Execução da Intervenção	80
6.2	Caracterização dos Participantes	83
6.3	Resultados e Discussões	86
6.3.1	Avaliação de Intervenção	86
6.3.2	Avaliação Processual	89
6.4	Ameaças a Validade	113
6.5	Resumo do Capítulo	114
7	Considerações Finais e Trabalhos Futuros	115

A	Classificação Automática de Competências	130
A.1	Metodologia	130
A.1.1	Conjunto de Dados	132
A.1.2	Preprocessamento dos Dados	136
A.1.3	Extração de <i>Features</i>	137
A.1.4	Treinamento, Validação e Teste dos Modelos	139
A.2	Resultados e Discussões	140
A.3	Conclusões Parciais	145
B	Vetores de Referência dos Classificadores	146
C	Parâmetros Testados nos Classificadores	147
D	Resultados dos Modelos de Classificação	148
E	O Ambiente Colaborativo: Compensar	152
E.1	Visão Geral do Ambiente Compensar	153
E.1.1	O Módulo de Criação	154
E.1.2	O Módulo de Catalogação	159
E.1.3	O Módulo de Busca e Utilização	163
E.2	Resultados e Discussões	169
E.3	Conclusões Parciais	173
F	Protocolo de Revisão Sistemática	174
F.1	Questões de Pesquisa	174
F.2	Estratégia de Busca	175
F.3	Critérios de Seleção	175
G	Concepção de Questões	178
G.1	Definição do Conteúdo da Matemática	178
G.2	Coleta de Dados	178
G.3	Representação de Dados	180
G.4	Análise de Dados	182
G.5	Decomposição de Problemas	183

G.6	Algoritmos e Procedimentos	184
G.7	Abstração de Informações	186
G.8	Automação	188
G.9	Simulação	190
G.10	Paralelização	192
H	Catálogo de Questões	194
H.1	Coleta de Dados	194
H.2	Representação de Dados	195
H.3	Análise de Dados	196
H.4	Decomposição de Problemas	197
H.5	Algoritmos e Procedimentos	198
H.6	Abstração de Informações	199
H.7	Automação	200
H.8	Simulação	201
H.9	Paralelização	202
I	Questões pré-rotuladas usadas para medir a concordância dos participantes quanto a capacidade deles em identificar competências do PC em questões de matemática.	204
J	Afirmativas apresentadas aos participantes para medição das reações.	208

Lista de Símbolos

AU - *Australian Curriculum*

BNCC - Base Nacional Comum Curricular

CCC - *Creative Computing Curriculum*

CD - Currículo Cidade

CIEB - Centro de Inovação na Educação Brasileira

CSTA - *Computer Science Teachers Association*

ECS - *Exploring Computer Science*

GQM - Goals, Questions and Metrics

K12 - *Computer Science Framework*

M - Métricas do Experimento

NCE - *National Curriculum in England*

OE - Objetivos Específicos

OG - Objetivo Geral

PC - Pensamento Computacional

PC+ - Nome da estratégia metodológica proposta neste estudo

PISA - Programa Internacional de Avaliação de Estudantes

PPGCC - Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Q - Questão de Pesquisa do Experimento

QP - Questão de Pesquisa

SAEB - Sistema de Avaliação do Ensino Básico

SBC - Sociedade Brasileira de Computação

STEM - *Science, Technology, Engineering and Mathematics*

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande

Lista de Figuras

2.1	Resumo visual da cronologia da pesquisa.	11
2.2	Visão geral dos módulos operacionais do ambiente Compensar.	18
4.1	Quantidade de trabalhos por país.	38
4.2	Quantidade de trabalhos por ano.	39
4.3	Quantidade de trabalhos por veículo de publicação.	40
5.1	Visão geral da abordagem com base em contação de histórias proposta por Tedesco et. al. [32]	57
5.2	Visão conceitual da estratégia metodológica PC+	59
5.3	Visão conceitual do processo concepção de questões problema a partir da PC+	61
5.4	Exemplo de questão com a competência Coleta de Dados.	62
5.5	Visão conceitual do processo de catalogação de questões problema concebidas a partir da PC+	63
5.6	Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Coleta de Dados.	65
6.1	Idade, sexo e graduação dos participantes.	84
6.2	Idade, sexo e pós-graduação dos participantes.	85
6.3	Idade, sexo e experiência de sala de aula dos participantes.	85
6.4	Resultados do pré-teste e pós-teste aos quais os participantes foram submetidos.	87
6.5	Distribuição das afirmativas do pré-teste pelos participantes em relação ao andamento da graduação.	88
6.6	Resultados das reações dos participantes ao módulo 1.	91
6.7	Resultados das respostas abertas às questões do módulo 1.	93

6.8	Resultados das reações dos participantes ao módulo 2.	97
6.9	Resultado do nível de concordância entre os participantes.	100
6.10	Resultados das reações dos participantes ao módulo 3.	103
6.11	Resultado do nível de concordância entre as avaliações por pares.	104
A.1	Distribuição proporcional das competências nos dados	133
A.2	Acumulado de competências por questão variando entre um e três competências	134
A.3	Acumulado de competências por questão variando entre quatro e seis competências	135
A.4	Acumulado de competências por questão variando entre sete e nove competências	136
A.5	Relação de palavras com maior peso de classificação positiva para presença da competência Coleta de Dados	138
A.6	Resultados dos modelos no treino e validação a partir da Medida-F.	141
A.7	Resultados dos modelos no teste a partir da Medida-F.	142
D.1	Resultados do treinamento, validação e teste do modelo <i>Linear Ridge</i>	148
D.2	Resultados do treinamento, validação e teste do modelo <i>Logistic Regression</i>	149
D.3	Resultados do treinamento, validação e teste do modelo <i>Multinomial Naive Bayes</i>	150
D.4	Resultados do treinamento, validação e teste do modelo <i>Random Forest</i>	151
E.1	Visão geral do ambiente Compensar.	153
E.2	Tela de criação de questões (inserção do tipo e fonte).	154
E.3	Tela de criação de questões (inserção do enunciado).	155
E.4	Tela de criação de questões (inserção do conteúdo e alternativas de resposta para questões objetivas).	156
E.5	Tela de criação de questões (inserção do conteúdo e espelho de correção para questões subjetivas).	156
E.6	Tela de criação de questões (<i>feedback</i> preliminar gerado pelos classificadores automáticos).	157
E.7	Tela com a indicação que a questão está no estado "Rascunho".	157

E.8	Tela de edição de questões.	158
E.9	Tela com a indicação que a questão está no estado "Pendente".	158
E.10	Tela de avaliação de questões (informações da questão).	159
E.11	Tela de avaliação de questões (assinalação das competências identificadas).	160
E.12	Tela de avaliação de questões (destaque do trecho do enunciado que faz referência à competência identificada).	160
E.13	Tela de avaliação de questões (nível de confiança, observações gerais e sugestões de melhoria).	161
E.14	Tela de avaliação de questões (julgamento da questão).	162
E.15	Exemplo de questão aceita para publicação.	164
E.16	Exemplo de representação textual processada pelos mecanismos de indexação.	164
E.17	Tela com as opções de filtragem.	165
E.18	Tela com as questões retornadas após uma busca.	166
E.19	Tela de criação de listas (inserção do nome da lista).	167
E.20	Tela de manipulação de listas (opções de edição, remoção e impressão).	168
E.21	Questionário gerado para impressão.	168
E.22	Gabarito gerado para impressão.	169
E.23	Distribuição das indicações de facilidade de uso do módulo de criação.	170
E.24	Distribuição das indicações de satisfação com o <i>feedback</i> automático.	171
E.25	Distribuição das indicações de facilidade de uso do módulo de busca.	172
G.1	Exemplo de questão com a competência Coleta de Dados.	179
G.2	Exemplo de questão sem a competência Coleta de Dados.	179
G.3	Exemplo de questão com a competência Representação de Dados.	181
G.4	Exemplo de questão sem a competência Representação de Dados.	181
G.5	Exemplo de questão com a competência Análise de Dados.	182
G.6	Exemplo de questão sem a competência Análise de Dados.	183
G.7	Exemplo de questão com a competência Decomposição de Problemas.	184
G.8	Exemplo de questão sem a competência Decomposição de Problemas.	184
G.9	Exemplo de questão com a competência Algoritmos e Procedimentos.	186
G.10	Exemplo de questão sem a competência Algoritmos e Procedimentos.	186

G.11 Exemplo de questão com a competência Abstração de Informações.	187
G.12 Exemplo de questão sem a competência Abstração de Informações.	188
G.13 Exemplo de questão com a competência Automação.	189
G.14 Exemplo de questão sem a competência Automação.	189
G.15 Exemplo de questão com a competência Simulação.	191
G.16 Exemplo de questão sem a competência Simulação.	192
G.17 Exemplo de questão com a competência Paralelização.	193
G.18 Exemplo de questão sem a competência Paralelização.	193
H.1 Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Coleta de Dados.	195
H.2 Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Representação de Dados.	196
H.3 Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Análise de Dados.	197
H.4 Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Decomposição de Problemas.	198
H.5 Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Algoritmos e Procedimentos.	199
H.6 Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Abstração de Informações.	200
H.7 Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Automação.	201
H.8 Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Simulação.	202
H.9 Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Paralelização.	203

Lista de Tabelas

3.1	Visão consolidada dos principais currículos para estímulo ao PC no mundo.	27
4.1	Vertentes das estratégias metodológicas.	41
4.2	Público alvo das estratégias metodológicas.	42
4.3	Competências estimuladas nas estratégias metodológicas.	45
4.4	Conteúdo abordado nas estratégias metodológicas.	48
4.5	Método de avaliação das estratégias metodológicas.	50
6.1	Resultados dos testes de hipóteses para o pré-teste e pós-teste aos quais os participantes foram submetidos.	89
6.2	Resultados dos testes de hipóteses para as reações dos participantes ao módulo 1.	91
6.3	Resultados dos testes de hipóteses para as reações dos participantes ao módulo 2.	98
6.4	Referência para interpretação Kappa.	99
6.5	Média, mediana e variância da concordância Kappa a partir da mediana de todas as competências no módulo 2.	101
6.6	Resultados dos testes de hipóteses para o aprendizado dos participantes ao módulo 2.	101
6.7	Resultados dos testes de hipóteses para as reações dos participantes ao módulo 3.	103
6.8	Média, mediana e variância da concordância Kappa a partir da mediana de todas as competências no módulo 3.	105
6.9	Resultados dos testes de hipóteses para o aprendizado dos participantes ao módulo 3.	106

A.1	Estrutura da matriz de <i>features</i>	139
A.2	Resultados do treinamento, validação e teste dos modelos XGBoost e KTrain BERT.	143
A.3	Matrizes de confusão para a competência Algoritmos do modelo XGBoost e Paralelização do modelo KTrain.	144
F.1	Trabalhos selecionados a partir da presença dos termos de busca nos títulos ou resumos.	176

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo apresenta o contexto no qual a pesquisa descrita neste documento se desenvolveu; o problema investigado; a questão de pesquisa; os objetivos que guiaram o estudo e as etapas realizadas; as contribuições do trabalho e a estruturação geral do documento.

1.1 Contexto

O Pensamento Computacional (PC) passou a ser considerado uma importante abordagem para estimular a capacidade de resolução de problemas desde as séries iniciais. O seu principal objetivo é o desenvolvimento de competências atreladas à essência da Ciência da Computação, para auxiliar a concepção de soluções em diversos contextos organizacionais (e.g. profissional, pessoal, acadêmico e científico). Neste sentido, é válido destacar que as abordagens para estimular o PC estão relacionadas com as estratégias, métodos e práticas utilizadas por profissionais da Ciência da Computação para resolver problemas – não com a execução das soluções finais ou com o uso de ferramentas computacionais que a Ciência da Computação produz.

Segundo Wing [106], o PC pode ser considerado um potencializador para um conjunto de competências operacionais inerentes ao ser humano. A autora descreve o PC como habilidades que permitem a concepção de soluções para problemas que podem ser executadas por uma máquina. Além disso, destaca que o PC é fundamentado no pensamento matemático e no seu processo de representação simbólica; na engenharia e no seu modo de operar

considerando as restrições do mundo real; e na ciência, ao definir formas de observar um problema e entender o que pode ser solucionado com efetividade [107]. Portanto, não se trata de aprender a manipular um computador e suas ferramentas, mas de assimilar habilidades que irão permitir a criação de soluções para problemas que podem, porventura, ser executadas por uma máquina.

De acordo com Bar e Stephenson [10], o PC pode ser entendido a partir da divisão da Ciência da Computação em um conjunto de competências que constituem o seu cerne. Essas competências são descritas pelos autores como habilidades que podem ser estimuladas e assimiladas em diversos contextos, de modo a possibilitar que nos tornemos bons resolvidores de problemas. Tais habilidades podem ser definidas a partir da nossa capacidade de coletar, representar e analisar dados; abstrair informações; decompor problemas; construir algoritmos; automatizar rotinas; paralelizar procedimentos; e simular comportamentos. Além disso, segundo os autores, esse conjunto de competências pode ser estimulado em diversos contextos de ensino – não apenas nos contextos diretamente relacionados com disciplinas e técnicas específicas da Ciência da Computação.

Com base nos diferentes contextos de ensino que possibilitam o estímulo às competências do PC, a literatura destaca duas vertentes metodológicas que têm sido comumente adotadas nos estudos conduzidos ao longo dos últimos anos [106]. As duas vertentes podem ser caracterizadas a partir das definições apresentadas a seguir:

- **Primeira vertente:** é caracterizada por abordagens metodológicas que visam o desenvolvimento das competências do PC a partir de disciplinas específicas da Ciência da Computação. Essa vertente considera, na maioria dos casos, o ensino de conceitos que estão diretamente ligados à programação de computadores, tais como: tipos de dados; técnicas de entrada e saída; estruturas condicionais e de repetição. Além desses, conceitos mais avançados que englobam também a prática de estruturas de dados (e.g. árvores, pilhas e filas). Todos com objetivo de transformar os conceitos desenvolvidos por estas práticas em habilidades aplicáveis a diversos problemas do nosso cotidiano. Neste sentido, é possível destacar, também, abordagens que usam conceitos advindos da robótica e do desenvolvimento de jogos.
- **Segunda vertente:** é definida a partir de abordagens metodológicas que levam em

consideração o desenvolvimento interdisciplinar das competências do PC em conjunto com as disciplinas do ensino básico (e.g. Matemática, Ciência e Leitura). Nessa vertente, as propostas metodológicas têm por objetivo a interligação dos conceitos em torno desse conjunto de disciplinas com as estratégias adotadas pela Ciência da Computação para solucionar problemas que estão relacionados com esses conceitos. Uma das abordagens mais utilizadas é denominada Computação Desplugada (do inglês, *Computer Science Unplugged*¹). Nessa abordagem, o estímulo às competências do PC é realizado a partir de experiências práticas que consideram a utilização de jogos lúdicos e objetos de aprendizagem, reduzindo o nível de imersão computacional característico da primeira vertente.

Embora diversas estratégias que consideram as duas vertentes possam ser encontradas na literatura, desafios ainda são comuns no contexto de desenvolvimento do PC, principalmente por ser uma área de conhecimento relativamente nova. Alguns desses desafios estão relacionados ao entendimento de como, quando e onde cada uma dessas estratégias pedagógicas de estímulo apresentam melhores resultados.

Dentro deste contexto, é perceptível que todo processo de ensino e aprendizagem em uma temática possui estágios que precisam ser seguidos, a fim de um aproveitamento mais significativo [51]. Por exemplo, para nos comunicarmos não é necessário estudar a literatura ou a gramática por completo da língua portuguesa. Isso também vale para o processo de quantificação, que não exige o completo entendimento a respeito de conteúdos como cálculos integrais e diferenciais para que saibamos contar. O processo de assimilação de conceitos ocorre gradativamente e, de acordo com as definições construtivistas apresentadas por Piaget, em cada fase de maturidade do indivíduo ele está mais propício a associar conceitos subjetivos a práticas concretas [80; 81].

Diante disso, é perceptível que todo conhecimento possui a sua essência, especializações e deve ser dividido em fases que possam ser aplicadas e exercitadas ao longo de toda nossa formação. No PC, o processo de estímulo às competências deve ser tratado de maneira semelhante e isso tem impactado suas abordagens pedagógicas. Visto que, práticas muito específicas, como ensinar programação, envolvem um nível alto de complexidade e podem não ser a estratégia mais adequada nos primeiros anos de ensino [53]. Ao contrário de

¹Computer Science Unplugged: <https://csunplugged.org/en/>

práticas de estímulo ao PC em paralelo com as disciplinas do currículo base, que têm se mostrado mais adequadas para serem aplicadas nas séries iniciais [66].

Os esforços em torno destas discussões têm influenciado modificações curriculares em diversos lugares do mundo [103]. No cenário brasileiro, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC²) destaca, desde a sua homologação, em 2017, a partir das competências gerais definidas, a necessidade da formação do aluno para lidar com a competência geral Cultura Digital. Essa competência geral fortalece a necessidade de estimular as competências do PC em conjunto com o letramento matemático, demandando o entendimento de que o processo de estímulo ao PC deve ser considerado como uma prática gradativa. Em virtude disso, faz com que seja factível o desenvolvimento de abordagens interdisciplinares de estímulo ao PC efetivas, aplicáveis desde as séries iniciais do ensino fundamental e alinhadas com as orientações apresentadas pela BNCC.

1.2 Problema

No contexto de estímulo ao PC por meio do ensino de programação, o ambiente *Scratch*³ tem apresentado significantes resultados registrados na literatura e pode ser considerado uma das principais técnicas no segmento. Esse ambiente oferece recursos para programar em blocos e um repositório *online*, onde é possível localizar materiais pré-concebidos por seus usuários para formação de professores e alunos [67; 6; 89].

Nas abordagens que trabalham o ensino de robótica, é destaque o uso do Lego Educacional (do inglês, *Lego Education*⁴). Nesta solução, o processo de estímulo ao PC é considerado durante a construção de robôs para realizarem diversas tarefas do cotidiano. O ambiente possui modelos de robôs e planos de aula que podem ser adquiridos para serem utilizados em vários contextos e disciplinas [105; 82; 60].

Outra abordagem de estímulo ao PC é denominada Computação Desplugada. Esta estratégia tem por objetivo estimular o PC, sem o uso do computador, por meio de atividades lúdicas e jogos educativos. A solução disponibiliza um conjunto de orientações pedagógicas, além de um vasto número de atividades que podem ser aplicadas em diversos níveis de

²BNCC: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>

³Scratch: <https://scratch.mit.edu/>

⁴Lego Education: <https://education.lego.com/>

ensino. Este material é dividido em tópicos, de acordo com a temática da disciplina que se pretende trabalhar. Em adição, apresenta também um modelo de integração curricular que pode ser utilizado para compor as práticas do dia a dia escolar [28; 88; 35].

A principal dificuldade encontrada com as abordagens citadas é a necessidade de conhecimento específico em Ciência da Computação para aplicá-las. No contexto da educação básica brasileira, isso pode ser considerado um problema pois os professores nem sempre possuem o conhecimento necessário nesta área. Além disso, em cenários menos favorecidos, a aplicação prática, de maneira efetiva, é prejudicada e pode comprometer a motivação dos envolvidos. Pois, muitas vezes, não são disponibilizadas verbas suficientes para aquisição de equipamentos e a organização curricular, atualmente sobrecarregada, compromete este tipo de atividade nas escolas.

Diante do exposto, este trabalho de tese visa apoiar o estímulo ao PC em acordo com as definições apresentadas pela BNCC, no contexto brasileiro, de modo que seja possível contornar problemas na condução de estratégias comumente adotadas na literatura e permitir que professores e profissionais envolvidos com o ensino de Matemática possam integrar as competências do PC as suas práticas em sala de aula.

Para guiar os esforços em torno das problemáticas apresentadas, a seguinte Questão de Pesquisa (QP) foi definida para nortear este estudo:

- **QP:** Como possibilitar a integração das competências do PC ao ensino de Matemática de acordo com as normativas estabelecidas pela BNCC, de modo a reduzir a necessidade de infraestrutura técnica, por parte das escolas, e formação, por parte dos professores, em conhecimentos específicos da Ciência da Computação?

Esta pesquisa parte do pressuposto que as competências do PC podem ser estimuladas em alunos do ensino fundamental, no contexto da disciplina de Matemática, a partir do arcabouço pedagógico da própria disciplina a ser ministrada. Diante disso, propusemos o uso das próprias questões de Matemática usadas em sala de aula, para estimular as competências do PC, de modo que fosse possível viabilizar que professores pudessem conduzir suas atividades sem a dependência de materiais e conceitos técnicos da Ciência da Computação – facilitando a aplicação dessas atividades em sala de aula sem fugir do contexto de ensino e das especialidades desses professores.

A estratégia metodológica proposta foi denominada PC+ e surge como uma alternativa para preparação de professores e futuros professores na lida com as normas estabelecidas pela BNCC no que diz respeito ao estímulo ao PC. Além disso, fornece um conjunto de materiais teóricos e práticos para aplicação das competências do PC alinhado ao ensino de Matemática.

1.3 Objetivos

Como base nos pressupostos apresentados, o Objetivo Geral (OG) deste estudo foi definido e está descrito a seguir:

- **OG:** Possibilitar que professores de Matemática possam integrar as competências do PC a partir de recursos pedagógicos da própria disciplina, sem a dependência de infraestrutura técnica ou condução de atividades relacionadas com disciplinas muito específicas da Ciência da Computação, para estimular a capacidade de resolução de problemas em alunos do ensino fundamental.

Dado o OG desta pesquisa, os seguintes Objetivos Específicos (OE) foram definidos:

- **OE1:** Propor uma estratégia metodológica que possibilite a integração das competências do PC ao contexto da Matemática, sem a necessidade do uso de computador, a partir de recursos pedagógicos da própria disciplina, tais como as questões usadas para exercitar os conteúdos ministrados.
- **OE2:** Conceber um conjunto de orientações didáticas, teóricas e práticas, para apoiar a capacitação de professores de Matemática de modo que eles possam utilizar a estratégia metodológica em sala de aula e analisar os impactos da utilização dela em seus alunos.
- **OE3:** Medir o aprendizado e a replicabilidade da estratégia metodológica proposta do ponto de vista de professores de Matemática de modo a capacitá-los para utilização do método em sala de aula.

1.4 Etapas de Pesquisa

As etapas de pesquisa conduzidas para alcançar os objetivos estabelecidos foram:

- **Etapa 1:** Caracterização da literatura de modo a identificar como as propostas interdisciplinares estão sendo postas em prática para estimular as competências do PC, no contexto da disciplina de Matemática, do ensino fundamental.
- **Etapa 2:** Proposição da estratégia metodológica, denominada PC+, de modo a permitir que o estímulo às competências do PC possa ser conduzido a partir de questões de Matemática comumente utilizadas em sala de aula.
- **Etapa 3:** Concepção das orientações conceituais e práticas da PC+, visando possibilitar a assimilação e replicação da proposta de estímulo às competências do PC em sala de aula.
- **Etapa 4:** Definição, execução e análise de um plano de validação para a PC+ em conjunto com seus materiais e métodos.

1.5 Contribuições

As contribuições provenientes da condução desta pesquisa são destacadas seguir:

- **Proposição e validação da estratégia metodológica PC+:** Concebemos a PC+ e conduzimos um processo de validação a partir do ponto de vista de graduados e graduandos de cursos superiores em Matemática. Além disso, implementamos os materiais que compõem a estratégia metodológica, possibilitando que eles possam ser instanciados para capacitação de novos professores. Com isso, é possível ampliar as discussões em torno de metodologias de estímulo ao PC, sem uso do computador, no contexto da disciplina de Matemática, a partir de questões já utilizadas em sala de aula. Em complemento, um importante passo para tornarmos o aprendizado dos alunos mais significativo em acordo com as definições curriculares do Brasil e do mundo.
- **Base de dados de questões de Matemática catalogadas com as competências do PC:** Construimos uma base de dados formada a partir de um conjunto de questões

de Matemática catalogadas com as competências do PC estimuladas por cada uma delas. Essa base pode ser utilizada como referência para condução de novos estudos com o objetivo de mensurar o impacto que diferentes modelos de questões e suas competências podem causar nos alunos, considerando a capacidade deles em resolver problemas.

- **Construção de classificadores automáticos de questões:** A base de dados construída possibilitou a construção de modelos experimentais de classificação automática de competências do PC em questões de Matemática. Esses modelos foram pensados para contornar a necessidade de catalogação manual de questões e apresentam resultados promissores. A evolução desses modelos pode impactar diretamente uma das atividades propostas na PC+, que é o processo de catalogação de competências em questões de Matemática a partir da análise majoritária manual [24].
- **Colaboração para construção do ambiente Compensar:** O Compensar é um ambiente *web* que disponibiliza, *online*, um conjunto de ferramentas para viabilizar que professores conduzam as práticas em torno da PC+. O ambiente foi pensado de modo que eles possam conceber, catalogar e utilizar questões de Matemática que estimulam as competências do PC de maneira colaborativa e descentralizada. Em relação ao ambiente Compensar, destacamos a necessidade de conduzir estudos mais robustos no que diz respeito a experiência e usabilidade da plataforma; de modo que seja possível evidenciar a viabilidade de disseminação da solução em alta escala como uma ferramenta complementar de apoio aos professores na utilização da PC+ [25].

1.6 Estrutura do Documento

Os demais capítulos deste documento estão organizados a partir da estrutura descrita a seguir:

- **Capítulo 2:** É apresentada a cronologia de pesquisa e os passos seguidos ao longo de todo o Doutorado, além de destacar as contribuições secundárias alcançadas ao longo da execução de todo este estudo.
- **Capítulo 3:** São apresentados os conceitos fundamentais para o entendimento do PC e suas aplicações.

- **Capítulo 4:** É descrita a metodologia de revisão sistemática para identificação e caracterização dos estudos relacionados; e os resultados da execução de todo o processo de mapeamento.
- **Capítulo 5:** É apresentada a proposta de estratégia metodológica, denominada PC+, para sistematizar, orientar e facilitar a condução do processo de concepção, catalogação e utilização de questões de Matemática que estimulam as competências do PC.
- **Capítulo 6:** São descritos e discutidos os resultados das intervenções para capacitação de graduados e graduandos de cursos de Matemática no manejo da PC+. Além disso, os materiais e métodos usados para conduzir o processo de validação da proposta.
- **Capítulo 7:** São apresentadas as considerações finais sobre os resultados desta pesquisa e as possibilidades abertas para condução de trabalhos futuros.

Capítulo 2

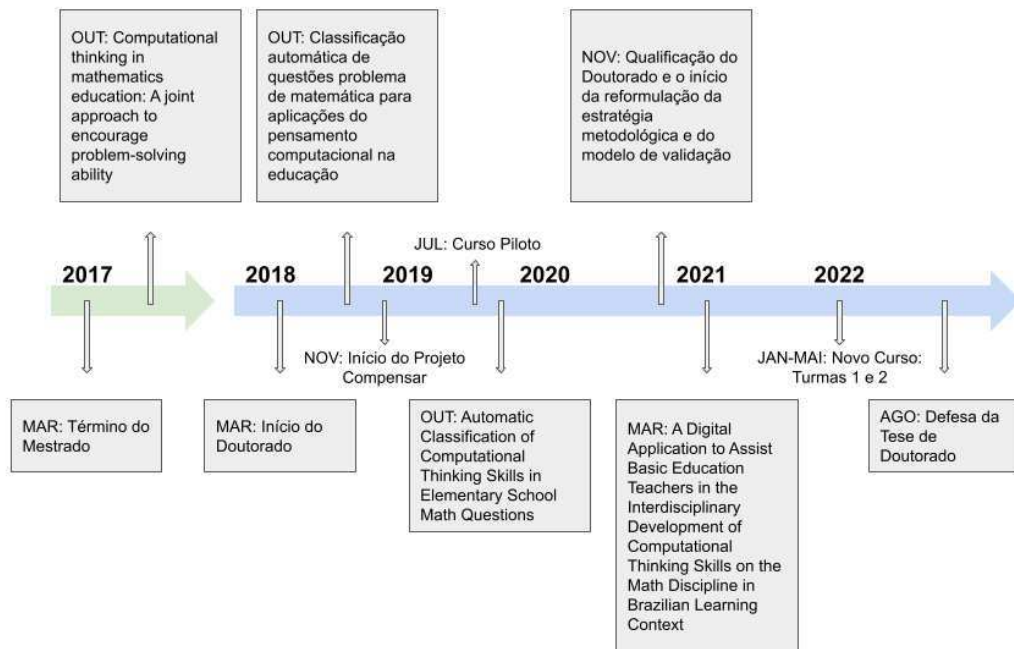
Cronologia da Pesquisa e Contribuições Secundárias

Este capítulo descreve os caminhos tomados ao longo da pesquisa e as contribuições secundárias alcançadas ao longo de todo o período de condução do estudo descrito neste documento. Nas seções subsequentes são apresentados: um resumo cronológico do estudo e os primeiros esforços conduzidos em torno dos problemas de pesquisa levantados; e os detalhes do estudo que serviu como base para proposta da estratégia metodológica PC+ e das contribuições secundárias alcançadas.

2.1 Resumo Cronológico da Pesquisa

Os resultados apresentados neste documento podem induzir a um entendimento linear e direto dos caminhos percorridos para concepção, execução e avaliação dos estudos conduzidos. No entanto, para alcançar os objetivos desta pesquisa, cruzamos percursos que levaram a contribuições secundárias dentro do contexto abordado. A Figura 2.1 mostra a linha temporal das etapas realizadas e das decisões tomadas ao longo de todo período de estudo.

Figura 2.1: Resumo visual da cronologia da pesquisa.



O estudo apresentado neste documento teve início em 2018 amparado por lacunas de pesquisa identificadas anteriormente em uma estudo inicial, realizada entre os anos de 2014 e 2017, durante meu curso de Mestrado, onde propusemos um passo a passo para adequação de conformidade de questões de Matemática às competências do PC para estimular a capacidade de resolução de problemas em alunos do ensino fundamental [26]. Esses problemas guiaram os primeiros esforços para construção de estratégias para classificação automática de competências do PC em questões de Matemática. Além disso, a construção de um ambiente colaborativo que permitisse que professores concebessem, catalogassem e compartilhassem suas questões de maneira descentralizada.

A princípio, construímos um conjunto de dados com questões de Matemática pré-catalogadas com as competências estimuladas em cada uma dessas questões. Esse conjunto de dados nos permitiu a construção dos primeiros modelos de classificação automática de competências do PC em questões de Matemática. Até meados de 2019, os esforços foram voltados para a construção dos classificadores. No entanto, percebemos que melhorias nesses classificadores só seriam possíveis se aumentássemos nosso conjunto de dados que, naquele momento, possuía cerca de 400 questões.

Desde os primeiros esforços em torno dos classificadores automáticos, entendemos que

o passo a passo para adequação de questões, proposto entre 2014 e 2017, era parte de um processo que ia muito além da criação de questões e envolvia a condução de atividades que podiam ser caracterizadas em duas iniciativas: a criação, propriamente dita; e a catalogação, procedimento adotado para que, de forma majoritária, as competências pudessem ser rotuladas nas questões. Diante disso, iniciamos um estudo direcionado a proporcionar que professores pudessem descentralizar a criação e catalogação de questões por meio de um ambiente colaborativo. Esse ambiente tinha por objetivo disponibilizar a possibilidade de interação entre professores, de modo a construir um ecossistema de cooperação entre profissionais interessados em colocar a estratégia, com foco no estímulo às competências do PC por meio de questões, em prática. Este estudo deu origem ao ambiente Compensar.

A partir das primeiras versões dos classificadores e do ambiente Compensar, decidimos validar as iniciativas conduzidas até então em conjunto com a apresentação do passo a passo para adequação de questões com professores e futuros professores interessados. Isso foi pensado para que eles pudessem interagir, por meio do ambiente colaborativo, criando e catalogando novas questões, ao mesmo tempo em que fosse possível coletar novos dados para melhorar os classificadores e validar o ambiente Compensar.

Diante desta iniciativa, observamos a necessidade de reorganizar o passo a passo proposto, pois ele não fornecia os subsídios necessários para que o público-alvo pudesse absorver seus conceitos e práticas e replicá-los. A partir desta necessidade, foi proposta a estratégia metodológica de concepção, catalogação e utilização de questões de Matemática para estímulo às competências do PC denominada PC+. Em Julho de 2019, o primeiro estudo piloto foi conduzido, com alunos do curso de Matemática da UFCG, para validar os artefatos produzidos até então: os classificadores; o ambiente colaborativo; e a estratégia metodológica PC+. Na ocasião, 24 alunos participaram da formação.

Após a condução do piloto, computamos os resultados e seguimos na tentativa de melhoramento dos classificadores, pois, como resultado da intervenção, coletamos cerca de 30 novas questões pré-catalogadas pelos participantes do curso. Em outubro de 2019, o primeiro artigo sobre a solução para classificação automática de competências do PC em questões de Matemática foi publicado. O processo de melhoria dos classificadores automáticos seguiu até a qualificação da proposta de pesquisa do Doutorado, no final de 2020. Na ocasião, foi identificada a necessidade de aprofundar os estudos, pois os resultados

apresentados eram superficiais e os métodos de avaliação e validação pouco robustos para as três frentes de pesquisa consideradas até então: os classificadores automáticos; o ambiente Compensar; e a PC+. Ao fim da qualificação, foi decidido aprofundar os estudos em torno da proposta de estratégia metodológica, pois entendemos que a PC+ era o ponto de partida para possibilitar avanços quanto ao processo de classificação automática de competências e para suportar e fomentar o ecossistema colaborativo pensado através do ambiente Compensar.

No início de 2021, um artigo que descreve as experiências e resultados preliminares com o ambiente Compensar, durante o curso piloto, foi publicado. Desde essa publicação, todos os esforços foram voltados à reformulação da metodologia de validação da PC+. Entre o final de 2021 e início de 2022, ofertamos uma nova rodada de intervenção no modelo de curso, para graduados e graduandos de cursos superiores em Matemática, com o objetivo de capacitá-los e coletar novos dados para possibilitar a validação do método. Estas novas rodadas do curso culminaram nos resultados apresentados ao longo deste documento e dizem respeito às contribuições principais ligadas ao Objetivo Geral (OG) e aos Objetivos Específicos (OE) definidos na introdução deste trabalho. Com o intuito de situar melhor o leitor sobre os estudos conduzidos antes do início desta pesquisa de Doutorado, em 2018, as próximas seções têm por objetivo descrever, em mais detalhes, o ponto de partida e os caminhos percorridos ao longo das primeiras etapas deste estudo.

2.2 Pensamento Computacional na Matemática: Uma Abordagem Conjunta

Entre os anos de 2014 e 2017, durante uma pesquisa realizada ao longo do curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação (PPGCC) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), investigamos o impacto que diferentes modelos de questões de Matemática exerciam em relação ao estímulo às competências do PC e a capacidade de resolução de problemas em alunos do ensino fundamental [22]. Neste estudo, intitulado *Computational Thinking in Mathematics Education: A Joint Approach to Encourage Problem-Solving Ability* e publicado na 47th edição do IEEE *Frontiers in Education Conference* (FIE 2017), propusemos uma abordagem intrínseca à disciplina de Matemática com o objetivo de reformular os exercícios trabalhados em sala de aula, fazendo

com que as questões usadas pelos professores não fossem apenas exercícios de repetição de procedimentos matemáticos e passassem a estimular as competências do PC. As principais contribuições deste estudo foram:

1. Uma análise sobre a conformidade apresentada por questões de Matemática com as competências do PC, onde foram descritos os procedimentos adotados para identificar as competências do PC que eram trabalhadas em uma amostra de questões coletada de escolas do município de Campina Grande - Paraíba e do exame do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA¹). A conformidade relatada neste estudo foi identificada a partir da análise majoritária manual, por especialistas, das competências apresentadas por Barr e Stephenson [10]. Logo, dado que são nove competências propostas pelos autores, quanto mais competências (mais próximo de nove) maior a conformidade, quanto menos competências (mais próximo de zero) menor a conformidade. Sendo assim, foi possível destacar a baixa conformidade das questões coletadas nas escolas com as competências do PC, diferentemente da alta conformidade identificada nas questões de Matemática aplicadas no exame do PISA – o que nos trouxe indícios da causa do baixo rendimento apresentado por alunos brasileiros submetidos a esse exame.
2. Diante das diferenças apresentadas nos exemplos de questões, propusemos um passo a passo com o objetivo orientar a criação de novas questões em maior conformidade com as competências do PC propostas por Barr e Stephenson [10]. O passo a passo foi concebido para que fosse possível estimular as competências do PC nas questões e, conseqüentemente, melhorar a capacidade de resolução de problemas dos alunos submetidos às novas questões criadas. Como exemplo para condução do passo a passo, ilustramos, na prática, cada um dos passos a serem seguidos para incorporação das competências em questões de Matemática a partir da adequação de conformidade de uma questão exemplo.
3. Para avaliar o impacto dos diferentes modelos de questões na capacidade de resolução de problemas em alunos do ensino fundamental, realizamos um quase-experimento. Neste estudo, investigamos o impacto de questões em maior conformidade, concebidas

¹PISA: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/pisa>

a partir do passo a passo proposto, e menor conformidade, selecionadas a partir da amostra coletada na primeira fase do estudo em escolas públicas e particulares de Campina Grande - Paraíba. O estudo foi conduzido com dois grupos de alunos divididos entre um grupo de controle e um experimental. A constatação obtida a partir dos resultados foi que os alunos submetidos às questões em maior conformidade (grupo experimental) apresentaram indícios de melhora na capacidade de resolução de problemas, quando comparados aos alunos que trabalharam com as questões em menor conformidade (grupo de controle). O estudo considerou exemplos de questões do PISA como ferramenta de medição de desempenho e a diferença entre os grupos foi medida a partir da quantidade de acertos de cada grupo nas questões do exame selecionadas.

A proposta interdisciplinar, a partir da adequação de novas questões em maior conformidade com as competências do PC, por meio do passo a passo, se mostrou promissora e adequada às definições estabelecidas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que incentiva o estímulo ao PC em paralelo à disciplina de Matemática. Além disso, apresentou evidências da possibilidade de contornar diversos problemas citados em relação ao desenvolvimento do PC, pois não era uma abordagem diretamente dependente de ferramentas computacionais ou conhecimentos específicos da Ciência da Computação para ser conduzida. Diante disso, evidenciou-se que era possível reduzir ou até mesmo eliminar a necessidade de infraestrutura técnica, por parte das escolas, e de capacitação dos professores de Matemática para lidarem com iniciativas fora de suas especialidades. No entanto, algumas lacunas que impactavam diretamente a adoção da proposta em sala de aula foram identificadas. Os problemas identificados são apresentados na sequência:

1. Mesmo exemplificando o uso do passo a passo com a adaptação de uma questão, a proposta não descreve um modelo metodológico bem definido que oriente e estimule a sua condução por parte dos professores. Isso, para que seja possível criar questões em conformidade com as competências do PC e permitir que a abordagem seja escalável à longo prazo de forma descentralizada – no sentido de que mais professores pudessem usufruir das questões produzidas e que o compartilhamento dessas questões pudesse ser realizado de maneira colaborativa, reduzindo o retrabalho e aumentando o reuso

- deste material.
2. O mesmo problema pôde ser observado no processo de catalogação de novas questões quanto à presença de competências do PC, necessitando também de orientações metodológicas claras e objetivas para que novas análises pudessem ser conduzidas de maneira mais eficiente e com baixa subjetividade. Além disso, era perceptível a ineficiência do processo para uma grande quantidade de questões, tendo em vista que são necessárias três avaliações individuais, por especialistas, para que o critério majoritário fosse aplicado, para cada uma das competências, em cada uma das questões a serem analisadas – o que gera um esforço manual improdutivo e baixa concordância entre os especialistas que conduziram o estudo de catalogação inicial;
 3. Em complemento, é possível destacar a falta de orientações metodológicas quanto à utilização das questões produzidas e avaliadas em sala de aula, sendo necessário traçar estratégias de incorporação dessas questões no dia a dia escolar com o objetivo de maximizar o ganho dos alunos em resolver problemas com maior facilidade. Tendo em vista que, a depender do conteúdo a ser ministrado em sala de aula, algumas competências podem não ser aplicáveis e isso pode impossibilitar a prática de questões que apresentem sempre uma maior conformidade com as competências do PC.

2.3 Automação do Processo de Classificação e Colaboração

Diante dos problemas apresentados, voltamos nossos esforços iniciais para concepção de soluções que possibilitasse a redução do esforço manual de catalogação de questões, por análise majoritária, e possibilitassem a reutilização das questões produzidas de maneira colaborativa.

2.3.1 Classificação Automática de Questões

De posse de questões previamente rotuladas por análise majoritária, provenientes dos estudos conduzidos entre os anos de 2014 e 2017, iniciamos o processo de construção de classificadores automáticos de competências do PC em questões de Matemática. Esta iniciativa foi tomada com o objetivo de contornar a necessidade de esforço manual exigido

para catalogação de competências em grandes quantidades de questões. Imaginemos que três avaliadores especialistas levassem cinco minutos cada para catalogar uma questão. Para 10 questões, o tempo total de catalogação individual seria de 50 minutos, sem contar a definição final da presença ou não de cada uma das competências avaliadas nas questões por meio do critério majoritário. Para essas cinco questões, o tempo total executado pode até parecer algo viável, mas ao longo do ano os professores usam mais de cinco questões para exercitar e fixar os conteúdos da disciplina. Então, pensando em um número mais próximo da realidade, para 100 questões, por exemplo, os avaliadores levariam, individualmente, sem considerar a aplicação do critério majoritário, 500 minutos (cerca de oito horas e meia) para concluir a catalogação dessas questões.

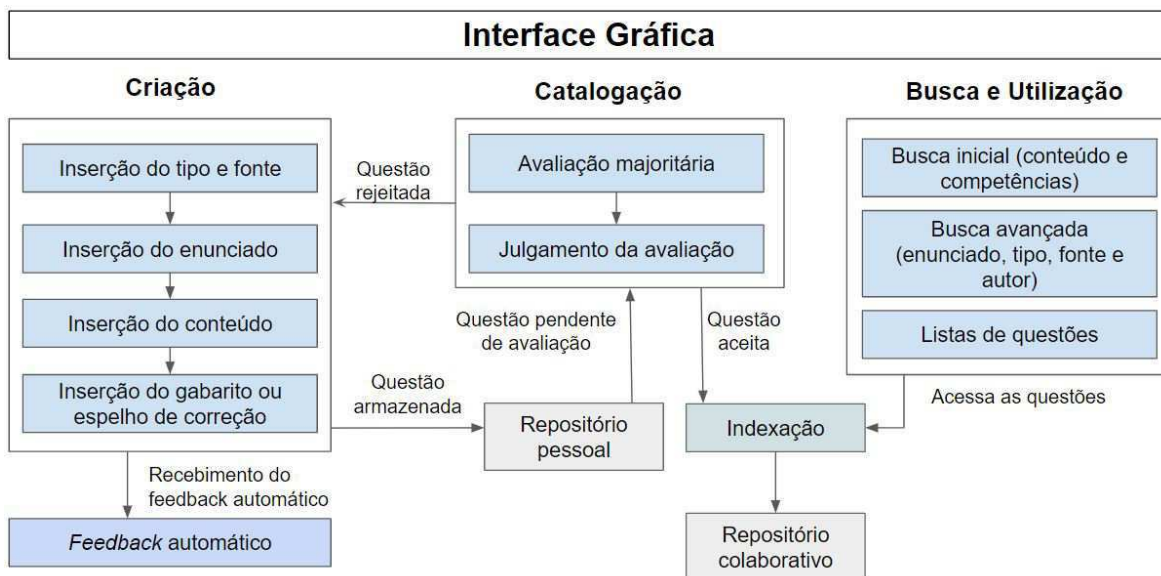
Para contornar o problema citado, conduzimos um estudo, tomando como base estratégias voltadas para Inteligência Artificial, com o objetivo de realizar a catalogação das competências de forma automática, a partir de técnicas de classificação baseadas em Aprendizado de Máquina e Aprendizagem Profunda. A meta dos classificadores automáticos era aprender os padrões de representação das competências já catalogadas em questões de Matemática e identificar esses padrões em novas questões.

De modo a alcançar o objetivo definido acima, foram utilizadas técnicas de Processamento de Linguagem Natural, para processar os textos que compunham os enunciados das questões e, a partir das informações extraídas, foram usadas estratégias para treinamento de modelos matemáticos de modo que fosse possível que esses modelos aprendessem os padrões de representação de cada uma das nove competências do PC consideradas neste estudo. As métricas utilizadas para validação dos modelos foram: Acurácia (A), Precisão (P), Cobertura (C) e Medida-F (F1). Os resultados obtidos, inicialmente, foram apresentados em 2019 no artigo intitulado *Automatic Classification of Computational Thinking Skills in Elementary School Math Questions* e publicado na 49th edição do IEEE *Frontiers in Education Conference (FIE 2019)*. Os últimos resultados são descritos no Apêndice A deste documento e complementam a demonstração de viabilidade em classificar automaticamente competências do PC em questões de Matemática.

2.3.2 Compensar: O Ambiente Colaborativo

Ao longo da execução de dois projetos de extensão aprovados junto à Universidade Federal de Campina Grande, iniciamos em parceria com dois alunos de graduação, atuando como desenvolvedores do *software*, o desenvolvimento do ambiente colaborativo denominado Compensar. Este ambiente foi proposto para possibilitar que as atividades de criação, catalogação e disponibilização de questões, que estimulam as competências do PC, fossem conduzidas de maneira descentralizada. O ambiente foi pensado de modo a possibilitar que professores pudessem, em um único lugar, *online*, manter um repositório de questões capaz de servir diretamente a outros professores interessados na utilização dessas questões. Além disso, nesse ambiente, incorporamos os classificadores automáticos de competências como uma ferramenta com o objetivo de prover *feedback* preliminar a respeito das competências identificadas em questões recém-criadas na plataforma, antes de serem submetidas a avaliação majoritária dentro do próprio ambiente. A Figura 2.2 traz uma visão geral do ambiente Compensar.

Figura 2.2: Visão geral dos módulos operacionais do ambiente Compensar.



O módulo de criação foi pensado para apoiar a etapa de criação de questões e, durante o processo, coletar informações relacionadas às questões que, posteriormente, auxiliassem a localização delas dentro dos repositórios do ambiente, tais como: tipo, fonte, enunciado e conteúdo. Por sua vez, o módulo de catalogação possibilita que a avaliação majoritária

seja conduzida de maneira colaborativa pelos usuários da ferramenta, permitindo que essas avaliações sejam realizadas individualmente e, ao final, a questão seja aceita ou rejeitada de acordo com essas avaliações. Por fim, o módulo de busca e utilização, a partir de questões avaliadas e aceitas no ambiente, permite que sejam utilizadas estratégias de busca com base nas informações inseridas na questão, durante o processo de criação, e das competências identificadas pela avaliação majoritária. Esse módulo permite que sejam geradas listas de exercícios de acordo com os critérios de busca utilizados pelos usuários.

Para validação dos classificadores e do ambiente colaborativo, além da geração de mais questões que permitissem a evolução dos classificadores, propusemos a realização de um curso para capacitar professores de modo a possibilitar que eles pudessem criar e catalogar novas questões. No entanto, esbarramos nas limitações do passo a passo para adequação de conformidade de questões com as competências do PC citadas anteriormente. A partir dessas limitações, os esforços foram voltados para concepção de uma estratégia metodológica que fosse capaz de proporcionar que professores e futuros professores pudessem fazer uso das soluções propostas.

Após a primeira versão da estratégia metodológica, denominada PC+, ofertamos um curso piloto para validação dos artefatos produzidos. Os resultados que dizem respeito à experiência inicial de utilização do ambiente Compensar, durante a realização do curso piloto, foram registrados no artigo intitulado *A Digital Application to Assist Basic Education Teachers in the Interdisciplinary Development of Computational Thinking Skills on the Math Discipline in Brazilian Learning Context* e publicado na 13th *International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2021)*. A versão expandida dos resultados desse artigo é descrita no Apêndice E deste documento.

2.4 A Estratégia Metodológica e a Validação da Proposta

A estratégia metodológica PC+ foi concebida a partir da necessidade de existir um conjunto de orientações teóricas e práticas que possibilitassem que professores pudessem conceber e catalogar questões de Matemática para estimular as competências do PC. A PC+ foi proposta com base no passo a passo para adequação de questões descrito anteriormente. Esse estudo teve como principal objetivo proporcionar que professores pudessem estimular competências

do PC sem a necessidade de capacitações voltadas a conteúdos muito específicos da Ciência da Computação e não necessitem diretamente de infraestrutura técnica/tecnológica adequada para condução das atividades em sala de aula.

A PC+ foi concebida seguindo a necessidade de realização das duas principais atividades que possibilitam a existência de questões de Matemática que estimulem competências do PC: concepção das questões e catalogação das competências. O processo de concepção envolve a assimilação dos conceitos de incorporação das competências do PC na questão criada, de modo que seja possível o desenvolvimento de habilidades que, efetivamente, estimulam a resolução de problemas. A catalogação, por sua vez, envolve o processo de verificação de quais competências, de fato, estão sendo estimuladas na questão criada. Esse processo envolve o entendimento de como as competências podem ser identificadas e, a partir desse entendimento, majoritariamente definir quais competências estão sendo estimuladas nas questões de Matemática produzidas.

O material concebido, inicialmente, era composto por um conjunto de orientações teóricas e práticas que foram validadas no curso piloto que contou com a participação de 24 alunos do curso de Licenciatura em Matemática da Universidade Federal de Campina Grande. Esses alunos foram submetidos ao curso e os resultados para validação foram computados. Embora os resultados tenham se mostrado promissores quanto à aceitação do método, na defesa da proposta desta pesquisa de Doutorado, foi identificada a necessidade de aprofundar os estudos apresentados – principalmente no que diz respeito aos métodos de validação usados para medir a assimilação e replicação do conteúdo apresentado ao público-alvo.

Diante desta necessidade, entendemos que a PC+ é o ponto de partida para evolução dos classificadores e do ambiente colaborativo proposto; e tendo em vista que é ela quem vai possibilitar que professores sejam capazes de conceber e catalogar questões. Nós decidimos pelo aprimoramento do processo de validação da proposta. Essa reformulação envolveu a definição de uma nova metodologia de validação, além de seus materiais e métodos, que impactou na redefinição do público-alvo, das ferramentas de coleta e do processo de intervenção.

Os detalhes sobre a PC+ são apresentados no Capítulo 5 deste documento. O modelo de validação e os resultados da intervenção realizada são apresentados no Capítulo 6. Os

Capítulos 3 e 4 trazem os conceitos fundamentais para entendimento do contexto geral desta pesquisa e os trabalhos relacionados identificados a partir de uma revisão sistemática da literatura, respectivamente.

2.5 Resumo do Capítulo

Neste capítulo apresentamos os caminhos percorridos ao longo da pesquisa para alcançar o objetivo principal e as contribuições secundárias obtidas durante o período de estudo. Foram descritos os problemas que fundamentaram os esforços em torno da construção de classificadores automáticos de competências do PC em questões de Matemática e do Compensar – ambiente colaborativo para apoiar a concepção, catalogação e utilização de questões de Matemática que estimulam as competências do PC. Por fim, os motivos que nos fizeram debruçar-se sobre a reformulação do modelo de validação da PC+. No próximo capítulo discutiremos alguns conceitos fundamentais que são essenciais para o pleno entendimento do estudo descrito neste documento.

Capítulo 3

Conceitos Fundamentais

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais desta pesquisa. Nele serão abordadas as temáticas essenciais para entendimento do PC como estratégia para resolução de problemas, os principais currículos propostos para o seu desenvolvimento, bem como as relações existentes entre o PC, a disciplina de Matemática e o aprendizado baseadas em problemas.

3.1 Pensamento Computacional

O PC tem exercido papel fundamental na mudança das estratégias curriculares com o objetivo de tornar o processo de ensino-aprendizagem mais atrativo e estimulante para alunos e professores. Os resultados que envolvem as práticas pedagógicas que utilizam como referência o desenvolvimento das competências do PC, como um favorecedor para o estímulo à capacidade de resolução de problemas, têm apresentado efeitos positivos a curto, médio e longo prazo. Esses resultados têm impactado a maneira como os conteúdos do ciclo básico de ensino estão sendo ministrados. Além disso, o PC tem possibilitado a prática de disciplinas específicas da Ciência da Computação e o desenvolvimento da capacidade de resolução de problemas em alunos nos mais diversos estágios de aprendizado de maneira interdisciplinar.

O termo resolução de problemas é bastante amplo e, a depender da disciplina em que ele esteja sendo abordado, apresenta também diferentes nomenclaturas. No entanto, é de comum entendimento que a resolução de problemas está relacionada com procedimentos concebidos para que seja possível alcançar a solução para uma determinada situação problema, independente do grau de dificuldade incorporado a ela [77]. Diante disso, ao

apresentar estratégias sistematizadas e logicamente interligadas, com o objetivo de resolver problemas do cotidiano voltados para o ambiente em torno da Ciência da Computação, o PC passou a ser considerado uma estratégia para resolução de problemas que pode ser incorporada a qualquer segmento de pesquisa. Visto que, todas as áreas podem usufruir das competências estimuladas. Essa incorporação vem trazendo avanços científicos significativos, tendo em vista a maneira como o PC lida com problemas que antes não eram possíveis de serem solucionados devido à complexidade.

Wing define o PC como um conjunto de habilidades e capacidades inerentes ao ser humano que não estão relacionadas com a manipulação de computadores, mas se relaciona com a concepção de soluções que podem ser executadas por um computador [106; 107; 108]. Essas habilidades são descritas pela autora como a seguir:

- São os conceitos em torno da organização do pensamento lógico e abstrato por cientistas da computação, não se trata de programar.
- Não é uma habilidade utilitária, mas fundamental que todos devem conhecer;
- Como as máquinas não pensam, o objetivo não é fazer com que os humanos se comportem como uma, mas que saibam organizar e conceber soluções que possam ser executadas por essas máquinas.
- É amparado pela Matemática e seus fundamentos, e na engenharia para construção de soluções para o mundo real.
- Não se trata do ferramental produzido pela Ciência da Computação para solucionar problemas específicos, mas do conjunto de habilidades usadas para que essas soluções sejam concebidas.
- Como se trata de uma abordagem para resolução de problemas, é para todos e em qualquer lugar.

Diversos autores, com o objetivo de traduzir esse conjunto de habilidades e conceitos em descrições concretas das competências estimuladas pelo PC, apresentam diferentes definições sobre o que, de fato, deve ser estimulado para adquirir a capacidade de pensar computacionalmente [62; 95; 4]. Um desses conjuntos de definições é apresentado por Barr

e Stephenson como sendo o núcleo do PC [10]. As definições apresentadas pelos autores englobam uma quantidade maior de competências e, diante dessa amplitude, conseguem abranger competências correlatas às demais definições literárias que estão relacionadas com as ações que envolvem: entender, planejar, executar e observar. As definições com base nas competências discutidas pelos autores, no contexto da disciplina de Matemática, por exemplo, podem ser observadas a seguir:

- **Coleta de Dados:** encontrar uma fonte de dados para uma situação problema, por exemplo, lançando uma moeda ou rolando dados.
- **Análise de Dados:** contar ocorrências nos lançamentos e rolagens de dados, por exemplo, e analisar os resultados.
- **Representação de Dados:** usar histogramas, gráficos, conjuntos, listas e diagramas para visualizar informações.
- **Decomposição de Problemas:** aplicar ordem de precedência nas operações em uma expressão Matemática, dividindo o problema em partes e decidindo o que deve ser solucionado primeiro.
- **Abstração:** usar variáveis em álgebra, identificar fatos essenciais em um problema, estudar funções em álgebra comparando-as com funções em programação, além de usar interações para resolver problemas do mundo real.
- **Algoritmos e Procedimentos:** resolver longas expressões como divisões e fatoração, organizando de forma lógica todo procedimento adotado.
- **Automação:** usar ferramentas como blocos de desenhos geométricos, calculadora e linguagens de programação.
- **Paralelização:** resolver sistemas lineares e multiplicação de matrizes, permitindo que várias partes do problema sejam solucionadas de forma simultânea.
- **Simulação:** desenhar uma função em um plano cartesiano e modificar os valores das variáveis para entender as mudanças que podem ocorrer após as modificações.

A literatura destaca o PC como uma das mais importantes e menos compreendida habilidade de conhecimento do século XXI, o que leva a necessidade de colocar em prática o estímulo ao PC desde as séries iniciais [14; 42; 12; 27]. Com este objetivo, diversas estratégias e abordagens têm sido exploradas e duas principais vertentes metodológicas para estímulo ao PC podem ser identificadas:

1. A primeira tem por objetivo estimular as competências do PC por meio de disciplinas específicas da Ciência da Computação, tais como programação de computadores e robótica.
2. A segunda tem por objetivo estimular o PC incorporando práticas metodológicas em torno da Ciência da Computação em paralelo a disciplinas do ensino básico, a exemplo da disciplina de Matemática.

As duas abordagens têm relevantes resultados apresentados na literatura [5; 85; 93]. No que diz respeito às práticas que envolvem programação de computadores, é possível observar o trabalho conduzido por Gomes et al. [46]. Neste estudo, os autores apresentaram uma experiência com o ensino de jogos digitais para crianças entre cinco e seis anos. A metodologia proposta foi dividida em três momentos que consideravam jogos educativos com características distintas para cada um deles. As três etapas foram caracterizadas como: i) sequência de instruções, que tinha como objetivo desenvolver o raciocínio lógico dos alunos; ii) repetição, com o objetivo de fazer com que os alunos entendessem estruturas de programação em laço; iii) letramento, que teve como objetivo unir a prática de programação com as atividades de leitura e escrita. Os resultados apresentados pelos autores destacam o ensino de programação, por jogos digitais, como uma alternativa promissora para estimular o PC e manter os alunos engajados enquanto aprendem. No entanto, os autores destacam também problemas de usabilidade encontrados nos jogos que foram escolhidos.

Em Rosa et al. [90], os autores trabalham programação de computadores para alunos do ensino fundamental a partir de seis etapas. Essas etapas vão desde a apresentação de conceitos básicos de programação, através da Computação Desplugada [13], que visa introduzir conceitos da Ciência da Computação sem o uso de computadores, até o uso de ferramentas de programação como o LightBot [50] e o Scratch [68]. Os resultados apontam que houve melhoria na capacidade de resolução de problemas dos participantes. No entanto,

os autores destacam dificuldades que dizem respeito à infraestrutura dos laboratórios para comportar os participantes e a baixa velocidade de internet para condução das atividades propostas.

No trabalho apresentado por Santos et al. [38], os autores adotam estratégias de programação por pares no ambiente Code.org ¹. A metodologia utilizada na condução do estudo considerou quatro tipos de oficinas: i) para alunos que não sabiam ler e não tinham experiência prévia com programação; ii) para alunos que sabiam ler e não tinham experiência prévia em programação; iii) para alunos que fizeram a oficina ii; e iv) para alunos que concluíram as oficinas ii e iii. Os resultados apontam que as etapas podem ser aplicadas para qualquer estudante, independente de idade e série. Além disso, com base no construcionismo de Papert [78], os autores destacam que os programas de computadores construídos pelos alunos culminaram na construção de um conhecimento mais sólido dos conteúdos ministrados nas oficinas.

Diferente das abordagens voltadas para o ensino de programação, mas com o intuito de promover uma aprendizagem interdisciplinar de conceitos da Ciência da Computação e dos conhecimentos relacionados às disciplinas do ciclo básico de ensino, Neto et al. [75] apresentam uma abordagem para o ensino de robótica em conjunto com as disciplinas de física e Matemática. Os resultados apresentados pelos autores demonstram efetividade na assimilação das competências do PC para estimular a resolução de problemas, tais como: abstração e algoritmos. Além disso, destacam como principal problema para condução das atividades a dificuldade de estabelecer um diálogo simples e intuitivo, com os participantes, em relação aos conceitos específicos da Ciência da Computação durante as oficinas.

3.2 Currículos do Pensamento Computacional

Como destacado na introdução deste documento, os avanços nas pesquisas que envolvem o PC como uma abordagem para resolução de problemas têm impactado diretamente na proposição e reestruturação dos currículos educacionais. Estas modificações buscam incorporar as práticas propostas pelo PC no dia a dia escolar. Além disso, esses currículos têm procurado prover direcionamentos aos profissionais da educação sob perspectivas

¹Code.org: <https://code.org/>

de aplicações práticas e avaliativas de atividades que envolvem o desenvolvimento de habilidades que tornem os alunos melhores resolvedores de problemas.

Neste contexto, alguns dos principais currículos mundiais foram analisados e a Tabela 3.1 traz uma visão consolidada das principais características de cada um deles (nome do currículo, eixos de ensino e competências). Na sequência, discutiremos sobre cada um deles em maiores detalhes.

Tabela 3.1: Visão consolidada dos principais currículos para estímulo ao PC no mundo.

Currículo	Eixos de Ensino	Competências
Computer Science Framework - K12	Ciência da Computação e Interdisciplinaridade.	Algoritmos e programação; colaboração; reconhecimento de problemas; comunicação; teste e refinamento; e abstração.
National Curriculum in England - NCE	Ciência da Computação, Tecnologia da Informação e Letramento Digital.	Entender; modelar; criar e usar.
Australian Curriculum - AU	Design e Tecnologias; e Tecnologias Digitais.	Investigar; generalizar; avaliar; colaborar; definir objetivos; e projetar e implementar soluções.
Exploring Computer Science - ECS	Conceitos Essenciais da Computação; Investigação e Equidade.	Algoritmos e análise de dados.
Creative Computing Curriculum - CCC	Pensamento Computacional; Conceitos Computacionais; Práticas Computacionais e Perspectivas Computacionais.	Algoritmos; construção e avaliação.
Sociedade Brasileira de Computação - SBC	Mundo Digital; Pensamento Computacional e Cultura Digital.	Abstração; análise e automação.
Centro de Inovação na Educação Brasileira - CIEB	Mundo Digital, Pensamento Computacional e Cultura Digital.	Abstração; análise; automação e reconhecimento de padrões.

O principal currículo formatado e destacado na maior parte dos estudos que propõem estratégias de estímulo ao PC é o currículo americano chamado K12 (do inglês, *Computer Science Framework - K12*²). Este modelo curricular destaca a necessidade de ensinar técnicas e conceitos da Ciência da Computação desde as séries iniciais; e procura unificar o entendimento desses conceitos nos diversos segmentos de ensino. A divisão do K12 se dá a partir de conceitos e práticas essenciais e conceitos transversais. Os conceitos e práticas essenciais estão diretamente ligados à Ciência da Computação como ferramenta de estímulo. Os conceitos transversais, por sua vez, destacam as possibilidades interdisciplinares de ensino da Ciência da Computação em conjunto com diversas outras disciplinas. A divisão dos conceitos é apresentada em dois estágios: ensino fundamental (*elementary* e *middle*

²K12: <https://k12cs.org/>

school); e ensino médio (*high school*). No contexto de estímulo ao PC, podemos destacar algumas competências principais estimuladas neste currículo: algoritmos e programação; colaboração; reconhecimento de problemas; comunicação; teste e refinamento; e abstração. Além de competências essenciais, o K-12 também traz uma visão mais teórica sobre os impactos da Ciência da Computação na sociedade e destaca a necessidade de ser desenvolvido nos alunos a capacidade de entender as relações que ocorrem entre sistemas computacionais; e as interações entre os humanos e os computadores [21].

No Reino Unido, primeiro lugar a incorporar ao currículo escolar práticas que envolvem o ensino de Ciência da Computação, é destaque as definições apresentadas no Currículo Nacional da Inglaterra (do inglês, *National Curriculum in England - NCE*³). O objetivo principal, apresentado neste documento, destaca que o ensino de Ciência da Computação de alta qualidade deve preparar os alunos para usarem o PC como estratégia para resolução de problemas. Além disso, traz relações entre Ciência da Computação, Matemática, Ciência, Engenharia e Tecnologia. Diferentemente do contexto em torno da segunda vertente de estímulo ao PC descrita neste documento, o currículo inglês estimula diretamente o desenvolvimento da capacidade de entender o funcionamento de sistemas e construir novas soluções tecnológicas por meio de programação. Ele é dividido em quatro estágios chave e as atividades evoluem no contexto do ensino de algoritmos. Em complemento, divide o seu conteúdo em três eixos principais de ensino: Ciência da Computação, Tecnologia da Informação e Letramento Digital. Dentre as principais competências a serem estimuladas, são destacadas a capacidade de entender, modelar, criar e usar soluções computacionais [40].

Outra abordagem curricular discutida na literatura é definida na Austrália (*Australian Curriculum - AU*⁴), essa abordagem é mais abrangente e define iniciativas para um aprendizado mais significativo para os alunos em diversas áreas de ensino. No contexto da Ciência da Computação, é destaque duas disciplinas: Design e Tecnologias (do inglês, *Design and Technologies*); e Tecnologias Digitais (do inglês, *Digital Technologies*). Dentro dessas disciplinas, o currículo destaca a necessidade de se fazer compreensível, por parte dos alunos, os impactos das tecnologias na sociedade, o funcionamento de sistemas digitais, a criação de soluções e a manipulação de dados. Quando observamos esse currículo a

³NCE: <https://www.gov.uk/government/collections/national-curriculum>

⁴AU: <https://www.australiancurriculum.edu.au/f-10-curriculum/technologies/introduction/>

partir do contexto de estímulo às competências do PC, percebemos uma forte influência de práticas que envolvem as habilidades de investigar, generalizar, avaliar e colaborar, para que seja possível propor soluções por meio de técnicas que envolvem a capacidade de definir objetivos, projetar soluções e implementar essas soluções [49].

Ainda no contexto de currículos para o ensino de Ciência da Computação e estímulo ao PC, é destaque também o currículo denominado ECS (do inglês, *Exploring Computer Science*⁵). Esse currículo aborda o ensino de computação sob uma perspectiva um pouco diferente dos currículos descritos anteriormente. O foco principal é a formação de professores para atuação no ensino médio através da pesquisa e ampliação da participação da computação no dia a dia escolar. Os principais eixos temáticos envolvem o ensino de conceitos essenciais da computação, a investigação e a equidade. As unidades são divididas em seis conjuntos de conceitos que vão desde as interações entre humanos e computadores, até o ensino de robótica [48]. Dentre as competências do PC definidas pelo currículo, são destaques as seguintes competências: algoritmos e análise de dados.

Dentre os principais currículos, ao lado do K12, é destaque o *Creative Computing Curriculum - CCC*⁶. Esse currículo foi apresentado pela Universidade de Harvard com o objetivo de proporcionar que a computação fosse ensinada em um contexto de estímulo à criatividade. A ferramenta principal de apoio às práticas educacionais propostas neste currículo é o Scratch. O Scratch é uma ferramenta de programação em blocos que permite que sejam criadas animações e diversas outras soluções através de conceitos que envolvem a construção de algoritmos. O CCC é destaque principalmente por conta do Scratch ser uma das principais ferramentas utilizadas para estimular o PC no mundo [91]. As unidades de ensino são divididas em cinco partes e os conceitos abordam desde a construção de algoritmos (passo a passo), até a construção de jogos mais elaborados nas unidades mais avançadas. Os conceitos de ensino são divididos basicamente em três eixos: conceitos essenciais (algoritmos); práticas essenciais (construção e avaliação); e perspectivas (impactos da Ciência da Computação na sociedade).

No Brasil, podemos destacar as diretrizes apresentadas pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC⁷), que apresenta a computação como uma ciência que possui um

⁵ECS: <https://www.exploringcs.org/>

⁶CCC: <https://creativecomputing.gse.harvard.edu/>

⁷SBC: <https://sbc.org.br/documentos-da-sbc/send/131-curriculos-de-referencia/1177-diretrizes-para-ensino-de-computacao->

conjunto de fundamentos e princípios que organizam de forma sistematizada parte de um conhecimento importante para a humanidade. Diante disso, descrevem a essência da Ciência da Computação como um conhecimento usado e disseminado há décadas para resolução de problemas em diversos contextos, que precisa ser estimulada e desenvolvida, a partir do PC, desde a educação básica. A SBC destaca a divisão dos conceitos da Ciência da Computação em três eixos: Cultura Digital, Mundo Digital e PC. No eixo do PC, são definidas três habilidades essenciais a serem estimuladas: abstração, análise e automação [86].

A partir das definições apresentadas pela SBC, é destaque o Currículo de Referência em Tecnologia e Computação elaborado pelo Centro de Inovação na Educação Brasileira (CIEB⁸); e o Currículo Cidade (CD⁹) do estado de São Paulo, ambos com o objetivo de fortalecer as normas e estabelecer práticas a partir das definições apresentadas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC¹⁰).

O currículo do CIEB, em apoio à implementação das orientações da BNCC, segue definições muito parecidas com as diretrizes da SBC, acrescentando uma nova competência ao eixo temático PC – a competência Reconhecimento de Padrões. O currículo é direcionado ao ensino infantil e fundamental e apresenta a mesma subdivisão de eixos citada pela SBC anteriormente. Esse currículo destaca que cada uma das atividades a serem realizadas em sala de aula devem obedecer ao seu nível de maturidade, fortalecendo a ideia de que conceitos fundamentais devem ser trabalhados antes de conceitos muito específicos voltados a ferramentas da Ciência da Computação. O destaque importante para este currículo é a possibilidade de contribuir, de maneira colaborativa, com os materiais propostos [30].

Como é possível observar, são várias as definições curriculares no Brasil e no mundo. No entanto, embora sejam diversas, elas corroboram com um ideal de comum entendimento: a necessidade de se estimular conceitos da Ciência da Computação e habilidades do PC com o objetivo de estimular a capacidade de resolução de problemas. Outro ponto de destaque é a divergência entre as competências do PC computacional discutidas, essa é uma característica ainda bastante presente em diversos trabalhos da literatura. No entanto, podemos observar a convergência dos currículos com o estímulo de quatro principais macros competências do PC e dizem respeito à capacidade de entender, planejar, executar e observar.

⁸CIEB: <https://curriculo.cieb.net.br/>

⁹CD: <http://portal.sme.prefeitura.sp.gov.br/Portals/1/Files/47275.pdf>

¹⁰BNCC: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>

3.3 Pensamento Computacional e a Matemática

Um dos grandes desafios encontrados no ensino de Matemática é fazer com que os alunos entendam que os processos didáticos em torno desta disciplina não são apenas os que envolvem a ação de encontrar respostas corretas para problemas, mas também o de entender que existem várias possibilidades para chegar a uma solução [63]. Para alcançar este objetivo, metodologias que consideram um aprendizado com base na resolução de problemas têm auxiliado os alunos a entenderem que a Matemática não é apenas repetição de procedimentos pré-concebidos [97]. No entanto, alguns problemas são destacados no processo de ensino e aprendizagem desta disciplina por resolução de problemas e torna-se necessário aprimorar constantemente as técnicas usadas [94].

A literatura destaca que aprender a resolver problemas é uma tarefa complexa, mas que é um processo bastante eficaz para possibilitar que os alunos aprendam a lidar com situações do cotidiano [47]. Santos [92] destaca algumas estratégias para estimular a resolução de problemas na Matemática, dentre elas: buscar padrões; fazer deduções; fazer generalizações; trabalhar com correlações; e construir gráficos. No entanto, as atividades comumente utilizadas em sala de aula são concisas e com objetivos muito específicos – baseados em conteúdos previamente ministrados. O que faz com que essas atividades muitas vezes deixem de colocar em prática conceitos importantes para estimular a resolução de problemas [98].

Um dos últimos exames do PISA, responsável por medir a capacidade de resolver problemas de alunos em todo o mundo, realizado em 2018, apontou que o Brasil tem muito a melhorar e que os alunos avaliados não possuem o conhecimento mínimo necessário em Matemática, apresentando resultados abaixo da média global. Esses resultados nos levam a refletir sobre quais fatores estão influenciando esses resultados [33]. Neste sentido, com o objetivo de contornar as dificuldades encontradas na disciplina de Matemática, pesquisadores têm avaliado o impacto da incorporação do PC, de maneira interdisciplinar à Matemática, para estimular a resolução de problemas [9].

O impacto de práticas interdisciplinares que consideram o PC em conjunto com a Matemática pode ser observado, de maneira positiva, no estudo conduzido por Lewis e Sha [64]. Nesse estudo, os autores propuseram que exercícios de Matemática fossem resolvidos com apoio da ferramenta Scratch e identificaram crescimento no interesse dos

alunos em solucionar os exercícios com o auxílio da ferramenta. No entanto, constataram que as dificuldades encontradas na disciplina de Matemática refletiam negativamente no entendimento dos conceitos computacionais por parte dos alunos, especificamente os que estavam relacionados com a programação de computadores. Um comportamento semelhante foi identificado por Setti et al. [96]; e embora os autores tenham relatado um crescimento do interesse por parte dos alunos, eles identificaram as mesmas dificuldades no entendimento de conceitos da Ciência da Computação em alunos com fortes bases Matemáticas.

Este comportamento reflete as discussões conduzidas por Fletcher e Lu [66], onde os autores destacam que é necessário um entendimento prévio dos conceitos computacionais antes da aplicação de estratégias direcionadas ao ensino de programação, por exemplo. Neste sentido, estudos passaram a considerar abordagens de estímulo ao PC, em disciplinas do ciclo básico de ensino, com o apoio da Computação Desplugada [54].

A Computação Desplugada, como já mencionado neste documento, tem como objetivo ensinar computação sem o uso de computadores, fornecendo um entendimento conceitual e prático sobre as técnicas que a computação utiliza para solucionar problemas. Esta abordagem é conduzida por meio de atividades lúdicas e os impactos positivos ocasionados por ela são refletidos na prática, como constatado no estudo conduzido por Bulcão et al. [17]. Nesse estudo, os autores propõem atividades desplugadas para alinhar as práticas metodológicas da disciplina de Matemática aos descritores avaliativos fornecidos e medidos pelo Sistema de Avaliação do Ensino Básico (SAEB¹¹). De acordo com os autores, a metodologia possibilitou que os alunos assimilassem conceitos que envolvem as competências do PC para resolução de problemas, tais como: algoritmos e reconhecimento de padrões.

As relações existentes entre as competências do PC e as competências estimuladas pela Matemática caminham lado a lado e apresentam uma forte relação [70; 26; 23; 44]. Essa relação é evidente e, após a homologação da BNCC, o estímulo ao PC em conjunto com a disciplina de Matemática passou a ser considerado como essencial para que os alunos possam desenvolver competências para resolução de problemas. De acordo com a BNCC, a disciplina de Matemática deve proporcionar o entendimento de conceitos e procedimentos para estimular o PC, com o objetivo de proporcionar que os envolvidos possam conceber

¹¹SAEB: <http://portal.inep.gov.br/educacao-basica/saeb>

soluções para problemas em diversos contextos [15].

3.4 Aprendizagem Baseada em Problemas

A definição de aprendizagem, de acordo com as discussões trazidas por Campos [18], é o processo pelo qual um conhecimento é modificado em resposta a uma intervenção a qual o indivíduo é submetido. No entanto, diferentes perspectivas podem ser atribuídas ao processo de aprendizagem. Bandura [8], sob uma perspectiva cognitiva da aprendizagem, destaca que os indivíduos não se limitam apenas a reagir a estímulos do meio. O autor ainda enfatiza que o processo cognitivo de aprendizado passa também pela interpretação desses estímulos.

Piaget [81], na mesma linha de pensamento cognitivista, destaca que o processo de aprendizagem se dá a partir da construção do conhecimento, entendendo e interpretando o mundo. De acordo com o autor, dois processos principais são considerados na construção do conhecimento: assimilação e acomodação. O processo de assimilação diz respeito à interiorização e decodificação de um evento por parte do indivíduo e o relacionamento desse evento com conceitos pré-estabelecidos. O processo de acomodação, por sua vez, diz respeito à interpretação de um evento anterior de modo a modificá-lo de acordo com novos dados.

Na prática, um exemplo seria uma criança entender um avião como um pássaro pelo fato de ele estabelecer voo. No entanto, à medida que são apresentados mais eventos e o indivíduo passa a assimilar mais informações, naturalmente ele passará a entender o avião e o pássaro com distinção. Com o passar do tempo e entendimento de novos conceitos, estabelecer voo passará a ser entendido apenas como uma característica comum entre o avião e o pássaro.

Piaget estabelece três tipos de conhecimentos: conhecimento físico; conhecimento lógico-matemático; e conhecimento social-convencional. No que diz respeito ao conhecimento físico e social-convencional, eles podem ser caracterizados a partir de uma fonte de informações advindas do mundo externo. O conhecimento lógico-matemático, por sua vez, pode ser caracterizado pelas relações mentais de cada indivíduo construídas subjetivamente. Sendo assim, não sendo caracterizado apenas por informações advindas do mundo externo, mas também a partir das associações cognitivas estabelecidas a partir de observações. Por fim, a definição do conhecimento lógico-matemático apresentado leva a

uma ideia de que os conceitos matemáticos são os mesmos, mas a forma como os indivíduos utilizam-nos pode ser subjetiva – influenciada pelo espaço social ao qual o indivíduo está inserido.

De modo a caracterizar as fases do desenvolvimento cognitivo do indivíduo, Piaget define períodos de desenvolvimento: sensório-motor; pré-operatório; operações concretas; e operações formais. Especificamente sobre o estágio de operações concretas, é nele em que o indivíduo é capaz de desenvolver muitas das principais habilidades primordiais à vida adulta. De acordo com as discussões apresentadas pelo autor, é neste estágio em que o uso da lógica apresenta destaque. Além disso, é destaque também a capacidade do indivíduo em realizar associações e desenvolver a abstração. Esta fase de desenvolvimento compreende o período de 7 a 12 anos. Na fase de operações formais (acima dos 12 anos), entende-se que o indivíduo já é capaz de abstrair e usar lógica para resolução de problemas. E como dito anteriormente, problemas estão relacionados com o nosso cotidiano e diz respeito às experiências pela qual passamos diariamente e precisamos lidar [80].

Neste sentido, de modo a permitir que o processo de assimilação de conceitos teóricos e práticos seja realizado de maneira proveitosa pelo indivíduo, podemos destacar a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) [109]. A ABP é amparada pelos princípios da abordagem construtivista e o ponto de partida para promover o aprendizado são situações problema. O aprendizado por meio de situações problema surge de modo a permitir que o aluno confronte conceitos pré-estabelecidos com novos conteúdos a serem aprendidos – possibilitando que ele se debruce sobre as relações cognitivas existentes entre o que ele já conhece e o que está aprendendo [43; 11; 34].

Diante do exposto, temos o PC como uma abordagem para promover o estímulo à resolução de problemas através do desenvolvimento de competências importantes a todos os seres humanos. Logo, faz com que seja necessário que abordagens baseadas na primeira ou segunda vertente de estímulo ao PC explorem os contextos reais do cotidiano para aplicação de problemas relevantes à aprendizagem do aluno, estimulando-os a construir conhecimento por meio de novas experiências. Não apenas sendo repetidores de procedimentos pré-estabelecidos por meio de um método de ensino baseado na repetição de técnicas já existentes.

No contexto da disciplina de Matemática, é necessário fazer com que os alunos entendam

que os processos didáticos em torno dessa disciplina e da construção do conhecimento lógico-matemático não estão relacionados apenas com a ação de encontrar respostas corretas para problemas, mas também com o desenvolvimento da capacidade de entender que existem várias possibilidades para chegar a uma solução e uma solução pode ser reaproveitada para problemas semelhantes em contextos diferentes [63].

Sendo assim, o desenvolvimento de competências do PC, como estratégia para melhorar a capacidade de resolução de problemas, surge como uma alternativa que deve ser explorada no contexto de desenvolvimento de habilidades essenciais a qualquer indivíduo.

3.5 Resumo do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados os conceitos essenciais para entendimento da pesquisa conduzida e apresentada neste documento. Inicialmente, foram discutidos os conceitos em torno do PC e suas competências. Em seguida, como estão sendo propostos os currículos escolares ao redor do mundo para incorporar práticas de estímulo às competências do PC no dia a dia escolar. E por fim, discutimos as relações existentes entre as duas temáticas principais deste estudo: PC e Matemática como estratégias para promover o aprendizado baseado em problemas. No próximo capítulo serão apresentados os trabalhos relacionados com o contexto de pesquisa aqui apresentado.

Capítulo 4

Trabalhos Relacionados

Este capítulo apresenta os resultados da revisão sistemática da literatura no contexto de pesquisa descrito neste trabalho. Ao longo das próximas seções iremos tratar sobre os objetivos em torno da condução da revisão, a metodologia utilizada para seleção e exclusão dos trabalhos relacionados e os resultados alcançados.

4.1 Objetivo

O propósito desta etapa de pesquisa foi identificar iniciativas na literatura que abordassem o estímulo às competências do PC através de práticas interdisciplinares na disciplina de Matemática no ensino fundamental, levando em consideração às principais práticas voltadas às vertentes comumente apresentadas na literatura: i) estímulo ao PC por meio de estratégias diretamente ligadas à Ciência da Computação; ii) e o estímulo ao PC por meio de estratégias interdisciplinares. Além disso, entender como essas propostas apresentadas na literatura se comportam quanto aos principais problemas que impossibilitam a disseminação de algumas metodologias: i) a necessidade de infraestrutura técnica/tecnológica adequada por parte das escolas; ii) e a dificuldade em conduzir capacitações de professores para lidarem com abordagens que requerem conhecimentos muito específicos da Ciência da Computação.

4.2 Metodologia de Revisão

O processo de revisão sistemática da literatura tem como premissa a identificação de trabalhos relevantes no contexto de pesquisa a ser investigado. Além disso, deve fornecer uma perspectiva visual de como se dá a organização da temática analisada, possibilitando a identificação de lacunas de pesquisa que podem endereçar avanços científicos relevantes. Em um estudo de revisão sistemática da literatura, uma das atividades principais é a categorização dos trabalhos de forma que eles possam ser utilizados para responder questões de pesquisa previamente definidas. Para condução desta revisão, o protocolo proposto por Petersen et. al. [79] foi considerado.

Para condução do estudo de revisão, inicialmente definimos as questões de pesquisa e as *strings* de busca para bases no contexto da língua portuguesa brasileira e inglesa. As bases consultadas foram: ACM Digital Library, IEEEXplorer, ScienceDirect, SpringerLink, CAPES, RBIE, SBIE, WIE e WEI. Como referência, utilizamos o intervalo de trabalhos publicados entre os anos de 2017 e 2021. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão a partir dos títulos e resumos, 50 trabalhos foram lidos em sua totalidade, resultando em 10 trabalhos considerados relevantes para os nossos objetivos (ACM Digital Library: 2; IEEEXplorer: 1; e SpringerLink: 7).

Para maiores detalhes sobre o protocolo de revisão o Apêndice F pode ser consultado.

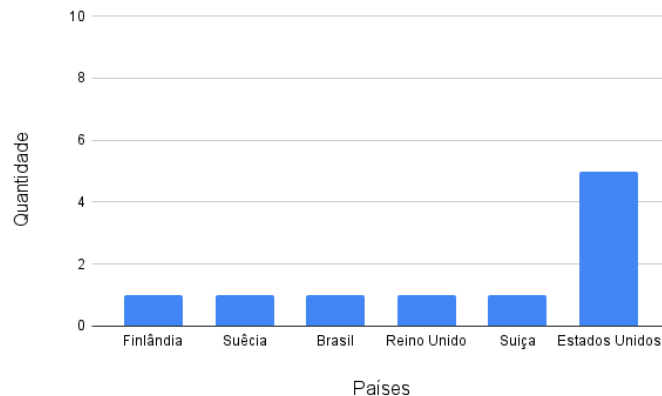
4.3 Resultados

Esta seção detalha os resultados alcançados a partir do estudo de revisão sistemática executado. Serão apresentados, inicialmente, os resultados que englobam a caracterização dos trabalhos, levando em consideração algumas variáveis mais gerais, tais como: países onde os trabalhos foram conduzidos; ano de publicação; e veículos de publicação. Após a visão geral dos trabalhos, serão apresentados os resultados mais específicos em resposta às questões de pesquisa definidas no protocolo de revisão.

4.3.1 Caracterizações Gerais

A distribuição dos países onde os estudos foram realizados pode ser observada na Figura 4.1. Como podemos perceber, os Estados Unidos lideram o número de pesquisas que consideram o desenvolvimento do PC em conjunto com a disciplina de Matemática (cinco trabalhos).

Figura 4.1: Quantidade de trabalhos por país.



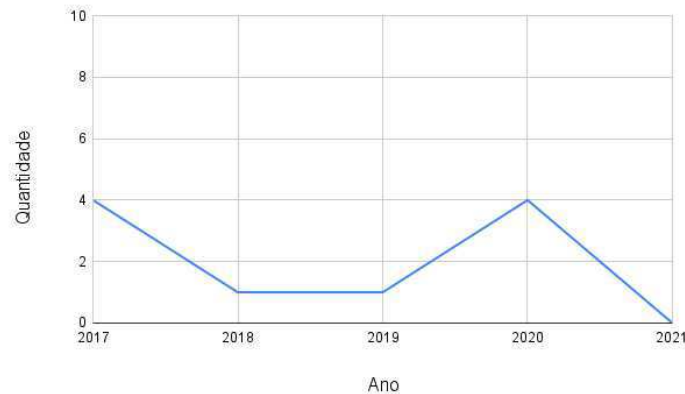
Os demais países seguem com um trabalho cada (Finlândia, Suécia, Brasil, Reino Unido e Suíça). Este resultado não é uma surpresa, tendo em vista que as organizações americanas têm exercido forte influência na disseminação de estratégias para o desenvolvimento do PC e da Ciência da Computação - a exemplo do CSTA (do inglês, *Computer Science Teachers Association*¹). Além disso, os principais currículos explorados na literatura são propostos por instituições americanas, assim como o *Computer Science Framework - K12* e o *Creative Computing Curriculum - CCC*. Outro ponto importante é que a reformulação do currículo escolar americano, para proporcionar o ensino de Ciência da Computação, é algo que vem sendo gradativamente implementado ao longo dos últimos anos; o que fortalece os esforços para concepção e experimentação de metodologias de ensino alinhadas aos objetivos curriculares já discutidos.

No que diz respeito à concentração anual de publicações dos trabalhos selecionados, podemos observar a Figura 4.2. A distribuição dos trabalhos indica um padrão de picos e vales bastante homogêneos. No entanto, é possível observar que a maior parte dos trabalhos selecionados foram publicados nos anos de 2017 e 2020 (quatro trabalhos em cada ano, oito

¹CSTA: <https://www.csteachers.org/>

no total). Além disso, considerando as definições de busca realizadas, é válido destacar que nenhuma publicação foi identificada no ano de 2021.

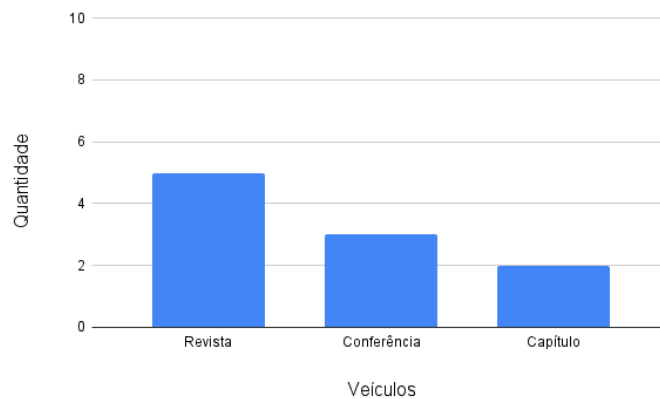
Figura 4.2: Quantidade de trabalhos por ano.



Ao observar o padrão de distribuição, embora tenham sido considerados apenas os últimos cinco anos, percebemos que logo após os picos de publicações nos anos de 2017 e 2020, o número de trabalhos publicados tende a cair. O que pode ter ocorrido neste cenário é que a vertente interdisciplinar de desenvolvimento do PC pode estar sendo menos explorada e isso pode estar impactando os ciclos de publicação de grupos de pesquisa que se debruçam sobre essa vertente. Neste sentido, é válido destacar que a maior parte dos estudos conduzidos têm como público-alvo professores e alunos de escolas regulares que precisam se disponibilizar para participarem das formações, de modo a possibilitar que as propostas apresentadas possam ser validadas. Diante disso, o início da pandemia (COVID19), em 2020, pode ter impactado estudos de médio e longo prazo – já que as escolas migraram para o modelo remoto durante todo ano de 2020 e 2021.

A Figura 4.3 mostra a distribuição dos veículos onde os trabalhos selecionados foram publicados. Como é possível observar, a maior incidência de publicações se dá em revistas, com 50% dos trabalhos publicados (5 de 10 trabalhos). Em complemento, 30% dos trabalhos foram publicados em conferências (3 de 10 trabalhos) e 20% foram publicados como capítulos de livros (2 de 10 trabalhos). Outro ponto a ser observado diz ao maior número de trabalhos publicados em revistas, o que nos leva a indicação de estudos mais robustos – principalmente no que diz respeito à amostra analisada.

Figura 4.3: Quantidade de trabalhos por veículo de publicação.



Uma observação importante sobre os capítulos de livros: é que eles tinham sido considerados nos critérios de exclusão definidos inicialmente nesta revisão. No entanto, dois trabalhos lidos por completo possuíam uma aderência tão relevante ao contexto de pesquisa que removemos os capítulos de livros dos critérios de exclusão; de modo a analisarmos mais a fundo as iniciativas propostas nos dois casos identificados.

4.3.2 Caracterizações Específicas

Para tratar as características específicas dos trabalhos selecionados, organizamos os resultados divididos a partir das questões de pesquisa definidas no protocolo de revisão. Cada característica discutida a seguir leva em consideração o ponto chave da questão a ser respondida. Dentre esses pontos chave podemos destacar: as vertentes metodológicas; o público-alvo; o modelo de disseminação da proposta; as competências do PC estimuladas; o conteúdo da Matemática abordado; e as estratégias de validação consideradas (qualitativa e quantitativa). Na sequência, apresentaremos os resultados de acordo com cada questão de pesquisa formulada.

Quais as vertentes metodológicas consideradas nestes estudos?

A respeito das vertentes de desenvolvimento do PC discutidas ao longo deste trabalho, podemos observar a Tabela 4.1. Como é possível perceber, dentro do contexto de pesquisa estabelecido nesta revisão, 50% dos trabalhos foram caracterizados por estratégias que

não estão diretamente relacionadas com o ensino de conceitos específicos da Ciência da Computação. Essas estratégias tendem a trabalhar com atividades que não estão diretamente relacionadas com o uso do computador (e.g. programação e robótica). Por outro lado, 30% dos trabalhos consideram o uso de estratégias por computação, essas estratégias estão focadas no ensino de programação e consideram diversas ferramentas para o desenvolvimento de habilidades do PC (e.g. Scratch, Blueboot e Code.org). Em complemento, destacamos dois trabalhos que abordam atividades híbridas (20% da amostra selecionada). Ou seja, consideram o uso dos dois tipos de abordagens.

Tabela 4.1: Vertentes das estratégias metodológicas.

Vertentes	Total	Referências
Com computador	3	Niemelä et al. (2017); Ahmed et al. (2020) e Gleasman e Kim (2020);
Sem computador	5	Costa et al. (2017); Djurdjevic-Pahl et al. (2017); Waterman, Goldsmith e Pasquale (2019); Rich, Yadav e Larimore (2020) e Komm et al. (2020)
Híbrido	2	Sung, Ahn e Black (2017) e Kale et al. (2018)

A principal ferramenta que identificamos nos trabalhos selecionados foi o Scratch, ferramenta para programação em blocos amplamente adotada em estudos voltados para o estímulo de habilidades do PC a partir de conteúdos específicos da Ciência da Computação [76; 2; 45]. Mesmo os trabalhos que consideram as duas vertentes (abordagem híbrida), é predominante o uso dessa ferramenta [100; 57]. No entanto, nas abordagens híbridas, podemos destacar o uso de estratégias por computação desplugada utilizando papel e caneta – descritas como uma atividade *low-embody* por Sun, Ahn e Black [100]. De acordo com os autores, atividades *low-embody* são atividades que apresentam um nível de imersão computacional baixo em relação a atividades *full-embody*, caracterizadas pela alta imersão computacional dos alunos com conceitos da Ciência da Computação e estímulo às competências do PC. Dentro desse contexto, atividades *full-embody* estão relacionadas com o uso de ferramentas computacionais, como o próprio Scratch - utilizada pelos autores em seu estudo.

Por outro lado, os trabalhos selecionados que abordam a vertente sem uso do computador apresentam uma maior variabilidade de atividades para estímulo às competências do PC no contexto da disciplina de Matemática [26; 37; 104; 87; 59]. Dentro deste nicho, podemos destacar o estudo conduzido por Komm et. al. [59]. Nesse estudo, os autores propõem o que denominam como “Logo Desplugado” (do inglês, *Logo Unplugged*). A proposta dos autores

nada mais é do que uma versão da tão conhecida ferramenta para ensino de conceitos básicos sobre algoritmos e programação denominada Logo, criada por Seymour Papert [99].

Embora as atividades no contexto de estímulo às competências do PC sem uso do computador sejam mais variadas, os autores corroboram com alguns ideais em comum: a amplitude interdisciplinar é mais importante do que aprender a programar; e que é necessário que professores de Matemática aprendam e pratiquem PC em suas turmas desde as séries iniciais. Isso nos leva a uma percepção de como podemos melhorar a assimilação de conceitos que envolvem o PC e conteúdos tradicionalmente ministrados na disciplina de Matemática. Além disso, com base nos trabalhos, em maior número, focados em estratégias sem o uso de computador e híbridas, percebemos que existe um esforço comum de modo a permitir que exista uma sequência natural de estímulo ao PC. Onde, inicialmente, entendesse que devem ser estimuladas competências essenciais e posteriormente, a partir da assimilação dessas competências essenciais, adentrar em conteúdos mais específicos da Ciência da Computação – como a programação.

Qual o público alvo das estratégias metodológicas propostas?

Como citamos anteriormente, as estratégias metodológicas de estímulo ao PC possuem dois públicos distintos dentro de um mesmo contexto organizacional (professores e alunos). A Tabela 4.2 apresenta a caracterização dos estudos com base no público-alvo ao qual as propostas de estímulo ao PC foram apresentadas. Como podemos observar, o foco da preparação e apresentação das propostas são os professores (60% dos trabalhos selecionados), tendo em vista que seis trabalhos estão estritamente direcionados para capacitação destes profissionais [76; 57; 2; 59; 45; 87]. Em contrapartida aos trabalhos como foco na capacitação de professores, três trabalhos consideram como público-alvo apenas os alunos (30%) [26; 37; 100]. Em complemento, apenas um trabalho apresenta direcionamento duplo (professores e alunos) [104].

Tabela 4.2: Público alvo das estratégias metodológicas.

Público	Total	Referências
Professores	6	Niemelä et al. (2017); Kale et al. (2018); Ahmed et al. (2020) Komm et al. (2020); Gleasman e Kim (2020) e Rich, Yadav e Larimore (2020)
Alunos	3	Costa et al. (2017); Djurdjevic-Pahl et al. (2017) e Sung, Ahn and Black (2017)
Híbrido	1	Waterman, Goldsmith e Pasquale (2019)

Ao observar o foco dos trabalhos centrados no professor, percebemos que, quando se tratam de estratégias interdisciplinares, é necessário invertermos a ordem de implantação das propostas, principalmente por se tratarem de estratégias que serão colocadas em prática no dia a dia em sala de aula. Diante disso, considerando o professor como fio condutor e mediador do processo de aprendizagem, se faz necessário preparar esses profissionais para que eles se sintam aptos para construir uma experiência mais proveitosa para os alunos e mediar o conteúdo apresentado em sala de aula com mais confiança. Além disso, que eles percebam a relevância de estimular as competências do PC nos alunos [100].

As estratégias interdisciplinares precisam considerar o conteúdo a ser abordado em sala de aula em paralelo às competências do PC a serem desenvolvidas e, diante desse cenário, o mais viável a se fazer é trazer o professor para o centro das discussões a respeito das abordagens a serem implementadas em sala de aula, tendo em vista que eles são os especialistas no conteúdo a ser ministrado. Se ele não percebe a importância da mudança da abordagem praticada em sala de aula, se torna cada vez mais difícil contornar problemas relacionados com a alta carga de trabalho exercida por parte desses profissionais, que tem criado barreiras para validação e implantação de propostas de estímulo ao PC em sala de aula [2; 26; 37].

Kale et al. [57] discutem sobre transacionar o foco dos estudos em torno do PC para que entendamos que o professor ainda é o principal responsável pela mediação dos conteúdos apresentados aos alunos nos modelos mais tradicionais de ensino. Os autores destacam que: auxiliar os professores no estabelecimento de relações entre o conteúdo a ser ministrado e os conceitos relacionados ao PC irá auxiliá-los em um entendimento mais amplo das possibilidades existentes e disponíveis para tornar os alunos melhores resolvedores de problemas. Além disso, a partir de abordagens centradas nos professores, eles se sentem mais confortáveis para disseminação das propostas em sala de aula e isso impacta diretamente em alunos mais engajados.

Waterman, Goldsmith e Pasquale [104], autores do único trabalho selecionado com público-alvo híbrido (professores e alunos), trazem em sua proposta um plano para o desenvolvimento do PC em três fases distintas. A primeira fase denominada *exist*, tem por objetivo incorporar jogos, denominados como *learn oportunities games*, em conjunto com conceitos que já são transmitidos na disciplina de Matemática e podem ser relacionados com

as competências do PC. De acordo com a proposta, a segunda fase, denominada *enchanse*, tem como objetivo fortalecer as habilidades do PC com novos jogos – não diretamente relacionados às atividades já colocadas em prática na disciplina ou com os conteúdos ministrados. Por fim, na última fase, denominada *extend*, o objetivo é permitir que os alunos desenvolvam suas próprias atividades (jogos), abordando as temáticas da disciplina de Matemática.

As propostas apresentadas por esses autores fortalecem a necessidade de, em um primeiro momento, mostrar para os professores que a ideia por trás do PC não foge de suas especialidades e que é possível desenvolver as habilidades sem a necessidade de estratégias muito específicas voltadas para conteúdos muito densos da Ciência da Computação. Como podemos observar, em estratégias interdisciplinares, o foco principal tem sido mostrar para os professores que o conteúdo que eles ministram tem fortes relações com as competências do PC. E de maneira gradativa, incentivá-los a aumentar a imersão dos alunos e fazerem com que eles experimentem, após a assimilação dos conceitos básicos que envolvem o PC, trabalhar com estratégias mais técnicas. Além disso, percebemos que é preciso respeitar a curva de aprendizado do próprio professor, de modo que eles sintam confiança no manejo das atividades propostas aos alunos.

Quais as competências do PC estimuladas?

O PC, como descrito anteriormente, diz respeito às competências usadas para resolução de problemas. Logo, procuramos entender, a partir dos trabalhos selecionados, quais competências estavam sendo colocadas em prática e como elas se relacionam. A Tabela 4.3 traz a relação de competências identificadas nesses trabalhos.

Ao observar os resultados, percebemos que a variabilidade de competências consideradas nos estudos é bastante considerável. No entanto, algumas competências apresentam maior evidência. As competências em maior evidência identificadas nos trabalhos selecionados foram: abstração (6), algoritmos (6), decomposição (5), automação (3), reconhecimento de padrões (3) e avaliação (2). A competência resolução de problemas (2) é citada em dois trabalhos. No entanto, pode ser considerada uma habilidade desenvolvida em consequência ao estímulo de competências relacionadas ao PC [26; 2]. Ou seja, o estímulo às competências do PC impacta a capacidade de resolução de problemas dos envolvidos a partir das práticas

interdisciplinares propostas.

Tabela 4.3: Competências estimuladas nas estratégias metodológicas.

Competências	Total	Referências
Abstração	6	Niemelä et al. (2017); Djurdjevic-Pahl et al. (2017); Costa et al. (2017); Waterman, Goldsmith e Pasquale (2019); Rich, Yadav e Larimore (2020) e Komm et al. (2020)
Algoritmos	6	Djurdjevic-Pahl et al. (2017); Costa et al. (2017); Kale et al. (2018); Waterman, Goldsmith e Pasquale (2019); Ahmed et al. (2020) e Komm et al. (2020)
Análise de Dados	2	Niemelä et al. (2017) e Costa et al. (2017)
Automação	3	Niemelä et al. (2017); Costa et al. (2017) e Kale et al. (2018)
Avaliação	2	Djurdjevic-Pahl et al. (2017) e Komm et al. (2020)
Colaboração	1	Ahmed et al. (2020)
Coleta de Dados	1	Costa et al. (2017)
Criatividade	1	Ahmed et al. (2020)
Decomposição	5	Djurdjevic-Pahl et al. (2017); Sung, Ahn and Black (2017); Costa et al. (2017); Kale et al. (2018) e Rich, Yadav e Larimore (2020)
Debugging	1	Rich, Yadav and Larimore (2020)
Generalização	1	Komm et al. (2020)
Habilidades de comando	1	Sung, Ahn e Black (2017)
Lógica	1	Djurdjevic-Pahl et al. (2017)
Modelagem de Dados	1	Waterman, Goldsmith e Pasquale (2019)
Paralelização	1	Costa et al. (2017)
Pensamento Crítico	1	Ahmed et al. (2020)
Pensamento Procedural	1	Sung, Ahn e Black (2017)
Pensamento Sequencial	1	Sung, Ahn e Black (2017)
Programação	1	Gleasman and Kim (2020)
Representação de Dados	1	Costa et al. (2017)
Reconhecimento de Padrões	3	Djurdjevic-Pahl et al. (2017); Kale et al. (2018) e Rich, Yadav e Larimore (2020);
Resolução de Problemas	2	Costa et al. (2017) e Ahmed et al. (2020)
Simulação	1	Costa et al. (2017) e Waterman, Goldsmith e Pasquale (2019)

Para as demais competências citadas, percebemos que algumas delas apresentam relação com as competências mais referenciadas: programação; habilidades de comando; pensamento procedural e sequencial. Se olharmos para a habilidade de construir algoritmos, em sua essência, o que temos é a caracterização da habilidade de construção de soluções para problemas logicamente interligados e complementares, que podem ser lidos a partir de passos executados sequencialmente. Isso não implica na habilidade programar, por exemplo, mas programar exige que você saiba, inicialmente, pensar em soluções para problemas a partir de algoritmos. O pensamento procedural e sequencial, por sua vez, está mais relacionado com a forma como escrevemos algoritmos e, no contexto da Ciência da Computação, são várias as formas de se escrever algoritmos e essas formas são denominadas paradigmas (e. g. sequencial, procedural, funcional e orientado a objetos) [41].

No que diz respeito à habilidade de programação e comandos, podemos pensar nelas como uma forma de automatizar uma solução [45; 100]. Se algoritmos é uma forma de organizar passos lógicos para resolver problemas; escrever e executar esses passos em

um computador é o que podemos caracterizar como a habilidade de escrever comandos ou programar. Dessa forma, algoritmos existem sem programação, mas programação não existe sem algoritmos. Podemos observar então, que algumas habilidades são essenciais e independem de ferramentas para que sejam assimiladas e desenvolvidas. Neste mesmo sentido, podemos observar a competência avaliação [37; 57]. Essa competência está relacionada com a capacidade de observar algo ou um contexto e fazer observações seguindo critérios de corretude. No contexto do PC, está relacionado com o julgamento de soluções para problemas, principalmente no que diz respeito à eficácia e eficiência das soluções propostas. A competência avaliação, se considerada no contexto da programação, pode se relacionar com a competência *debugging*. Essa competência, por sua vez, diz respeito ao processo de depuração, que visa encontrar e reduzir defeitos em programas (soluções para problemas executáveis por uma máquina e escritas a partir de uma linguagem de programação) [87].

A mesma observação podemos fazer para outras habilidades, tais como: colaboração e paralelização. Ambas possuem a mesma essência e podem ser caracterizadas pelo esforço conjunto de mais de um agente para solucionar um problema. Se pensarmos no contexto de programação de computadores, podemos dizer que a competência paralelização nada mais é que: possibilitar que os recursos de uma máquina sejam usados em simultâneo, de modo a permitir que um problema seja solucionado de maneira mais eficiente. Diante disso, no contexto do nosso dia a dia, podemos fazer paralelização sem estar diretamente dependente de uma máquina? Sim. Fazemos isso diariamente, dividimos nossas atividades (problemas) em diversas partes solucionáveis que podem ser executadas em paralelo/cooperação com mais pessoas. Em qualquer trabalho a colaboração é uma habilidade presente, desde que mais de uma pessoa, em esforço simultâneo, seja responsável por atividades diversas. E que o esforço conjunto para resolver essas atividades possibilite a resolução do problema como um todo.

São várias as habilidades que podem ser estimuladas e que apresentam relação na listagem identificada a partir dos trabalhos selecionados. A diferença é o contexto de aplicação. Ao considerarmos o ensino de conteúdos da Ciência da Computação, iremos nos deparar com uma definição de habilidades muito mais voltada para a utilização de ferramentas e automação, como são as estratégias por programação. Quando falamos de

estratégias menos imersivas no contexto técnico e ferramental da Ciência da Computação, vemos que o modelo de definição das habilidades apresenta uma caracterização mais essencial. Dentro desses contextos, percebemos que as competências do PC não estão relacionadas diretamente com habilidades utilitárias adquiridas a partir da manipulação de ferramentas da Ciência da Computação, mas com habilidades que podem ser desenvolvidas e aprimoradas em qualquer contexto de ensino e assimilada por qualquer pessoa, como já destacado por Wing [106].

Djurdjevic-Pahl et al. [37] discutem sobre as associações existentes entre habilidades utilitárias e habilidades essenciais do PC. Os autores destacam que o PC é uma estratégia para resolução de problemas que deve ser estimulada desde as séries iniciais, especialmente na disciplina de Matemática, por ser uma disciplina comumente presente em todos os anos do ensino fundamental e médio. Além disso, destacam que ensinar programação não é menos importante, mas é de extrema necessidade fazer com que os alunos e professores entendam as competências centrais do PC em sua essência. Para isso, é preciso estimular as competências do PC a partir de atividades mais simples e intuitivas, de modo que elas permitam plena assimilação dos conceitos essenciais relacionados a essas competências.

Quais os conteúdos da Matemática abordados?

Os conteúdos da disciplina de Matemática abordados, de maneira interdisciplinar às competências do PC, nos trabalhos selecionados foram sumarizados e podem ser observados na Tabela 4.4. Ao observar os resultados, é possível identificar que a maioria dos trabalhos (nove trabalhos) consideraram conteúdos relacionados com a geometria [76]; 37; 100 57; 104;2; 59; 45; 87]. Além da geometria, podemos observar a álgebra (quatro trabalhos) e a aritmética (um trabalho). É válido destacar que apenas um trabalho exercita as competências do PC a partir de conteúdos diversos relacionados com as três temáticas citadas (geometria, álgebra e aritmética) [37].

Tabela 4.4: Conteúdo abordado nas estratégias metodológicas.

Conteúdo	Total	Referências
Geometria	9	Niemelä et al. (2017); Djurdjevic-Pahl et al. (2017); Sung, Ahn e Black (2017); Kale et al. (2018); Waterman, Goldsmith e Pasquale (2019) Ahmed et al. (2020); Komm et al. (2020); Gleasman e Kim (2020); Rich, Yadav e Larimore (2020)
Álgebra	4	Niemelä et al. (2017); Djurdjevic-Pahl et al. (2017); Gleasman e Kim (2020); Rich, Yadav e Larimore (2020)
Aritmética	1	Djurdjevic-Pahl et al. (2017)
Probabilidade e Estatística	1	Costa et al. (2017)

Outros conteúdos, de forma mais específica são destaque nos documentos, tais como: conjuntos numéricos (álgebra); coordenadas espaciais (geometria); representação gráfica (geometria); unidades de medida (geometria); operações básicas (aritmética); e frações (aritmética). Além desses, um conteúdo que foge um pouco dos três eixos temáticos principais identificados: probabilidade e estatística. Nesta linha temática, se encontra o trabalho base desta pesquisa de Doutorado; descrito no Capítulo 2.1 deste documento [26] e mapeado a partir das buscas definidas no protocolo de revisão executado nesta etapa de pesquisa.

O que chama atenção nos conteúdos abordados é a forte relação dos trabalhos com a temática de conteúdo que engloba a geometria. Essa temática lida, principalmente, com a essência da Matemática que trata sobre o estudo das figuras e do espaço. Quando discutimos sobre a essência da computação em suas competências, podemos traçar um paralelo entre os conceitos fundamentais da Matemática, pois são a partir das operações básicas que toda a Matemática é fundamentada. Dessa forma, percebemos que as abordagens apresentadas nos estudos selecionados têm seguido uma linha distinta ao da aplicação conceitos essenciais da computação e os conceitos essenciais da Matemática. Ao modo que vemos os trabalhos orientando a prática do PC a partir de competências essenciais, os conteúdos da Matemática considerados nos estudos são mais abrangentes e não diretamente relacionados com os conceitos básicos da disciplina (somar, subtrair, dividir e multiplicar).

Esta relação talvez esteja sendo ocasionado por conta da complexidade que envolve a prática de algumas competências do PC. Nas operações básicas, conseguimos observar uma relação de interdisciplinaridade com a construção de algoritmos e decomposição, por exemplo, tendo em vista que expressões mais complexas, que trabalham as operações básicas, precisam obedecer a uma ordem de prioridade. A aplicação desta ordem de

prioridade necessita que o problema seja decomposto em partes para que resolução das partes seja realizada.

Ao observar a competência abstração, as operações básicas por si só não permitem, a princípio, que essa competência seja estimulada sem que haja uma contextualização real do problema, de modo a permitir que sejam desconsiderados fatos irrelevantes sobre o problema e se estabeleça uma relação de generalização para outros cenários semelhantes ao apresentado – de modo que a mesma estratégia de resolução possa ser aplicada a contextos ainda não conhecidos. A geometria, por outro lado, é uma temática que engloba características da aritmética e da álgebra e pode ser considerada uma disciplina mais abrangente – no que tange ao letramento matemático. Essa abrangência de conteúdos e práticas pode ser o fator de influência na definição dos conteúdos a serem considerados nos estudos selecionados nesta revisão.

Neste contexto, Niemelä et al. [76] propõem, a partir dos resultados de suas intervenções com professores de Matemática, um modelo que estabelece uma trajetória de aprendizagem de competências do PC a partir da complexidade das temáticas da Matemática abordadas, partindo da aritmética e seguindo para conteúdos que englobam álgebra e geometria. O que fortalece nossas percepções que as competências do PC a serem estimuladas podem apresentar dependência de conteúdo da Matemática. Não sendo, algumas delas, praticáveis em temáticas básicas como apenas aprender a somar, subtrair, dividir e multiplicar. Logo, a dependência de conteúdo, de modo a permitir que uma determinada competência possa ser estimulada, pode existir. E isso deve ser considerado para permitir o estímulo às competências do PC de maneira gradativa.

Os autores destacam também que, embora seja preciso considerar essa relação entre competências do PC a ser estimulada e o conteúdo da Matemática a ser ministrado, a Matemática apresenta uma forte correlação entre temáticas com a Ciência da Computação; o que pode ser um facilitador para incorporação de estratégias interdisciplinares de estímulo às competências do PC. Além disso, os autores advertem que abordagens muito específicas exigem conhecimento em Ciência da Computação (programação) e ferramentas computacionais, o que nos leva a pensar sobre a necessidade de se avaliar o contexto escolar para além da figura do professor. Nós precisamos entender os requisitos em um contexto mais amplo, considerando também o conteúdo da Matemática a ser ministrado; e pensar em

atividades para o estímulo de competências condizentes com esses conteúdos [76].

Como as estratégias são validadas?

No que diz respeito às metodologias de avaliação das propostas apresentadas nos trabalhos selecionados neste estudo de revisão, podemos observar a Tabela 4.5. Dentre as definições apresentadas para caracterizar o formato como as propostas foram validadas, percebemos avaliações predominantes qualitativas (60% dos trabalhos). Ou seja, o foco dos trabalhos estava na compreensão de características subjetivas das pessoas participantes das intervenções. É possível destacar também que 30% dos trabalhos consideraram avaliações híbridas (qualitativa e quantitativa) e apenas um trabalho (10%) considerou apenas dados quantitativos dos participantes.

É válido destacar que alguns estudos focados na subjetividade dos participantes observaram os dados do ponto de vista quantitativo. No entanto, embora a análise das informações possa ter sido conduzida de forma quantitativa para os dados coletados a partir de ferramentas qualitativas, como entrevistas e observações, as avaliações dos estudos levantados foram reportadas como qualitativas. Estudos reportados como quantitativos foram caracterizados por avaliações estritamente quantitativas. Ou seja, que não consideram características subjetivas da amostra observada.

Tabela 4.5: Método de avaliação das estratégias metodológicas.

Avaliação	Total	Referências
Quantitativa	1	Sung, Ahn and Black (2017)
Qualitativa	6	Djurdjevic-Pahl et al. (2017); Waterman, Goldsmith e Pasquale (2019); Ahmed et al. (2020); Komm et al. (2020); Rich, Yadav e Larimore (2020) e Kale et al. (2018)
Híbrida	3	Niemelä et al. (2017); Costa et al. (2017); Gleasman e Kim (2020)

No trabalho apresentado por Niemelä et al. [76], os autores propõem um curso no modelo MOOC para avaliação de exercícios interdisciplinares a partir da linguagem de programação Racket. Durante o curso, 206 professores participaram da formação e o objetivo era capacitá-los para que pudessem incorporar práticas voltadas à resolução de problemas matemáticos com a linguagem proposta. Ao final da intervenção, os autores coletaram informações a partir de questionários (escala Likert) e pontos de vista dos professores participantes quanto à viabilidade e complexidade de condução das atividades em sala de aula. Os pontos de vista dos professores foram coletados no modelo de respostas abertas e

as análises realizadas a partir da quantificação dos termos mais frequentes usados por esses professores. Os resultados dos autores apontam que determinados conteúdos, no contexto do ensino de programação, favorecem o estímulo a diferentes competências. Por exemplo, a álgebra apresenta maior relação para a aplicação de conceitos da computação como: funções e variáveis. Por outro lado, a aritmética permite a associação de operações e ordem de prioridade na resolução de problemas por programação. No entanto, embora essas relações tenham sido estabelecidas, os autores destacam alguns pontos de dificuldade relatados pelos professores. O principal é que a Matemática por si só carrega uma relação de complexidade que a torna difícil, isso faz com que os jovens não tenham interesse em Matemática. Logo, experiências com programação, de acordo com os autores, devem ser conduzidas em um contexto menos relacionado com a complexidade que envolve a Matemática.

Ahmed et al. [2], apresenta um conjunto de 11 lições de programação com potencial para serem implantadas no dia a dia da disciplina de Matemática. Os autores ofereceram um curso de treinamento para 28 professores com foco na capacitação de crianças de um a três anos de idade. As ferramentas usadas para cada uma das lições eram diversas: BlueBots, BeeBot, Lego, Scratch Jr e Code.org. As avaliações foram conduzidas de forma qualitativa a partir da organização didática pensada por parte dos professores participantes. Com base nos resultados coletados, os autores utilizaram a técnica denominada Análise Temática para avaliar os dados [16]. A partir das temáticas identificadas, eles concluíram que três atividades apresentam maior potencial para aplicação em sala de aula. O estudo conduzido ressaltou que o baixo conhecimento dos professores em relação a técnicas de programação trouxe limitações para condução de atividades que necessitavam de um maior nível de imersão nos conceitos e ferramentas específicas da Ciência da Computação.

No mesmo contexto de avaliação, com base em temáticas do discurso, Gleasman e Kim [45] conduziram uma intervenção por meio de um curso eletivo ofertado para 10 professores (alunos de um curso de especialização em educação básica). Os autores, em complemento, se debruçaram sobre dados quantitativos a partir da técnica de pré e pós-teste. Essa técnica de coleta de dados quantitativos permite aos pesquisados medirem a assimilação e o aprendizado dos participantes antes e depois das intervenções. Os resultados apontam que, para determinados conteúdos da Matemática, os professores conseguiram propor atividades de programação utilizando o Scratch, com maior facilidade, após as

intervenções. Os resultados foram avaliados utilizando a ferramenta SPSS², para análise dos dados quantitativos, e NVivo 12³ para análise das temáticas qualitativas.

Em Sung, Ahn e Black [100], os autores também utilizam pré e pós-teste em suas avaliações, além de considerarem também o tempo de resolução das atividades propostas em suas intervenções. A técnica de validação usada pelos autores teve como objetivo identificar a que nível houve evolução de conhecimento com os conteúdos ministrados antes e depois da intervenção. As perguntas antes e depois da intervenção são geralmente iguais ou apresentam algumas mudanças contextuais, sem alteração no nível de complexidade. Neste estudo, os autores propuseram um curso de programação para 66 alunos do jardim de infância. O curso teve como principal objetivo permitir que os alunos conseguissem estabelecer relações entre os conceitos em torno da programação de computadores e os conteúdos da Matemática. Embora os autores destaquem a evolução dos alunos, no que diz respeito à capacidade de resolução de problemas, o uso de jogos e programação na educação básica esbarra no conhecimento limitado de alunos e professores sobre conceitos e ferramentas. Logo, faz-se necessário a incorporação da computação nas disciplinas curriculares básicas por abordagens menos dependentes de tecnologia. De modo a maximizar a participação, imersão e assimilação dos conteúdos por parte dos alunos.

Diferentemente dos trabalhos apresentados até então, que consideram a análise qualitativa de temáticas e quantitativa a partir de pré e pós-testes, podemos observar também trabalhos que fazem uso da observação do contexto de intervenção, de modo a validar as estratégias propostas (Observação Qualitativa) [73]. Dentre os trabalhos que consideram essa abordagem de avaliação, são destaques os estudos conduzidos por Waterman, Goldsmith e Pasquale [104]; e Kale et al. [57]. Nas propostas conduzidas pelos autores, considerando atividades sem uso do computador, todo procedimento foi observado de modo a caracterizar o sentimento dos participantes durante as atividades. Waterman, Goldsmith e Pasquale [104] apresentam, ao final de suas avaliações, uma visão sobre a importância em se conduzir atividades menos dependentes de ferramentas, pois elas possibilitam que professores se sintam mais confortáveis para executá-las e os alunos mais engajados. Em complemento, Kale et al. [57] destacam a ajuda que esse tipo de atividade fornece para que os professores

²SPSS: <https://www.ibm.com/br-pt/analytics/spss-statistics-software>

³NVivo 12: <https://www.qsrinternational.com/nvivo-qualitative-data-analysis-software/home>

consigam traçar uma relação entre o PC e a disciplina de Matemática mais concreta.

4.3.3 A PC+ e o Contexto Literário

A proposta metodológica PC+ apresentada neste trabalho tem por objetivo possibilitar que sejam produzidas questões de Matemática que estimulem as competências do PC. Uma de suas características é possibilitar que as atividades possam ser conduzidas sem computador, possibilitando que se tenha maior autonomia para condução das atividades de estímulo. Pois, entende-se que a dependência tecnológica criada por estratégias que adotam práticas de alta imersão computacional tendem a impactar negativamente a motivação dos envolvidos que ainda não possuem o nível de maturidade e conhecimento necessários para sua condução.

Além disso, é uma estratégia proposta com foco no professor como principal responsável por mediar todo o processo a partir de recursos pedagógicos comumente utilizados por esses profissionais em sala de aula. Isso foi pensado para que eles tenham maior autonomia para propor questões que estimulam competências nas mais variadas combinações possíveis. Visto que, a PC+ foi concebida junto com um conjunto de orientações práticas que apoiam esta atividade e proporciona que as competências catalogadas nos exercícios sejam usadas para proporcionar um acompanhamento mais personalizado das dificuldades perante a resolução dos exercícios.

A amplitude de competências adotada pela PC+, permite que o foco de estímulo sejam as competências essenciais do PC. Isso faz com que não seja necessário a utilização de estratégias diretamente relacionadas com conceitos técnicos ou a utilização de ferramentas específicas da Ciência da Computação. Além de permitir que a diversidade de conteúdos, no contexto da Matemática, possa ser trabalhada normalmente ao mesmo tempo em que competências do PC são estimuladas. Logo, não existe distinção sobre quais conteúdos serão usados como referência de estímulo. É possível introduzir as competências do PC em conjunto com temáticas da geometria, álgebra, aritmética, etc.

Em complemento, diferentemente da maior parte dos trabalhos relacionados selecionados, a PC+ apresenta um modelo de validação baseado em níveis de mensuração que envolvem as reações e o aprendizado, por parte dos professores durante a intervenção de capacitação. Além de fornecer indicações dos impactos comportamentais que a proposta pode ocasionar nestes profissionais e dos resultados que a utilização que este modelo de

questão pode trazer para os alunos.

Por fim, o processo de validação se diferencia dos demais trabalhos da literatura, pois busca fornecer evidências do que os professores são capazes de aprender e reproduzir das orientações proposta pela PC+ em termos quantitativos e qualitativos, medindo os impactos antes e depois das intervenções de capacitação e de forma continuada, além do sentimentos provocados pela intervenção.

4.4 Resumo do Capítulo

Neste capítulo apresentamos a etapa de pesquisa que envolveu a condução de uma revisão sistemática da literatura. Essa etapa teve como objetivo sumarizar características de trabalhos no contexto de estímulo ao PC, em paralelo à disciplina de Matemática, no ensino fundamental. Os resultados apontam para trabalhos conduzidos majoritariamente sem a necessidade do uso de computador na formação de professores com conceitos muito específicos da Ciência da Computação. Além disso, por se tratar de estratégias interdisciplinares, o foco das intervenções têm sido os professores, de modo a permitir que eles passem a considerar a importância de desenvolver o PC em suas disciplinas. Em complemento, identificamos que alguns conteúdos da Matemática apresentam maior relação com o estímulo a competências essenciais do PC. Por fim, percebemos que o foco de avaliação das propostas apresentadas têm sido mais subjetivo, de modo a entender características muito mais voltadas para a experiência do indivíduo; ao invés do que, de fato, ele assimilou do conteúdo e consegue levar para ser aplicado em sala de aula. Por fim, situamos a estratégia metodológica PC+ frente aos trabalhos selecionados. No próximo capítulo serão apresentadas as definições teóricas e práticas da proposta de estratégia metodológica de estímulo ao PC denominada PC+.

Capítulo 5

Proposição da Estratégia Metodológica

PC+

Este capítulo apresenta as definições teóricas da estratégia metodológica proposta. O capítulo engloba também a definição conceitual da metodologia e as orientações práticas de modo a possibilitar que os professores e futuros professores possam absorver o conteúdo proposto. Em conjunto às orientações práticas, trazemos exemplos de questões concebidas e catalogadas seguindo as definições da PC+. Esta etapa da pesquisa está relacionada aos seguintes objetivos:

- **OE1:** Propor uma estratégia metodológica que possibilite a integração das competências do PC ao contexto da Matemática, sem a necessidade do uso de computador, a partir de recursos pedagógicos da própria disciplina, tais como as questões usadas para exercitar os conteúdos ministrados.
- **OE2:** Conceber um conjunto de orientações didáticas, teóricas e práticas, para apoiar a capacitação de professores de Matemática de modo que eles possam utilizar a estratégia metodológica em sala de aula e analisar os impactos da utilização dela em seus alunos.

5.1 Bases Teóricas

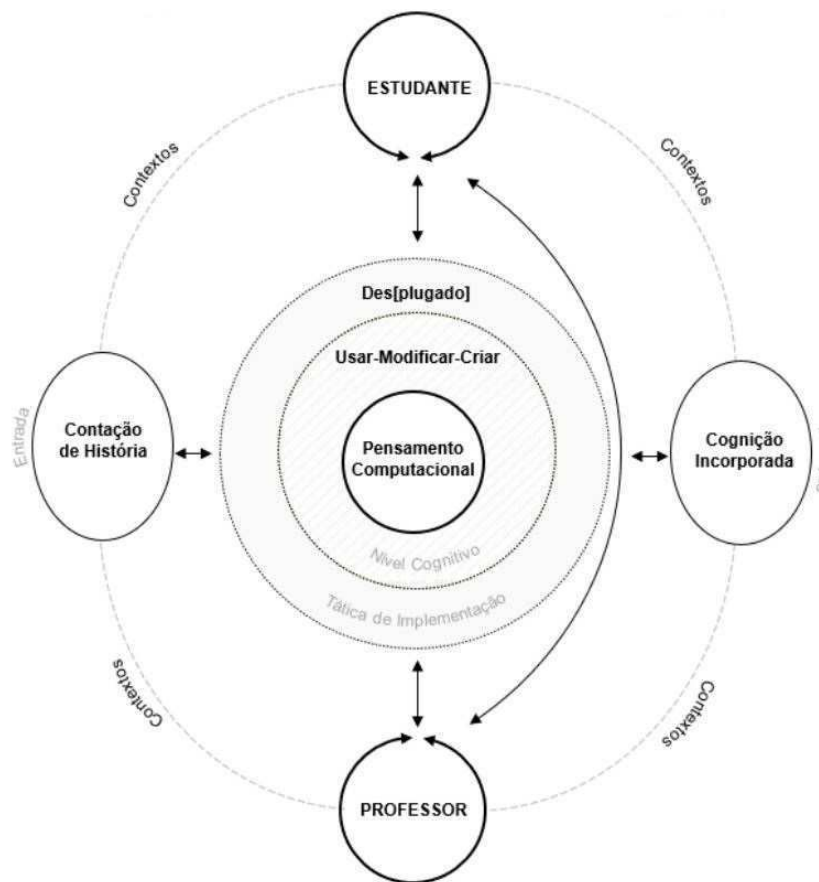
A PC+ foi pensada de modo a dar suporte aos professores e viabilizar que eles possam conduzir atividades de estímulo às competências do PC sem a dependência do uso de laboratórios de informática. Além disso, não necessitem de formações com conceitos específicos da Ciência da Computação que demandem a condução de atividades, para estimular o PC, que fogem do contexto de ensino e especialidades desses professores. Dessa forma, possibilitar que professores possam estimular competências do PC, utilizando o próprio arcabouço da disciplina de Matemática. Seu nome (PC+) faz referência às possibilidades interdisciplinares existentes entre o PC e a disciplina de Matemática (PC + Matemática = PC+), promovendo o ensino de conceitos fundamentais da Matemática somados ao PC.

A visão conceitual da PC+ foi construída com base no modelo de objetos e atores apresentados por França e Tedesco [32]. Na pesquisa conduzida pelas autoras, elas propõem uma abordagem interdisciplinar para estímulo às competências do PC em conjunto com a contação de histórias. A subdivisão dos objetos se dá a partir do estímulo ao PC; definição do nível cognitivo; tática de implementação; recurso de entrada; e interação. Além de destacar os atores envolvidos.

Com base nestas definições, as autoras propõem atividades lúdicas para estímulo ao PC a partir da contação de histórias. As atividades são pautadas em práticas plugadas (alta imersão computacional) e desplugadas (baixa imersão computacional), envolvendo os alunos em contextos reais de modo que eles possam abstrair conceitos complexos do PC a partir da cognição incorporada. Além disso, busca favorecer o aprendizado dos conceitos a partir da utilização, modificação e criação de atividades.

A visão conceitual dos objetos e atores apresentada pelas autoras pode ser observada na Figura 5.1.

Figura 5.1: Visão geral da abordagem com base em contação de histórias proposta por Tedesco et. al. [32]



A PC+ também foi fundamentada a partir de metodologias de ensino tradicionais, visto que é necessário que o conteúdo da disciplina a ser exercitado seja trabalhado com os alunos antes deles serem submetidos às questões concebidas e catalogadas [1]. Logo, o processo de assimilação por repetição de expressões algébricas, por exemplo, continua sendo necessário. Isso, para que o aluno tenha uma base de conhecimentos matemáticos sólida o suficiente para que ele possa lidar com as questões problema concebidas.

A PC+ apresenta também uma forte relação com o construtivismo. Pois, visa expor o aluno a competências que estão diretamente ligadas ao cotidiano, possibilitando que ele realize as interligações necessárias para relacionar o conteúdo aprendido na disciplina de Matemática com as situações problema apresentadas nas questões de acordo com o seu estágio de maturidade. Além disso, a partir das competências do PC postas em prática, têm-se como direcionamento possibilitar que os alunos sejam capazes de construir e adquirir

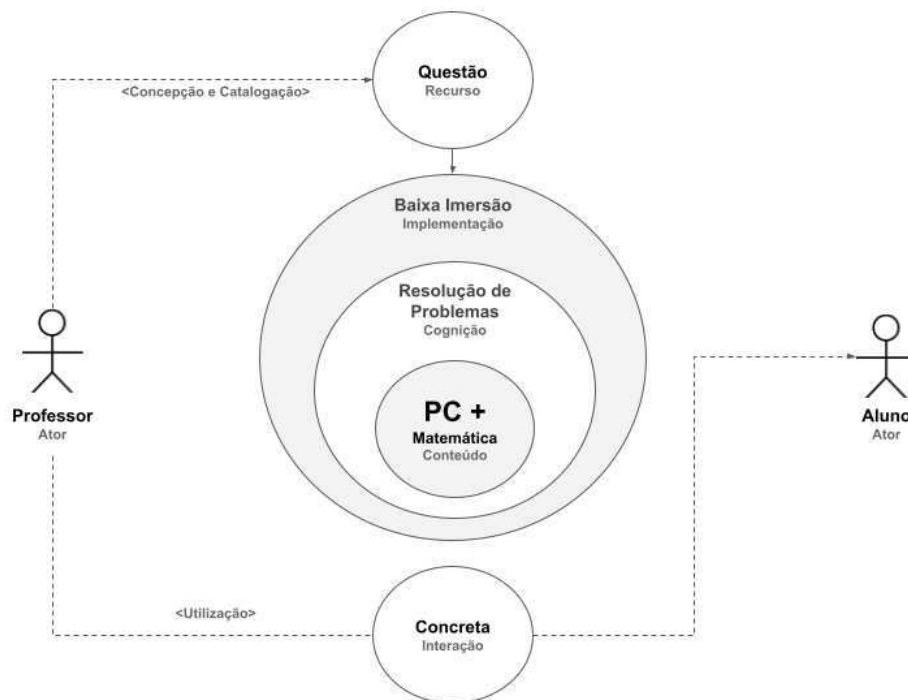
novos conhecimentos, desenvolvendo a capacidade de aprender a aprender no estágio denominado de “operações concretas” – estágio de aprendizagem onde os alunos passam a estarem aptos a resolverem problemas concretos de forma lógica [72].

Em complemento, a PC+ foi pensada com base em metodologias ativas e estejam preparados para lidar com os desafios a partir do desenvolvimento de cinco atividades básicas: investigar, descobrir, conectar, criar e refletir. Sendo assim, por meio das questões produzidas e das competências do PC a serem estimuladas, os alunos poderão entender, planejar, executar e observar soluções para problemas em contextos reais [19].

5.2 Definição Conceitual

Na visão conceitual da PC+, trazemos as relações teóricas do nosso contexto de estudo, além de incorporar as ações que são estabelecidas entre os atores e os objetos que compõem a PC+ para que eles possam entender como fazer uso dela. Além disso, definimos uma nova nomenclatura para os objetos, inicialmente apresentados por França e Tedesco [32], e uma nova subdivisão dos conceitos: conteúdo; cognição; implementação; recurso; interação, atores e ações. A visão conceitual da estratégia metodológica PC+ pode ser observada na Figura 5.2.

Figura 5.2: Visão conceitual da estratégia metodológica PC+



As definições conceituais, considerando todas as relações estabelecidas entre conceitos e práticas na PC+, são descritas a seguir:

- **Conteúdo:** conjunto de conteúdos a serem ensinados a partir das atividades provenientes da PC+. Os conteúdos a serem abordados na PC+ são baseados nas competências do PC apresentadas por Barr e Stephenson [10] e nos assuntos relacionados com a disciplina de Matemática do ensino fundamental, em acordo com as definições estabelecidas pela BNCC [15].
- **Cognição:** forma como o estímulo ao aprendizado dos conteúdos será conduzido a partir dos recursos pedagógicos provenientes da PC+. A forma de estímulo ao aprendizado deve ser conduzida a partir da resolução de problemas, tendo em vista que o aprendizado baseado em problemas permite o confronto de conceitos pré-estabelecidos com novos conteúdos a serem aprendidos [109].
- **Implementação:** tipo de atividade a ser concebida de modo a dar suporte ao aprendizado dos conteúdos da Matemática e do PC a partir das atividades provenientes da PC+. As atividades devem partir de estratégias de baixa imersão computacional

para estímulo ao PC. Estratégias de baixa imersão, como já discutido anteriormente nos trabalhos relacionados, são caracterizadas pelo não uso de ferramentas ou conceitos especificamente computacionais [100].

- **Recurso:** recurso pedagógico utilizado para ensinar o conteúdo, a partir da resolução de problemas de baixa imersão computacional. A base para construção das atividades de estímulo da PC+ se dá a partir de questões que podem ser usadas por professores de Matemática em sala de aula, não fugindo, assim, de suas especialidades.
- **Interação:** premissas estabelecidas para que o aprendizado de conteúdos possa acontecer. O modelo de interação das atividades da PC+ deve obedecer às premissas estabelecidas a partir do conhecimento lógico-matemático no estágio de operações concretas (7 aos 11 anos), visando possibilitar aos alunos a assimilação dos conteúdos da disciplina e das competências do PC de maneira mais significativa [80; 81].
- **Atores:** pessoas envolvidas. Os atores da estratégia são os professores, como responsáveis por iniciar e mediar todo processo de aprendizagem; e os alunos, como construtores do conhecimento e envolvidos direto com a resolução das questões produzidas.
- **Ações:** etapas ou eventos a serem executados. As ações realizadas por parte dos atores dizem respeito à concepção e catalogação de recursos, obedecendo ao modelo de interação, por parte dos professores; e utilização desses recursos por parte dos alunos.

Dessa maneira, a PC+ visa permitir que professores possam produzir questões, para ensinar conteúdos da Matemática e estimular competências do PC, a partir da resolução de problemas de baixa imersão computacional. Dessa forma, essas questões podem ser utilizadas por alunos para que eles aprendam os conteúdos definidos, ao mesmo tempo em que são estimulados a desenvolverem e aprimorarem sua capacidade de resolver problemas por meio da absorção das competências do PC.

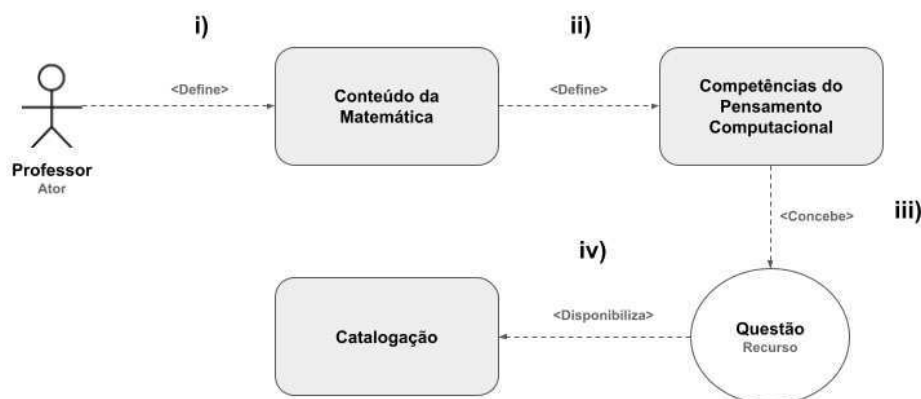
5.3 Orientações Práticas

De modo a possibilitar o uso da PC+ em sala de aula, propomos um conjunto de orientações práticas. As orientações foram pensadas para possibilitar a instanciação da PC+ com base nas ações de concepção, catalogação e utilização. As orientações foram concebidas com foco no professor, de modo que eles possam construir uma base de questões consolidada para as práticas do dia a dia escolar. Os detalhes à prática de cada uma das ações da PC+ (concepção, catalogação e utilização) são apresentados nas próximas seções.

5.3.1 Concepção de Questões

O primeiro conjunto de orientações é apresentado de modo a permitir a realização da ação de concepção de questões. Essa etapa é conduzida com o objetivo de fazer com que as questões produzidas estimulem as competências do PC de acordo com um determinado conteúdo da Matemática. Além disso, pode ser conduzida também para adequação de questões já existentes às competências do PC definidas para serem estimuladas. A visão conceitual da ação de concepção pode ser observada na Figura 5.3.

Figura 5.3: Visão conceitual do processo concepção de questões problema a partir da PC+



Para proceder com a concepção das questões o professor deverá: i) definir o conteúdo da Matemática a ser abordado na questão; ii) definir as competências do PC a serem estimuladas em conjunto com o conteúdo; iii) conceber a questão seguindo as definições do passo i e ii; e iv) disponibilizar a questão para catalogação.

De modo a possibilitar que o professor possa conceber as questões seguindo as

orientações anteriores, elaboramos um conjunto de exemplos de questões criadas a partir de vários conteúdos da Matemática que podem ser abordados, subdividido os exemplos por competência e com cada competência pode ser pensada durante a concepção das questões. Essas orientações são colocadas de maneira independente e a ordem não indica relação de sequência. Para isso, a nomenclatura inicialmente definida na literatura, com base em passos, foi modificada [26]. Visto que ela sugeria que os passos propostos deveriam ser seguidos um após o outro, de maneira dependente – o que não ocorre na prática. Pois, as competências podem ser estimuladas de diversas maneiras e nas mais variadas combinações a depender do conteúdo da disciplina de Matemática definido.

É importante destacar que, a depender do objetivo traçado e do conteúdo a ser abordado na disciplina, nem sempre existirá a possibilidade de se trabalhar todas as competências propostas e que a aplicação de uma determinada competência não está diretamente ligada a outra. O que se faz fundamental é que exista uma avaliação prévia dos objetivos traçados na disciplina e que a concepção ou adequação de questões às competências seja feita de acordo com a viabilidade prática. Todo conjunto de exemplos pode ser observado no Apêndice G.

Para ilustrar a concepção de uma questão a partir da estratégia proposta, observemos o exemplo na Figura 5.4 a seguir. Ele representa a concepção de uma questão que aborda o conteúdo de probabilidade e estatística em conjunto com a competência Coleta de Dados.

Figura 5.4: Exemplo de questão com a competência Coleta de Dados.

Questão 5

Um dado foi lançado 25 vezes. A tabela a seguir mostra os seis resultados possíveis e suas respectivas frequências de ocorrência.

Resultado	1	2	3	4	5	6
Frequência	4	7	3	5	3	3

Qual foi a frequência do aparecimento de um número ímpar? Qual a média, moda e mediana?

Fonte: Compilado pelo autor de repositórios *online*, 2019.

Como é possível observar, os dados para consulta são apresentados no formato de tabela. No entanto, esses dados, no formato em que são apresentados, não são a solução para a

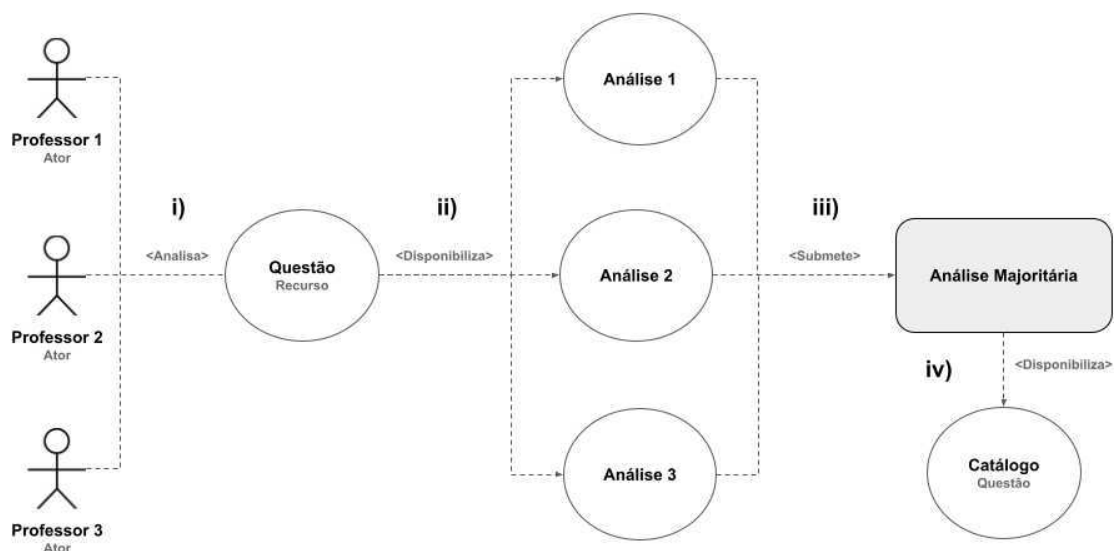
questão. Como o enunciado destaca, é necessário consultar as informações apresentadas e coletar dados complementares para responder a indagação apresentada. As informações que devem ser coletadas, a partir do conjunto de dados, dizem respeito aos números ímpares, média, moda e mediana.

Para mais informações sobre a prática de concepção de questões para as demais competências que são referência neste estudo é necessário consultar o Apêndice G. Nele trazemos diversos exemplos de questões concebidas em torno de diversos conteúdos do cotidiano da disciplina de Matemática.

5.3.2 Catalogação de Questões

O segundo conjunto de orientações práticas diz respeito a ação de catalogação. Essa etapa é iniciada a partir de questões que não possuem suas competências catalogadas e precisam ser avaliadas quanto às competências do PC que estão sendo estimuladas por elas. A visão conceitual da ação de catalogação pode ser observada a partir da Figura 5.5.

Figura 5.5: Visão conceitual do processo de catalogação de questões problema concebidas a partir da PC+



Com base no procedimento de catalogação apresentado, para permitir a catalogação de questões concebidas, o procedimento deve considerar: i) análise individual das competências

por pelo menos três outros professores; ii) disponibilização das análises individuais; iii) submissão das análises individuais ao processo de análise majoritária, onde são aplicados os critérios para definição da presença ou não de uma competência na questão avaliada; e iv) após aplicação dos critérios, o catálogo de competências da questão é disponibilizado. Por fim, o professor terá em mãos a questão concebida e o catálogo dessa questão com as competências, de forma consolidada, do PC.

Na fase de submissão para aplicação do critério majoritário, a presença ou não de uma determinada competência em uma questão se dá a partir da maioria dos votos. Sendo assim, após a disponibilização das análises individuais, o parecer deve considerar a aplicabilidade de cada competência usando esse critério. Por exemplo, se a competência Coleta de Dados foi identificada por dois dos três avaliadores, ela passa a ser considerada presente na questão. No entanto, se a competência Abstração foi identificada apenas por um dos três avaliadores, ela passa a não constar como presente na questão.

É importante destacar que, por vezes, a depender do contexto do profissional criador da questão, nem sempre existirá a possibilidade de condução das catalogações por até três avaliadores de forma majoritária. A orientação é que se use um pré-catalogo feito pelo criador da questão de modo que ele possa ter uma referência das competências que estão sendo postas em prática. Embora o pré-catalogo não tenha o mesmo grau de confiabilidade comparado ao catálogo resultante da avaliação majoritária, é um ótimo recurso para que o professor possa conduzir suas atividades em sala de aula.

Para complementar as orientações práticas para catalogação, formulamos um conjunto de exemplos de questões e orientações relacionadas a como as questões podem ser lidas de modo que as competências possam ser identificadas por parte dos avaliadores. Todas essas orientações e exemplos podem ser observadas no Apêndice H.

Para condução das avaliações individuais, o avaliador de posse do material de orientação (orientações e exemplos encontrado nos apêndices) H, como dito anteriormente, precisa observar a questão fazendo uma leitura de quais competências estão sendo estimuladas por ela. Diante desta análise, disponibilizar seu ponto de vista para aplicação do critério. Como no exemplo de concepção trouxemos uma questão criada com o objetivo de estimular a competência Coleta de Dados (ver Figura 5.4), a seguir observamos como o avaliador pode analisar a questão de modo a identificar se uma questão está estimulando a competência ou

não.

Com base no exemplo apresentado na Figura 5.6 surge a seguinte questão: É necessário obter ou gerar dados através de observações de informações para auxiliar a resolução do problema?

Figura 5.6: Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Coleta de Dados.

Um fazendeiro planta macieiras em uma área quadrada. Para protegê-las contra o vento, ele planta coníferas ao redor do pomar.

O diagrama abaixo mostra essa situação, na qual se pode ver as macieiras e as coníferas, para um número (n) de filas de macieiras.

$n = 1$ $n = 2$ $n = 3$ $n = 4$

```

X X X      X X X X X      X X X X X X X      X X X X X X X X X
X • X      X • • X      X • • • X      X • • • • X
X X X      X   X      X   X      X   X   X
           X • • X      X • • • X      X • • • • X
           X X X X X      X   X      X   X   X
           X • • • X      X • • • X      X • • • • X
           X X X X X      X X X X X X X      X X X X X X X X X
  
```

X = coníferas
• = macieiras

MAÇÃS - QUESTÃO 1

Complete a tabela abaixo:

$n =$	Número de macieiras	Número de coníferas
1	1	8
2	4	
3		
4		
5		

Fonte: PISA, 2012.

Sim. Como é possível observar, os dados são obtidos ou gerados ao perceber os padrões indicados nas figuras que representam as macieiras e coníferas. Além disso, o número de coníferas por macieira é usado para preencher a tabela resposta.

Como dito anteriormente, para mais orientações sobre como proceder para avaliação de competências em questões de matemática para as demais competências observar o Apêndice H.

É válido destacar que, embora os exemplos sejam apresentados para concepção e catalogação por competências isoladamente, as competências podem ser postas em prática a

partir de diversas combinações. A divisão apresentada tem o intuito de facilitar a leitura dos exemplos por competências e tornar mais intuitivo a assimilação dos conceitos.

Ao consultar o material, é possível perceber que a questão exemplo também pode ser considerada uma questão que aborda a competência Representação de Dados, além da competência Coleta de Dados. Visto que, a definição da competência Representação de Dados diz respeito a mostrar ou representar informações através de gráficos, tabelas, conjuntos, entre outras formas de representar informações.

5.3.3 Utilização das questões

É válido destacar que esta seção está focada em apresentar orientações de como colocar em prática as competências. Logo, é necessário realizar um estudo mais aprofundado, em conjunto com especialistas da Matemática, para entender a realidade metodológica da disciplina de modo que seja possível evoluir e validar as orientações propostas. Pois, cientificamente, existem evidências apenas no que diz respeito à prática das questões de Matemática em maior conformidade com as competências do PC (quanto maior o número de competências identificadas nas questões mais os alunos são estimulados a resolverem problemas corretamente) [26].

O processo de utilização das questões em sala de aula consiste na última ação da PC+ e deve ser pensado de acordo com o conteúdo da disciplina que se irá trabalhar. A proposta apresentada na literatura, inicialmente, por meio do passo a passo, trabalha com o preceito de que mais competências estimulam melhor os alunos a resolverem problemas. No entanto, não realiza o controle de quais competências estão sendo inseridas em cada etapa de assimilação do conteúdo, apenas de quantidade. Sendo assim, torna-se difícil mapear as competências em que os alunos tiveram maior ou menor dificuldade para colocá-las em prática.

A proposta é que se tenha um planejamento prévio de quais competências devem ser estimuladas na prática e em que momento [61]. Como exemplo, a temática probabilidade e estatística que, inicialmente, é orientada à prática dos conceitos que envolvem população e amostras, para posteriormente trabalhar a melhor forma de representar cada tipo de conjunto de informações – seguindo para medidas de tendência central [56]. Ao analisar cada temática de maneira individual e tomando as definições das competências como referência, é possível

perceber que antes de trabalhar a competência “Representação de Dados” seja trabalhada a competência “Coleta de Dados”. Isso faz com que a assimilação de cada competência seja mais proveitosa, tendo em vista que o processo de representação de dados parte do pressuposto que existem dados a serem representados. Logo, é possível fornecer o conjunto de dados a serem representados ou envolver o aluno no processo de busca de suas próprias fontes de informações.

Ao observar o que será ministrado previamente, as competências podem ser inseridas gradativamente à medida que se avança no conteúdo. Isso irá permitir que se tenha controle do que o aluno conseguiu absorver, além de possibilitar que sejam trabalhadas as dificuldades específicas de cada um deles. Por exemplo, a medida com que os exercícios vão se tornando mais complexos e sejam colocadas em prática as competências “Coleta de Dados”, “Decomposição” e “Algoritmos”, durante a correção do exercício, pode ser possível identificar em que ponto o aluno teve mais dificuldade. Se o aluno falhou na identificação dos dados não significa que ele apresenta dificuldades em todo o conteúdo ministrado, mas que ele precisa trabalhar melhor a capacidade de reunir informações – que diz respeito à sua capacidade de coletar informações.

Esta é uma prática comum no ensino de programação para iniciantes, onde o conteúdo primário trabalhado diz respeito à entrada e saída de dados. A entrada é o que o programa vai receber como informação para que ele possa realizar um determinado procedimento e gerar uma saída, que é o resultado do processamento a partir da entrada. Posteriormente, os demais conteúdos são gradativamente incorporados para garantir que cada um deles sejam assimilados de maneira efetiva [65; 69; 101]. Por fim, quando todos os conteúdos são transmitidos (condicionais, laços de repetição, funções, entre outros) o processo de identificação de erros se torna mais sistematizado, possibilitando analisar em que parte do conteúdo o aluno apresentou maiores dificuldades a partir da sua proposta de resolução para o problema de programação apresentado. Logo, a partir da identificação das dificuldades apresentadas pelos alunos, ou por alguns alunos, em específico, é possível traçar estratégias para que eles possam contornar essas dificuldades mais facilmente e de maneira personalizada.

As orientações para utilização apresentadas neste documento visam fornecer subsídios preliminares para que os catálogos das questões sirvam de ferramenta para condução de um

processo de aprendizagem mais significativo para os alunos. Além disso, que seja respeitado o nível de maturidade e assimilação do conteúdo de cada um deles, possibilitando que todos aprendam no seu tempo. Por fim, mesmo que este acompanhamento não seja feito como o exposto, existem evidências de que a maior conformidade das questões com as competências do PC estimula os alunos a serem melhores resolvedores de problemas.

5.4 Resumo do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados os conceitos teóricos que fundamentaram a proposta de estratégia metodológica denominada PC+. Em conjunto as definições conceituais da proposta, foram apresentados conceitos teóricos e práticos relacionados com as ações de concepção, catalogação e utilização de questões que estimulam competências do PC e conteúdos da Matemática. De modo que possam ser produzidas questões que apoiem o desenvolvimento do aluno para que eles se tornem melhores resolvedores de problemas. No próximo capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos para validação da PC+.

Capítulo 6

Metodologia de Validação e Resultados

Este capítulo apresenta as definições para validação da PC+ no contexto de assimilação dos conceitos e práticas voltadas aos professores. Mais especificamente, descrevemos a metodologia de intervenção; definição do público-alvo; ferramentas de coleta e análise dos resultados. Esta etapa da pesquisa teve como principal objetivo:

- **OE3:** Medir o aprendizado e a replicabilidade da estratégia metodológica proposta do ponto de vista de professores de Matemática de modo a capacitá-los para utilização do método em sala de aula.

6.1 Definição da Metodologia de Validação

De modo que fosse possível validar a PC+, propomos um estudo quanti-qualitativo onde, a partir de um curso de intervenção, procuramos coletar informações relacionadas com a experiência dos participantes durante o curso e o quanto eles conseguiram assimilar e replicar as orientações propostas pela PC+. Para organizar o processo de coleta de dados durante a intervenção, utilizamos as definições apresentadas por Kirkpatrick [58] para informações quantitativas que dizem respeito às reações e ao aprendizado dos participantes por meio de um quase-experimento. Para dados qualitativos, conduzimos a coleta de informações a partir de grupos focais realizados ao longo de toda intervenção.

No modelo de avaliação de Kirkpatrick, o autor traz uma visão avaliativa de processos de treinamento/capacitação com base em quatro pilares essenciais de mensuração (reação, aprendizado, comportamento e resultado). De acordo com o autor, medir apenas as

reações dos participantes; ou que foi assimilado do conteúdo ministrado; ou as mudanças comportamentais dos participantes; ou o resultado; pode ser considerada uma forma correta de medir o impacto de intervenções - ao mesmo tempo que incorreta. Pois, estas quatro métricas podem ser consideradas complementares e formam o que entendemos como "avaliação".

De acordo com Alliger e Janak [3], o modelo de avaliação de Kirkpatrick define um sequenciamento de relação entre os quatro tipos de medição avaliativa, que leva a um entendimento de interdependência entre as métricas. O tipo de medição mais básica do modelo diz respeito às reações de participantes a um treinamento; enquanto o aprendizado e o comportamento estariam em níveis, respectivamente, intermediários. E, por fim, considerada na hierarquia definida a medida mais importante, os resultados. No entanto, de acordo com os autores, a definição sequencial de que cada nível pode acrescentar informações de um para outro de forma hierárquica, implicando causalidade entre eles, não pode ser tomada como verdadeira. Por exemplo, reações majoritariamente positivas não implicam no aprendizado dos conceitos ensinados.

Para Hamblin [52], os aspectos de dependência entre os níveis apresentam sim uma relação de causa e efeito. Inclusive, os autores destacam que pode existir uma mudança de comportamento dos participantes sem que essa mudança, de fato, impacte nos resultados. Os autores destacam esse tipo de mudança como situacionais e não transformadoras. De acordo com os autores, os impactos geram valor e é por isso que devemos nos debruçar sobre processos avaliativos que consideram diferentes níveis de mensuração e utilizemos esses níveis de forma complementar para que seja possível evidenciar os reais ganhos provenientes das intervenções realizadas.

Diante do exposto, independente da relação de causalidade entre os níveis de mensuração, utilizamos o modelo de Kirkpatrick para embasar a coleta de informações a partir dos níveis de mensuração estabelecidos pelo autor. De modo a entender como o modelo foi aplicado neste estudo, podemos observar o Quadro 6.1.

Quadro 6.1: Modelo de Kirkpatrick aplicado ao contexto de validação da PC+.

Estágios	Definição contextual	Localidade
Reações	O grau em que o público-alvo considera a PC+ favorável, envolvente e relevante para ser utilizada em sala de aula com base na intervenção	Ambiente de treinamento <concepção e catalogação de questões>
Aprendizado	O grau em que o público-alvo adquire o conhecimento pretendido com base nas definições teóricas e práticas da PC+ durante a intervenção	
Comportamento	O grau em que o público-alvo da intervenção aplica o que aprende a partir da PC+ no seu ambiente de trabalho	Ambiente de trabalho <utilização de questões>
Resultados	O grau em que, por influência da PC+, o público da intervenção é impactado positivamente no seu ambiente de trabalho	

Os dois primeiros níveis foram medidos durante a condução da intervenção, pois diziam respeito ao ambiente de treinamento do público-alvo participante (reações e aprendizado). Para medir as reações dos participantes, fizemos uso de questionários com afirmações que procuram identificar se o público-alvo era favorável a aplicação da PC+; e se eles acharam a proposta envolvente e relevante para ser utilizada em sala de aula. As reações foram medidas de forma continuada durante toda a intervenção.

No que diz respeito ao aprendizado, medimos o quanto os participantes assimilaram dos conceitos gerais que envolvem a PC+ a partir de um pré-teste, respondido antes do início da intervenção, e um pós-teste, respondido depois da intervenção. O aprendizado também foi medido de forma continuada para os conceitos gerais apresentados, a partir de um formulário com respostas abertas com questões relacionadas com o conteúdo ministrado; e a partir da concordância entre os participantes quanto a presença das competências do PC em questões de Matemática durante toda a intervenção. Para medir a concordância dos avaliadores em relação a aplicabilidade das competências de acordo com as definições da PC+, utilizamos a definição de concordância medida a partir da métrica Kappa. O coeficiente de concordância de Kappa é usado para caracterizar a concordância entre dois ou mais juízes envolvidos em uma avaliação nominal ou ordinal de uma amostra [20].

No que diz respeito aos dois últimos níveis, conduzimos grupos focais durante toda a intervenção de modo a identificar os possíveis impactos comportamentais que poderiam ser ocasionados nos professores e nos resultados a serem observados em sala de aula por estes

profissionais. Os grupos focais também foram conduzidos para que fosse possível identificar melhorias a serem implementadas na PC+. Para esses níveis que extrapolam o ambiente de treinamento, procuramos entender as implicações, apenas subjetivas, a partir dos grupos focais, principalmente devido às limitações de aplicabilidade da proposta em sala de aula por parte dos professores participantes em decorrência da pandemia do COVID-19.

A PC+ apresenta um ensaio sobre como proceder com a utilização de questões produzidas a partir dela, com base nos estudos anteriores que evidenciam o impacto positivo de questões que estimulam competências do PC em alunos quanto à capacidade deles em resolver problemas [26]. No entanto, o foco desta etapa de validação está no professor e no futuro professor, principal responsável por mediar a utilização destes recursos pedagógicos em sala de aula. Entendemos que, a partir do momento que professores e futuros professores são capazes de replicar os processos de concepção e catalogação de questões, será possível conduzir estudos mais robustos em relação aos impactos relacionados à utilização dessas questões em sala de aula no que diz respeito às mudanças comportamentais e aos resultados ocasionados por influência do método no dia a dia desses profissionais.

Tendo em vista os delineamentos de pesquisa estabelecidos, o estudo aqui apresentado pode ser caracterizado como uma pesquisa aplicada (gerar conhecimento para aplicações práticas da solução proposta), descritiva (estabelecer relações entre a população e a solução proposta), avaliado a partir de uma intervenção em termos quantitativos e qualitativos, por meio de um quase-experimento (impacto causal de uma intervenção em um público não aleatório) e grupos focais (informações subjetivas que não foram possíveis de serem coletadas de forma quantitativa).

Os desdobramentos do método serão apresentados nas próximas seções e a organização das definições foram estabelecidas a partir dos pressupostos da abordagem proposta por Travassos [102]: Objetivos; Questões de Pesquisa; e Métricas (do inglês, *Goals, Questions and Metrics* - GQM).

6.1.1 Objetivo

Diante do exposto, o objetivo deste experimento de pesquisa pode ser observado a seguir:

- Avaliar a estratégia metodológica PC+, com o propósito de verificá-la no que diz

respeito à viabilidade de aplicação, a partir da assimilação dos seus conceitos e práticas, do ponto de vista de graduados e graduandos de cursos superiores em Matemática, durante uma oficina de capacitação que visa introduzir os conceitos do PC e direcionar as atividades de concepção, catalogação e utilização de questões que estimulam competências do PC.

6.1.2 Questões de Pesquisa e Métricas

Para guiar o estudo, algumas questões de pesquisa (Q) foram definidas:

Q1 (Aprendizado): Os participantes aprenderam os conceitos e práticas gerais que envolvem a PC+?

- **Métrica 1:** Respostas dos participantes ao pré-teste, antes da intervenção; e ao pós-teste, após a aplicação da intervenção. O pré-teste e o pós-teste foram construídos através de formulários baseados em escala Likert [74] e apresentaram afirmativas iguais ou semelhantes, de modo a permitir que avaliássemos o que os participantes já sabiam e o que eles aprenderam sobre os conceitos e práticas gerais que envolvem a PC+ antes e depois da intervenção, de acordo com as afirmativas apresentadas.

Para responder a **Q1** com base na **Métrica 1**, as seguintes hipóteses foram definidas com base na métrica 1:

- **H0.0:** O nível de conhecimento dos conceitos e práticas gerais que envolvem a PC+ foi igual entre a aplicação do pré-teste e pós-teste (pré-teste igual pós-teste). O que indica que a intervenção não impactou o conhecimento prévio dos participantes em relação aos conceitos e práticas gerais que envolvem a PC+. Ou seja, não existe evidência de aprendizado causada pela intervenção.
- **H0.1:** O nível de conhecimento dos conceitos e práticas gerais que envolvem a PC+ diminuiu entre a aplicação do pré-teste e pós-teste (pré-teste maior pós-teste). O que indica que a intervenção impactou negativamente o conhecimento prévio dos participantes em relação aos conceitos e práticas gerais que envolvem a PC+. Ou seja, não existe evidência de aprendizado causada pela intervenção.

- **H0.2:** O nível de conhecimento dos conceitos e práticas gerais que envolvem a PC+ aumentou entre a aplicação do pré-teste e pós-teste (pré-teste menor pós-teste). O que indica que a intervenção impactou positivamente o conhecimento prévio dos participantes em relação aos conceitos e práticas gerais que envolvem a PC+. Ou seja, existe evidência de aprendizado causada pela intervenção.

As afirmativas apresentadas no pré-teste e pós-teste aos participantes podem ser observadas a seguir:

- **Afirmativa 1:** Eu sei do que se trata o Pensamento Computacional.
- **Afirmativa 2:** Eu sei do que se tratam as competências do Pensamento Computacional para apoiar a resolução de problemas.
- **Afirmativa 3:** Eu sei do que se tratam as abordagens interdisciplinares do Pensamento Computacional.
- **Afirmativa 4:** Eu sei do que se tratam as abordagens interdisciplinares de estímulo às competências do Pensamento Computacional na Matemática, sem uso do computador, para apoiar a resolução de problemas.
- **Afirmativa 5:** Eu **FAÇO(pré-teste)/FARIA(pós-teste)** uso de abordagens interdisciplinares de estímulo às competências do Pensamento Computacional na Matemática, sem uso do computador, para apoiar a resolução de problemas.

A escala de resposta para cada afirmativa foi definida como a seguir:

- **-2:** Fortemente Discordo.
- **-1:** Discordo.
- **0:** Neutro.
- **1:** Concordo.
- **2:** Fortemente Concordo.

Q2 (Aprendizado): Os participantes aprenderam os conceitos e práticas específicas que envolvem a PC+?

- **Métrica 1:** Respostas abertas a um exercício para medir o conhecimento em relação aos conceitos e práticas específicas relacionadas com a PC+. Este exercício foi construído de modo a identificar se os participantes aprenderam o que é o PC, quais as relações entre o PC e a resolução de problemas, quais as principais características da vertente interdisciplinar de estímulo ao PC e quais os impactos do PC na Matemática de acordo com as definições apresentadas na BNCC.
- **Métrica 2:** Resposta a um exercício composto por questões previamente selecionadas e catalogadas com as competências do PC estimuladas. Este exercício foi proposto para medir o nível de concordância das identificações de competências dos participantes em relação às definições para identificação de competências apresentadas pela PC+. Para mensurar a concordância, o método Kappa para medição de concordância entre avaliadores foi usado, utilizando como referência de verdade os rótulos de competências do PC das questões previamente selecionadas e catalogadas [26; 29].
- **Métrica 3:** Resposta aos exercícios que medem a concordância dos participantes em relação a presença de competências do PC em questões produzidas pelos próprios participantes durante a intervenção. Este exercício, conduzido durante a intervenção, foi dividido em duas partes: i) concepção de novas questões por cada um dos participantes seguindo as orientações da PC+ e listagem das competências introduzidas na questão do ponto de vista do criador; e ii) a análise individual das questões concebidas por até três outros participantes às cegas. Neste exercício, procuramos medir o nível de concordância entre os criadores e avaliadores. Para mensurar a concordância, o método Kappa para medição de concordância entre avaliadores foi usado, utilizando como referência de verdade a listagem de competências do PC introduzidas na questão de acordo com a percepção de aplicação do seu criador, comparada com as avaliações individuais conduzidas pelos demais participantes.

Para responder a **Q2** com base na **Métrica 1**, analisamos as respostas abertas dos participantes a partir dos termos mais utilizados por eles para responder a cada um dos

questionamentos. As perguntas usadas para aferir o aprendizado em resposta a **Q2** a partir da **Métrica 1** um podem ser observados a seguir:

- **Pergunta 1:** O que é Pensamento Computacional?
- **Pergunta 2:** Qual a relação existente entre Pensamento Computacional e a Resolução de Problemas?
- **Pergunta 3:** Qual a principal característica da vertente interdisciplinar de estímulo ao Pensamento ao Pensamento Computacional?
- **Pergunta 4:** Qual o impacto do Pensamento Computacional na Matemática de acordo com a Base Nacional Comum Curricular?

Para responder a **Q2** com base na **Métrica 2**, as seguintes hipóteses foram definidas:

- **H0.0:** O nível de concordância Kappa entre os avaliadores e a referência de verdade foi igual a zero (índice Kappa igual a zero). O que indica que a intervenção não impacta a capacidade de identificação de competências dos participantes a partir das orientações propostas na PC+. Ou seja, não existe evidência de aprendizado em relação à identificação de competências do PC em questões de Matemática causada pela intervenção.
- **H0.1:** O nível de concordância Kappa entre os avaliadores e a referência de verdade foi menor que zero (índice Kappa menor que zero). O que indica que a intervenção não impacta a capacidade de identificação de competências dos participantes a partir das orientações propostas na PC+. Ou seja, não existe evidência de aprendizado em relação à identificação de competências do PC em questões de Matemática causada pela intervenção.
- **H0.2:** O nível de concordância Kappa entre os avaliadores e a referência de verdade foi maior que zero (índice Kappa maior que zero). O que indica que a intervenção impactou na capacidade de identificação de competências dos participantes a partir das orientações propostas na PC+. Ou seja, existe evidência de aprendizado em relação à identificação de competências do PC em questões de Matemática causada pela intervenção.

As questões apresentadas para computar as identificações das competências em questões pré-catalogadas e, posteriormente, calcular o índice de concordância Kappa para a **Métrica 3** podem ser observadas no Apêndice I.

Para responder a **Q2** com base na **Métrica 3**, as seguintes hipóteses foram definidas:

- **H0.0:** O nível de concordância Kappa entre os avaliadores e a referência de verdade foi igual a zero (índice Kappa igual a zero). O que indica que a intervenção não impacta a capacidade de criação de questões e catalogação de competências dos participantes a partir das orientações propostas na PC+. Ou seja, não existe evidência de aprendizado em relação à criação de questões e catalogação de competências do PC em questões de Matemática causadas pela intervenção.
- **H0.1:** O nível de concordância Kappa entre os avaliadores e a referência de verdade foi menor que zero (índice Kappa menor que zero). O que indica que a intervenção não impacta a capacidade de criação de questões e catalogação de competências dos participantes a partir das orientações propostas na PC+. Ou seja, não existe evidência de aprendizado em relação a criação de questões e catalogação de competências do PC em questões de Matemática causadas pela intervenção.
- **H0.2:** O nível de concordância Kappa entre os avaliadores e a referência de verdade foi maior que zero (índice Kappa maior que zero). O que indica que a intervenção impactou na capacidade de criação de questões e catalogação de competências dos participantes a partir das orientações propostas na PC+. Ou seja, existe evidência de aprendizado em relação a criação de questões e catalogação de competências do PC em questões de Matemática causadas pela intervenção.

Q3 (Reações): Quais as reações dos participantes em relação aos conceitos e práticas que envolvem a PC+?

- **Métrica 1:** Resposta às afirmativas que medem o sentimento dos participantes durante a condução da intervenção. As respostas relacionadas com as reações dos participantes foram organizadas a partir de um formulário em escala Likert [74] com afirmativas para medir a satisfação dos participantes com a intervenção, a relevância da intervenção para que ele entendesse os conceitos apresentados, se a

intervenção impactou no aumento do conhecimento deles em relação aos conceitos apresentados, se a intervenção forneceu subsídios para que ele possa colocar em prática os conceitos em sala de aula e se o participante recomendaria a intervenção para possíveis interessados [55].

Para responder a **Q3** com base na **Métrica 1**, as seguintes hipóteses foram definidas:

- **H0.0:** As reações dos participantes foram, predominantemente, iguais a zero (reações igual a zero). O que indica que a intervenção não impactou positivamente o sentimento dos participantes a partir das orientações propostas na PC+. Ou seja, não existe evidência de sentimentos positivos causados pela intervenção.
- **H0.1:** As reações dos participantes foram, predominantemente, menores que zero (reações menores que zero). O que indica que a intervenção não impactou positivamente o sentimento dos participantes a partir das orientações propostas na PC+. Ou seja, não existe evidência de sentimentos positivos causados pela intervenção.
- **H0.2:** As reações dos participantes foram, predominantemente, maiores que zero (reações maiores que zero). O que indica que a intervenção impactou positivamente o sentimento dos participantes a partir das orientações propostas na PC+. Ou seja, existe evidência de sentimentos positivos causados pela intervenção.

As afirmativas apresentadas aos participantes para representar as reações seguem a estrutura a seguir para os conceitos introdutórios do PC, por exemplo:

- **Afirmativa 1:** Fiquei satisfeito com o módulo do curso que trata sobre os conceitos introdutórios do Pensamento Computacional no geral.
- **Afirmativa 2:** Este módulo do curso foi relevante para eu entendesse os conceitos introdutórios sobre Pensamento Computacional.
- **Afirmativa 3:** Este módulo do curso aumentou meus conhecimentos introdutórios sobre o Pensamento Computacional.
- **Afirmativa 4:** Este módulo do curso forneceu conteúdo relevante para que eu possa aplicar os conceitos introdutórios do Pensamento Computacional no meu dia a dia escolar.

- **Afirmativa 5:** Eu recomendaria este módulo do curso que trata sobre os conceitos introdutórios do Pensamento Computacional para outros professores.

Para cada conjunto de conceitos formulamos afirmativas de acordo. Todas as afirmativas apresentadas para cada um dos conceitos ministrados na intervenção podem ser encontradas no Apêndice J.

A escala de resposta às afirmativas se deu da seguinte maneira para cada uma das afirmativas:

- **-2:** Fortemente Discordo.
- **-1:** Discordo.
- **0:** Neutro.
- **1:** Concordo.
- **2:** Fortemente Concordo.

Q4 (Comportamento e Resultado): Quais as mudanças comportamentais nos participantes da intervenção e os possíveis resultados esperados com a aplicação dos conceitos e práticas que envolvem a PC+ em sala de aula?

- **Métrica 1:** Condução de grupos focais mediado por perguntas que tinham por objetivo entender quais as mudanças comportamentais que a PC+ pode causar nos participantes e os resultados da utilização das questões em sala de aula [7].

Para responder a **Q4** com base na **Métrica 1**, analisamos o discurso dos participantes quanto aos questionamentos conduzidos durante os grupos focais. Para registrar as informações dos grupos focais, registramos toda discussão em torno dos questionamentos levantados e transcrevemos essas gravações. Após a transcrição, analisamos de forma exploratória passagens que indicam relação com as mudanças comportamentais e resultados. As perguntas utilizadas para guiar a condução dos grupos foram organizadas da seguinte maneira:

- **Pergunta 1:** O material escrito apoia os vídeos para fixação dos conceitos apresentados?

- **Pergunta 2:** Os exemplos apresentados apoiam o entendimento dos conceitos expostos?
- **Pergunta 3:** A relação entre os conceitos ficou clara?
- **Pergunta 4:** Quais dos conceitos foram apresentados de forma pouco clara?
- **Pergunta 5:** Qual dos conceitos causou mais dúvidas no entendimento?
- **Pergunta 6:** Você vê impactos positivos ou negativos para aplicação dos conceitos deste módulo em sala de aula?
- **Pergunta 7:** Quais as principais dificuldades de conduzir os conceitos em sala de aula?
- **Pergunta 8:** O que você teria que trabalhar no seu dia a dia para conduzir os conceitos em sala de aula?
- **Pergunta 9:** Como esses conceitos ajudariam os alunos?

É válido destacar que essas perguntas foram consideradas para que fosse possível ter uma visão dos dois níveis finais do modelo de Kirkpatrick discutidos ainda no ambiente de treinamento dos participantes. Visto que, o comportamento e os resultados são níveis a serem mensurados no ambiente de trabalho. No caso dos participantes da intervenção, o ambiente de trabalho é a sala de aula e o estudo aqui conduzido não englobou esse ambiente.

6.1.3 Organização e Execução da Intervenção

Com base na definição metodológica de validação da PC+, podemos definir todo estudo de caso em duas fases mensuráveis: a avaliação de intervenção e a avaliação processual. A avaliação de intervenção, neste estudo, diz respeito à coleta de dados relacionados ao aprendizado antes e depois da realização da intervenção. Em complemento, a avaliação processual diz respeito à coleta e análise de forma continuada, ao longo de toda a organização de intervenção, das reações, do aprendizado, do comportamento e dos resultados. O planejamento para execução da intervenção foi organizado no modelo de um curso de capacitação dividida em três módulos denominados:

- **Módulo 1:** Introdução ao PC. Este módulo foi pensado para que os participantes pudessem assimilar os conceitos gerais que envolvem a PC+, tais como: PC como uma estratégia para resolução de problemas; abordagens interdisciplinares de estímulo ao PC; e as relações existentes entre o PC e a disciplina de Matemática.
- **Módulo 2:** Identificação de Competências do PC em Questões de Matemática. Este módulo foi pensado para que os participantes pudessem assimilar os conceitos e práticas relacionadas a como identificar as competências do PC em questões de Matemática, tais como: coletar, representar e analisar dados; abstrair informações; decompor problemas; construir algoritmos; automatizar rotinas; paralelizar procedimentos; e simular comportamentos.
- **Módulo 3:** Concepção e Catalogação de Questões de Matemática com PC. Este módulo foi pensado para que os participantes pudessem assimilar os conceitos e práticas relacionadas com a concepção de questões de Matemática que estimulam competências do PC e como proceder para condução do processo de catalogação por análise majoritária.

Toda estruturação dos módulos foi realizada dentro da plataforma Canvas^{TM1} a partir de conteúdos consumíveis de forma assíncrona. A condução do curso foi realizada de maneira *online* devido ao contexto mundial em que nos encontrávamos, a pandemia do COVID19, no momento da execução do plano de validação. Em complemento, entre o início e o fim de cada módulo foram organizados momentos síncronos via Google MeetingTM para discutir sobre os conceitos e tirar dúvidas em relação às práticas de cada módulo. Para cada módulo, foram disponibilizados alguns artefatos para apoiar o aprendizado dos temas: vídeo aulas expositivas (5-10 minutos); textos complementares; exemplos práticos; e exemplos para fixação. Todos esses artefatos foram produzidos de acordo com as orientações teóricas e práticas definidas na PC+.

O curso foi organizado para ser ministrado ao longo de quatro semanas e o responsável pela produção do material, gravação das aulas para consumo assíncrono e condução dos encontros síncronos foi o autor deste trabalho. Duas sessões foram conduzidas, uma com participantes residentes do curso de Matemática da UFCG e a outra com inscrição

¹Canvas: <https://canvas.instructure.com/>

aberta ao público. A primeira conduzida em parceria com o coordenador de residência do curso de Matemática e na segunda tivemos o apoio de diversos professores colaboradores para divulgação da chamada aberta para graduados e graduandos de cursos superiores em Matemática; com ou sem experiência.

Cada semana foi organizada, para cada turma, a partir das seguintes definições:

- **Semana 1 (Módulo 1: Introdução):**

- **Dia 01:** Primeiro encontro síncrono para abertura da turma, orientações gerais sobre a organização do curso, funcionalidades essenciais da plataforma CanvasTM e abertura do Módulo 01;
- **Dia 01:** Preenchimento do formulário de caracterização dos participantes e pré-teste;
- **Dia 01-05:** Período para consumo do material assíncrono do Módulo 01 (05 aulas)
- **Dia 05:** Coleta dos dados relacionados às reações e ao aprendizado dos participantes referentes ao Módulo 01.

- **Semana 2 (Módulo 2 - Identificação):**

- **Dia 01:** Segundo encontro síncrono para discussão (grupo focal) sobre o Módulo 01 e abertura do Módulo 02;
- **Dia 01-05:** Período para consumo do material assíncrono do Módulo 02 (10 aulas);
- **Dia 05:** Coleta dos dados relacionados às reações e ao aprendizado dos participantes referentes ao Módulo 02.

- **Semana 3 (Módulo 3 - Concepção):**

- **Dia 01:** Terceiro encontro síncrono para discussão (grupo focal) sobre o Módulo 02 e abertura do Módulo 03 - Concepção;
- **Dia 01-05:** Período para consumo do material assíncrono do Módulo 03 (10 aulas)

- **Semana 4 (Módulo 3 - Catalogação):**

- **Dia 01:** Quarto encontro síncrono para discussão (grupo focal) sobre o Módulo 03 - Criação e abertura do Módulo 03 - Catalogação;
- **Dia 01-05:** Período para condução das avaliações individuais por pares (cada participante recebeu 3 questões de colegas às cegas para avaliar);
- **Dia 05:** Coleta dos dados relacionados às reações e ao aprendizado dos participantes referentes ao Módulo 03.

- **Semana 5 (Encontro final):**

- **Dia 01:** Quinto encontro síncrono para discussão (grupo focal) sobre o Módulo 03 - Catalogação e fechamento da turma;
- **Dia 01:** Preenchimento do pós-teste

Para as duas turmas foram abertas inscrições com um mês de antecedência a data de início das atividades. Do total de inscritos em ambas as chamadas, tivemos:

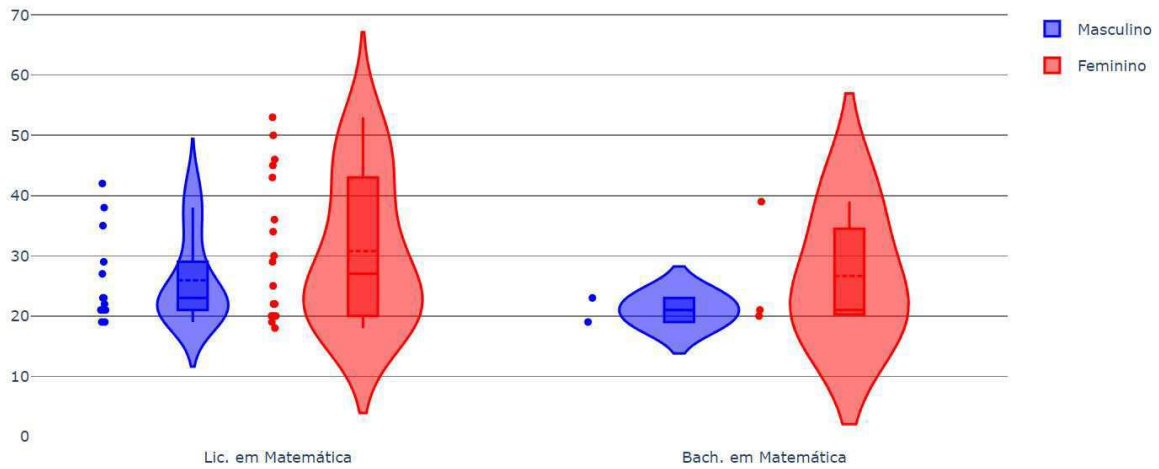
- **Residentes (Turma 1):** 9/15 participantes concluíram todos os módulos e atividades do curso. Atividades realizadas do dia 10/01/2022 ao dia 07/02/2022.
- **Chamada Aberta (Turma 2):** 28/70 participantes concluíram todos os módulos e atividades do curso. Atividades realizadas do dia 18/04/2022 ao dia 16/05/2022.

Na próxima seção, iremos tratar sobre as características dos participantes inscritos que concluíram todos os módulos e atividades do curso.

6.2 Caracterização dos Participantes

Do total de inscritos que finalizaram o curso por completo (37 participantes), incluindo aulas e atividades, 56.8% se declararam como sendo do sexo feminino, enquanto 43.2% se declarou do sexo masculino. Como o foco desta etapa de estudo estava em professores e futuros professores de Matemática, a Figura 6.1 detalha melhor a distribuição das idades (eixo y) dos homens e mulheres por curso (eixo x) identificado da área de Matemática.

Figura 6.1: Idade, sexo e graduação dos participantes.

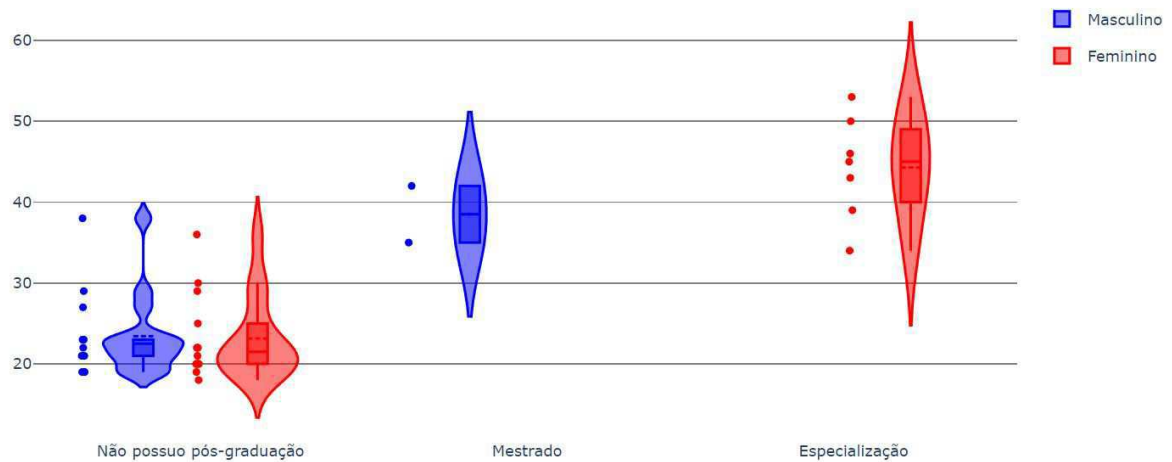


Como podemos observar, o público participante é majoritariamente licenciando ou licenciado em Matemática (86.5%). A média de idade do público masculino da licenciatura é de aproximadamente 25 anos, frente a uma média feminina de 27 anos. Para o bacharelado, temos uma média de 21 anos para os participantes masculinos e 26 anos para os participantes femininos. Ao observar a densidade do gráfico, percebemos que a maior parte dos dados se encontra abaixo da média (mediana menor que a média), indicando densidade inferior; ou se estivéssemos olhando para um gráfico de distribuição comum, teríamos o que chamamos de cauda à esquerda. Esse comportamento é semelhante para as demais curvas de densidade apresentadas, com exceção dos participantes masculinos de bacharelado (mediana igual a média).

Como o curso foi aberto para participantes formados e não formados, procuramos entender a incidência de participantes graduados e graduandos. Desse modo, de acordo com os dados coletados, a maior parte dos participantes são graduandos (70.3%). Sendo assim, podemos dizer que em maioria, os participantes são graduandos em licenciatura em Matemática (tendo em vista os 86.5% dos participantes que são do curso de licenciatura).

No que diz respeito aos participantes com pós-graduação, podemos observar a Figura 6.2. Este gráfico indica a relação de idade (eixo y) pela indicação de pós-graduação e seu tipo (eixo x), de acordo com a indicação de participantes masculinos e femininos. Como podemos observar, em linha com a indicação de graduações não concluídas, os participantes em sua maioria não possuem pós-graduação (75.7%).

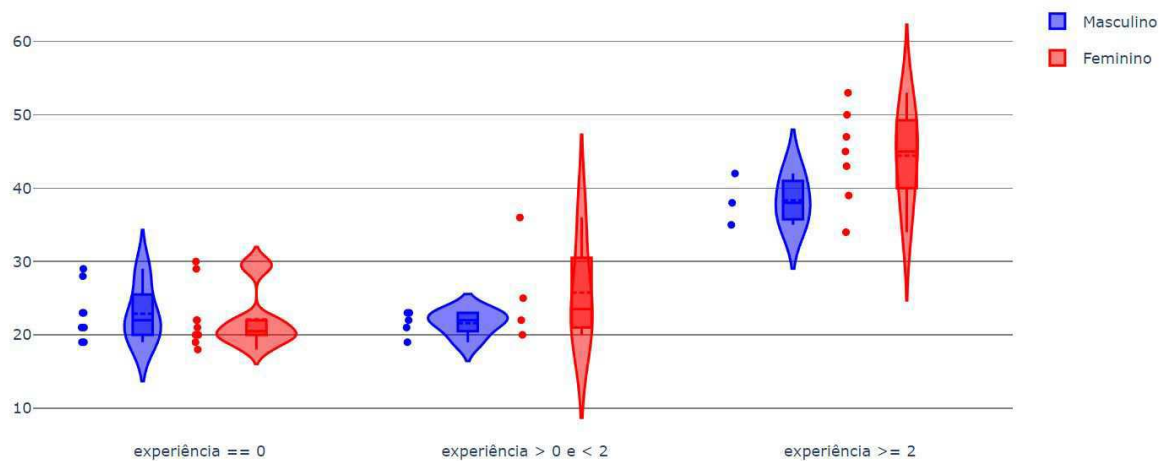
Figura 6.2: Idade, sexo e pós-graduação dos participantes.



Dos participantes com pós-graduação, uma característica interessante a ser observada diz respeito à classificação da pós-graduação. Para os participantes masculinos que possuem pós-graduação, observamos que esses possuem mestrado. Para os participantes femininos, especialização. Em complemento, dos participantes que possuem pós-graduação 16.2% já concluíram e 8.11% ainda estão cursando.

Por fim, no que diz respeito a experiência dos participantes em sala de aula, 48.6% não atuam ou atuaram em algum momento como professor. Dos que possuem experiência em sala de aula (51.4%), a maior parte atuou em instituições públicas (21.5%), em turmas do ensino fundamental (27%). A distribuição de tempo de experiência em sala de aula em relação a idade e sexo dos participantes pode ser observada na Figura 6.3.

Figura 6.3: Idade, sexo e experiência de sala de aula dos participantes.



A distribuição de experiência é importante de ser ressaltada, visto que, o processo de intervenção aqui apresentado diz respeito a uma estratégia para criação de questões que estimulam competências do PC a ser implantada em sala de aula. Logo, é importante que os participantes tivessem experiência com os alunos de Matemática para que fosse possível evidenciar, do ponto de vista desses participantes, a viabilidade de aplicação da proposta em sala de aula. Como pode ser observado, a maioria dos participantes já tiveram experiência de ensino.

6.3 Resultados e Discussões

De modo a permitir uma melhor organização em relação à apresentação dos resultados alcançados, apresentamos os dados da avaliação de intervenção (aplicação do pré-teste e pós-teste) e, posteriormente, apresentaremos os resultados da avaliação processual (coleta dos dados quantitativos por meio do quase-experimento e dos dados qualitativos a partir dos grupos focais).

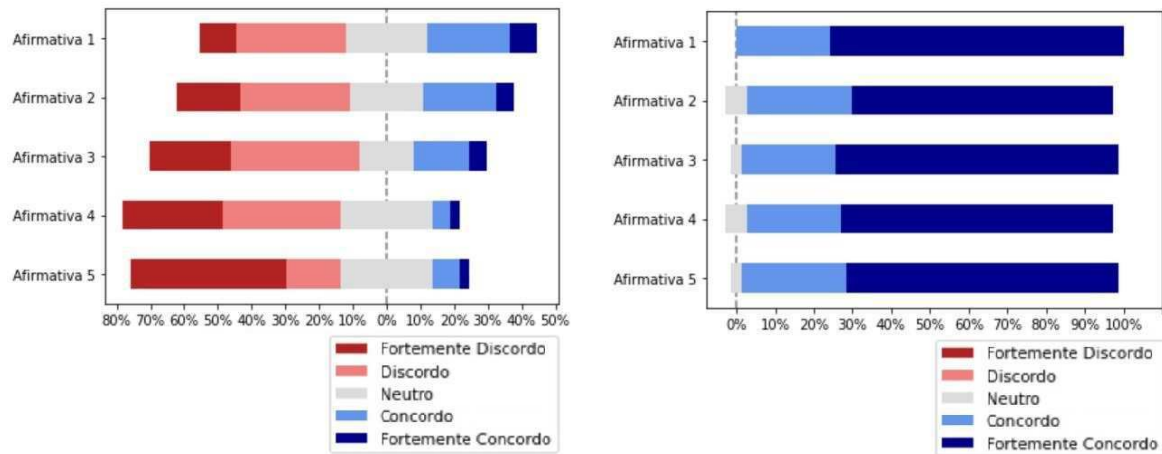
6.3.1 Avaliação de Intervenção

Em resposta à questão de pesquisa **Q1** (Os participantes aprenderam os conceitos e práticas gerais que envolvem a PC+?), analisamos se os participantes foram capazes de assimilar os conceitos gerais que envolvem a prática da PC+. Para possibilitar que fosse possível identificar esses conceitos, submetemos os participantes a um pré-teste (antes do início do curso) e após a conclusão das atividades divididas nos três módulos de intervenção aplicamos um pós-teste (**Métrica 1 da Q1**).

Os resultados do pré-teste e pós-teste seguindo as definições apresentadas podem ser observados na Figura 6.4. Como podemos perceber, as indicações iniciais do pré-teste apresentam uma forte tendência de desconhecimento, por parte dos participantes, das temáticas que seriam abordadas durante a intervenção. Dentre essas temáticas, os conceitos que envolvem o PC, suas competências, as abordagens existentes para o desenvolvimento do PC de forma interdisciplinar e suas relações com a disciplina de Matemática como estratégia para resolução de problemas. Além disso, poucos já tinham feito uso de abordagens semelhantes em sala de aula. No que diz respeito ao pós-teste, percebemos que nenhum

dos participantes indicou total discordância às afirmativas construídas para indicação de conhecimento sobre as temáticas abordadas.

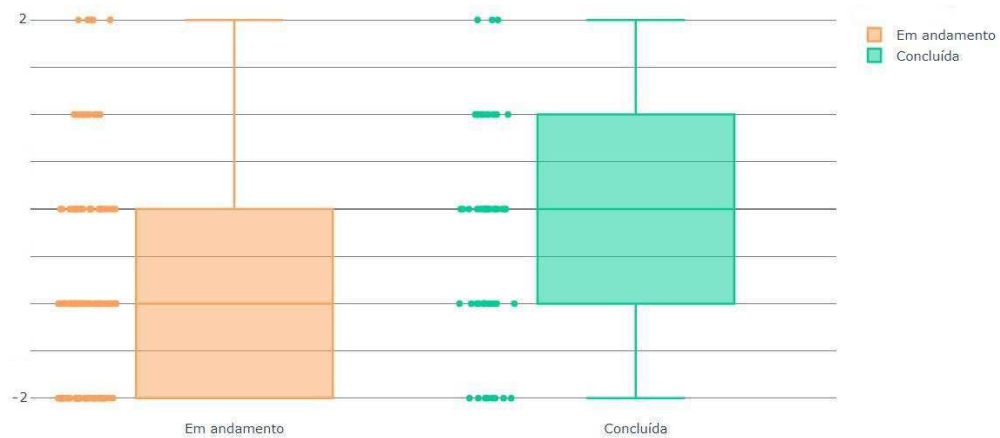
Figura 6.4: Resultados do pré-teste e pós-teste aos quais os participantes foram submetidos.



Um primeiro ponto a ser observado diz respeito ao alto índice de desconhecimento dos participantes sobre as temáticas abordadas, tendo em vista que o PC, após a homologação da BNCC no Brasil, tem sido bastante discutido na comunidade de ensino de computação. Ao fazer um contraponto com os dados de caracterização dos participantes, evidenciamos que esses resultados podem ter sido originados por conta do alto índice de participantes ainda na graduação. O que nos leva a evidências de que as discussões e práticas em torno do estímulo ao PC é bastante evidente na área de computação, necessitando que os esforços sejam redobrados para que a temática passe a ser abordada por outras áreas desde a formação de seus profissionais.

De modo a observarmos melhor se participantes graduandos têm maior tendência a não conhecerem sobre as temáticas que envolvem a PC+, a Figura 6.5 traz a distribuição das afirmativas em dois diagramas de caixa divididos de acordo com o andamento do curso. Para representá-lo, agrupamos as respostas das cinco afirmativas feitas no pré-teste.

Figura 6.5: Distribuição das afirmativas do pré-teste pelos participantes em relação ao andamento da graduação.



Como é possível perceber, a distribuição das afirmativas feitas por participantes graduandos apresenta maior incidência de respostas que tendem a neutralidade e discordância. Ao contrário de participantes graduados que, embora alguns deles tenham discordado ou apresentado posicionamento neutro em relação às afirmativas, apresentam maior incidência de concordarem com as afirmativas apresentadas.

Esta percepção nos leva a indicações que seguem dois caminhos distintos. A primeira pode indicar que os cursos de graduação não estão considerando práticas que envolvem o PC em conjunto com a formação de profissionais de Matemática, que podem vir a atuar em sala de aula. A segunda é que, mesmo com a homologação da BNCC, os ambientes profissionais (escolas) ainda estão passando por modificações de modo a adaptarem seus currículos e impactarem na mudança curricular dos programas de graduação. Estas percepções nos levam a fortalecer que propostas como a PC+ devem ser cada vez mais estimuladas não só diretamente aos alunos em sala de aula, mas no processo de formação de profissionais que irão atuar em sala de aula (futuros professores). O não investimento na formação do professor, como mediador do processo de estímulo, nos leva a evidências do motivo pelo qual estudos ainda relatam resistência por parte desses profissionais.

Ao observar os resultados do pós-teste na Figura 6.4, percebemos que após a condução da intervenção, os participantes sentiram maior confiança em afirmarem concordância. De modo a verificar a significância da diferença entre as afirmativas do pré-teste e pós-teste,

aplicamos o teste de hipóteses de Wilcoxon para verificar se as afirmativas do pré-teste eram significativamente diferentes do pós-teste (indicação de não igualdade) e, posteriormente, verificamos se as afirmativas do pré-teste eram maiores ou menores que a do pós-teste. É válido destacar que o teste de hipótese de Wilcoxon foi usado devido a suposição de não normalidade da amostra testada em função do seu tamanho e por se tratar de uma amostra não aleatória. As mesmas premissas consideradas para a avaliação do pré-teste e pós-teste foram consideradas para os demais testes de hipóteses realizadas ao longo da análise dos dados quantitativos deste estudo. Os resultados podem ser observados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Resultados dos testes de hipóteses para o pré-teste e pós-teste aos quais os participantes foram submetidos.

Hipótese	A1	A2	A3	A4	A5
pré != pós	0,00000064	0,00000072	0,00000030	0,00000020	0,00000017
pré > pós	0,99999968	0,99999964	0,99999985	0,99999990	0,99999992
pré < pós	0,00000032	0,00000036	0,00000015	0,00000010	0,00000008

Ao observar os resultados, para um nível de significância 0.05%, rejeitamos a **H0.0** da **Q1**. O que indica dados significativamente diferentes entre o pré-teste e o pós-teste (teste pareado de Wilcoxon). Ao verificar se as afirmativas do pré-teste eram maiores que a do pós-teste (**H0.1** da **Q1**), para o mesmo nível de significância, podemos observar que ela foi rejeitada. Por fim, aceitamos a hipótese **H0.2** da **Q1** e a indicação é que os resultados do pós-teste foram maiores, significativamente, que os resultados do pré-teste (p-value = 0.00000032). Logo, o nível de conhecimento dos conceitos e práticas gerais que envolvem a PC+ aumentou (pré-teste menor pós-teste). O que indica que a intervenção impactou positivamente o conhecimento prévio dos participantes em relação aos conceitos e práticas gerais que envolvem a PC+. Ou seja, existe evidência de aprendizado causada pela intervenção.

6.3.2 Avaliação Processual

De modo complementar a avaliação de intervenção, que visa analisar os impactos da formação antes e depois de sua realização, a avaliação processual teve como objetivo avaliar todo o curso de forma continuada. Sendo assim, permitir que os participantes fossem

avaliados durante toda a realização das atividades e o quanto assimilaram dos conteúdos apresentados. Os resultados apresentados a seguir servem de suporte aos encontrados e discutidos na avaliação de intervenção, provendo uma visão em maiores detalhes da assimilação dos conceitos específicos em torno da estratégia PC+ por parte dos participantes.

O curso ofertado foi dividido em três módulos que visavam transmitir conceitos gerais que envolvem a PC+ e possibilitar que professores fossem capazes de entender como identificar competências do PC em questões de Matemática e, por fim, pudessem conceber e catalogar questões. Diante desta organização, mensuramos duas características já discutidas anteriormente: as reações e o aprendizado. As reações dizem respeito aos sentimentos dos participantes quanto à PC+ e o aprendizado diz respeito aos conceitos e práticas que foram assimilados pelos participantes.

Para cada módulo, os participantes responderam a um questionário que tinha por objetivo medir as reações. No que diz respeito ao aprendizado, cada módulo continha uma atividade prática que tinha por objetivo medir a assimilação dos conceitos e verificar a capacidade de replicar esses conceitos por cada um dos participantes. Ao longo das próximas seções, apresentaremos os resultados alcançados do ponto de vista processual e as implicações subjetivas dos participantes a cada um dos módulos a partir da condução dos grupos focais. Os grupos focais foram organizados e conduzidos em todos os encontros síncronos e o objetivo foi coletar informações complementares dos participantes em relação aos conceitos que não foram possíveis de serem mensurados nas reações e no aprendizado de cada um deles. Sendo assim, para cada módulo apresentaremos: os resultados das reações e do aprendizado em termos quantitativos. Ao final, uma visão qualitativa com base nas discussões mediadas a partir dos grupos focais das mudanças comportamentais e dos possíveis resultados que a abordagem pode trazer para sala de aula.

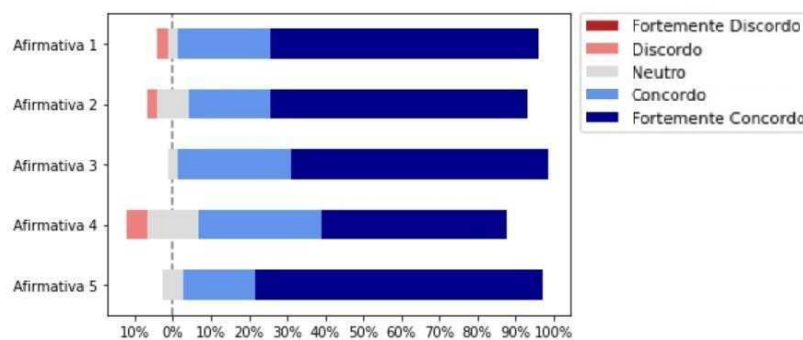
Módulo 1: Introdução

O Módulo 1 teve como principal objetivo tratar sobre conceitos mais gerais que envolvem o PC como estratégia para resolução de problemas. Este módulo abrange conceitos sobre o PC e suas habilidades; as relações existentes entre o PC e o processo de resolução de problemas; as vertentes interdisciplinares de estímulo ao PC; e a combinação de conceitos e práticas que envolvem o PC e a disciplina de Matemática. O primeiro tópico a ser discutido

nesta seção diz respeito às reações dos participantes. As afirmativas a serem respondidas pelos participantes seguiram a mesma estruturação para todos os módulos do curso (Módulo 1, 2 e 3). As afirmativas de reações dizem respeito a **Métrica 1** da **Q3** (Quais as reações dos participantes em relação aos conceitos e práticas que envolvem a PC+?). Neste módulo, especificamente as reações aos conceitos introdutórios.

A Figura 6.6 traz a distribuição de cada afirmativa. Como é possível observar, as respostas dos participantes indicam majoritariamente positividade nas afirmativas. Estes resultados, para a amostra tratada neste estudo, indicam que os participantes ficaram satisfeitos com os conceitos e práticas que envolveram o módulo 1 do curso. Além disso, que ele foi relevante para que pudessem assimilar e melhorar o entendimento sobre os conceitos que envolvem o PC. De modo a permitir que eles possam aplicar esses conceitos em sala de aula e estimular outros profissionais.

Figura 6.6: Resultados das reações dos participantes ao módulo 1.



De modo complementar, avaliamos se as afirmativas eram significativamente positivas a partir de testes de hipóteses (Wilcoxon). Neste caso, diferente dos testes executados na avaliação de intervenção, onde verificamos a diferença entre o pré e pós-testes, aqui procuramos analisar se a relevância das afirmativas é significativamente maior que a neutralidade (0). Os resultados podem ser observados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Resultados dos testes de hipóteses para as reações dos participantes ao módulo 1.

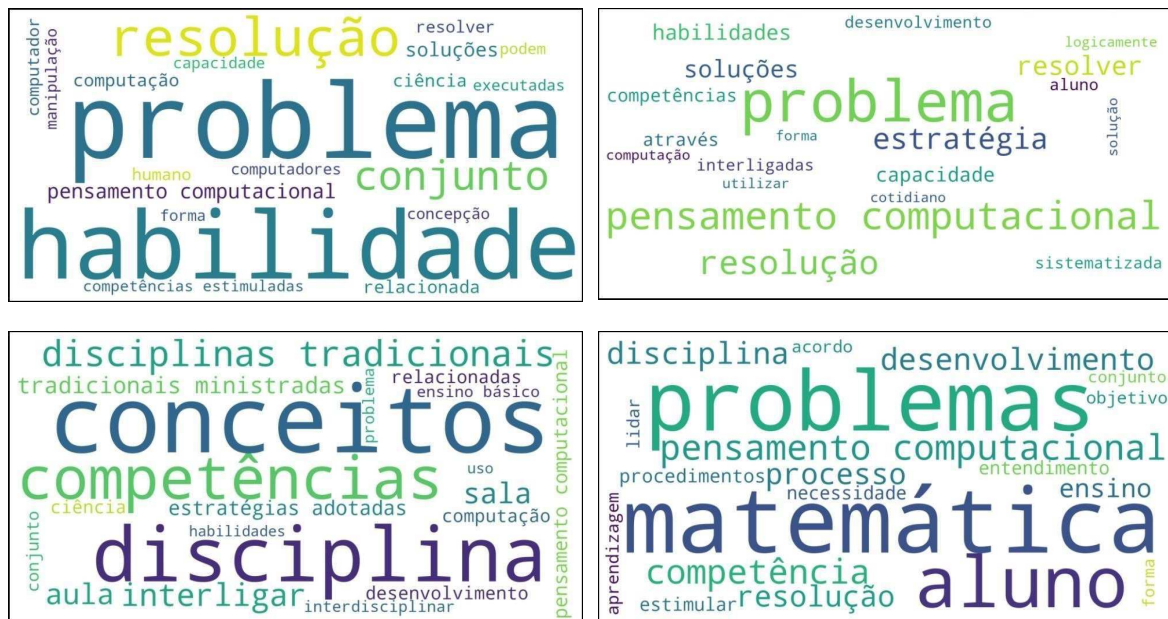
Hipótese	A1	A2	A3	A4	A5
reações != 0	0,00000006	0,00000014	0,00000004	0,00000152	0,00000004
reações > 0	0,00000003	0,00000007	0,00000002	0,00000076	0,00000001
reações < 0	0,99999999	0,99999998	0,99999998	0,99999997	0,00000002

Como é possível observar, para um nível de significância de 0.05%, rejeitamos a hipótese de igualdade pois as reações foram significativamente diferentes de 0 (**H.0.0** da **Q3**). Ao analisar as alternativas que indicam reações maiores ou menores do que zero, rejeitamos a hipótese de que as reações eram menores que zero (**H.0.2** da **Q3**) e aceitamos a hipótese de que as afirmativas de reações são, para esta amostra, significativamente maiores que zero (**H.0.1** da **Q3**). Essa aceitação indica que as afirmativas foram positivas e corroboram estatisticamente com a análise conduzida anteriormente a partir da Figura 6.6. Ou seja, indicam que os participantes ficaram satisfeitos com os conceitos e práticas que envolveram o módulo 1 do curso. Além disso, que ele foi relevante para que pudessem assimilar e melhorar o entendimento sobre os conceitos que envolvem o PC. De modo a permitir que eles possam aplicar esses conceitos em sala de aula e estimular outros profissionais.

No que diz respeito ao aprendizado dos conceitos, submetemos os participantes a um conjunto de perguntas onde eles respondiam abertamente sobre os conceitos questionados em cada uma delas. Essas perguntas estão descritas na definição inicial das questões de pesquisa, hipóteses e métricas no início deste capítulo. Elas foram elaboradas de forma a mensurar a **Métrica 1** em resposta a **Q2** (Os participantes aprenderam os conceitos e práticas específicos que envolvem a PC+?). Neste módulo, especificamente o aprendizado dos conceitos introdutórios.

A relação dos termos mais frequentes para cada pergunta realizada pode ser observada na Figura 6.7 de forma resumida. A imagem traz o agrupamento em nuvens de palavras para as quatro perguntas abertas anteriormente citadas e representam apenas os termos mais frequentes para que seja possível tornar mais clara a visualização das informações analisadas.

Figura 6.7: Resultados das respostas abertas às questões do módulo 1.



Para analisar as respostas ao questionário de perguntas e entender se houve, de fato, assimilação dos conceitos introdutórios do PC, analisamos as respostas abertas dos participantes a partir da quantificação de termos mais comuns mencionados por eles. Para quantificação também consideramos bigramas para evitar descaracterização dos termos: ex. Pensamento Computacional **NÃO** é um conjunto de habilidades. O termo “conjunto” e “habilidades” pode ser antecedido por uma negação e assim gerar falsas conclusões relacionadas com a temática discutida pelos participantes. De modo complementar, exploramos as respostas individualmente a fim de identificar qualquer ruído e trouxemos alguns exemplos que fortalecem nossas avaliações.

- **Pergunta 1:** O que é Pensamento Computacional?

- Como já discutido ao longo deste trabalho, PC diz respeito a habilidades e competências que apoiam a resolução de problemas. Ao observar a nuvem de palavras (coluna 1 linha 1), percebemos que os termos mais citados pelos participantes em suas respostas foram: habilidade; problema; resolução e conjunto. Logo, a indicação nos leva a percepção que as respostas tendem a caracterizar o PC como um conjunto de habilidades para resolução de problemas.

- Essas constatações podem ser observadas nas respostas abertas à pergunta por alguns dos participantes:
 - * **Participante 1 Turma 1:** *“O Pensamento Computacional é um conjunto de habilidades e operações mentais que visa solucionar problemas utilizando como bases de raciocínio a abstração a decomposição o reconhecimento de padrões e o algoritmo.”*
 - * **Participante 22 Turma 2:** *“São habilidades que você adquire que lhe ajudam e facilitam na resolução de problemas.”*
 - * **Participante 32 Turma 2:** *“É o conjunto de capacidades e habilidades do ser humano que se relacionam com a concepção de soluções de problemas envolvendo estratégias, métodos e práticas da Ciência da Computação.”*
- **Pergunta 2:** Qual a relação existente entre Pensamento Computacional e a Resolução de Problemas?
 - Como já mencionado neste trabalho, o PC pode ser considerado uma abordagem para resolução de problemas. Ao observar o segundo conjunto de termos (coluna 2 linha 1), observamos que alguns dos termos mais citados pelos participantes foram: problema; pensamento computacional; resolução; e estratégia. Sendo assim, a indicação dos termos nos leva ao entendimento de que as respostas tendem a caracterizar o PC como uma estratégia para resolução de problemas.
 - As constatações podem ser observadas nas respostas dos participantes, como exemplo:
 - * **Participante 2 Turma 1:** *“O Pensamento Computacional (PC) atua na criação de estratégias sistematizadas e logicamente válidas para resolver problemas. Com efeito, o PC é uma abordagem para resolver problemas tendo como mecanismo de construção da solução os fundamentos da Ciência da Computação.”*
 - * **Participante 17 Turma 2:** *“O PC passou a ser considerado uma estratégia para RP que pode ser incorporada a qualquer segmento de pesquisa, pois tem como objetivo resolver problemas do cotidiano voltados para o ambiente em torno da CC.”*

* **Participante 35 Turma 2:** *“O pensamento computacional desenha soluções para que problemas sejam resolvidos.”*

● **Pergunta 3:** Qual a principal característica da vertente interdisciplinar de estímulo ao Pensamento Computacional?

– A principal característica da vertente interdisciplinar do PC é o estímulo às habilidades em conjunto com as temáticas das disciplinas do currículo base das escolas. Ao observar o terceiro conjunto de termos (coluna 1 linha 2), podemos observar que alguns dos termos mais citados foram: conceitos; competências; disciplina(s); interligar; tradicionais. O conjunto de termos destacados nos levam a indicações de que as respostas tendem a caracterizar a vertente interdisciplinar pelo estímulo às competências em conjunto com as disciplinas tradicionais ministradas em sala de aula de maneira interligada.

– As constatações podem ser observadas nas respostas dos participantes, como exemplo:

* **Participante 18 Turma 2:** *“O desenvolvimento interdisciplinar das competências do PC em conjunto com as disciplinas do ensino básico.”*

* **Participante 29 Turma 2:** *“A principal característica da vertente é a de interligar conceitos em torno das disciplinas tradicionais com estratégia adotadas pela CC.”*

* **Participante 37 Turma 2:** *“Caracterizada pelo desenvolvimento interdisciplinar das competências do Pensamento Computacional em conjunto com as disciplinas do ensino básico. Nessa vertente, as propostas metodológicas têm por objetivo interligar os conceitos em torno de disciplinas tradicionais ministradas em sala de aula com as estratégias adotadas pela Ciência da Computação que estão relacionadas com esses conceitos.”*

● **Pergunta 4:** Qual o impacto do Pensamento Computacional na Matemática de acordo com a Base Nacional Comum Curricular?

– O principal impacto caracterizado pela BNCC em relação ao estímulo ao

PC na Matemática diz respeito à possibilidade de fazer com que os alunos desenvolvam habilidades para resolução de problemas em conjunto com as temáticas da disciplina de Matemática. Ao observar os termos no quarto conjunto (coluna 2 linha 2), podemos observar os mais evidentes: problemas; Matemática; disciplina; desenvolvimento; competência; resolução; e pensamento computacional. Os termos tendem a evidenciar que os participantes destacam que o impacto do PC em conjunto com a Matemática é o de possibilitar o desenvolvimento de competências para resolução de problemas de maneira interdisciplinar.

– As constatações podem ser observadas nas respostas dos participantes:

- * **Participante 2 Turma 1:** *“O PC tem influenciado a modificação curricular em diversos lugares do mundo e não é diferente no Brasil. A BNCC destaca a necessidade da formação do aluno para lidar com a Competência Geral 5 - Cultura Digital. Essa competência geral fortalece a necessidade do desenvolvimento do PC em conjunto com o letramento matemático.”*
- * **Participante 3 Turma 2:** *“É trabalhar a interdisciplinaridade unindo o pensamento computacional com as disciplinas do ensino básico, utilizando estratégias do pensamento computacional para melhor entender os conceitos das disciplinas tradicionais.”*
- * **Participante 29 Turma 2:** *“De acordo com a BNCC, a disciplina de Matemática deve proporcionar o entendimento de conceitos e procedimentos para estimular o Pensamento Computacional com o objetivo de proporcionar que os envolvidos possam conceber soluções para problemas em diversos contextos.”*

Módulo 2: Identificação

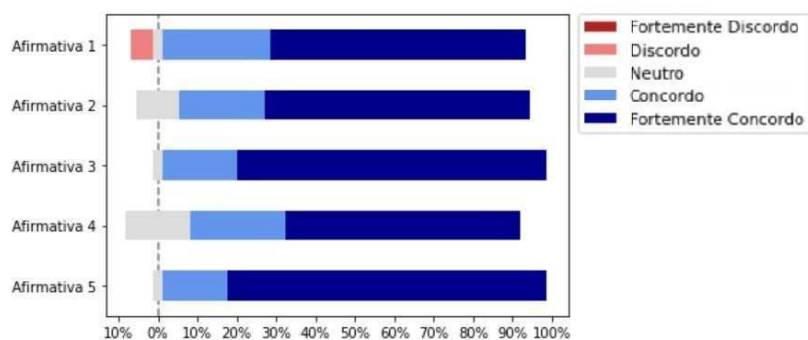
No módulo 2, o principal objetivo foi possibilitar que os participantes assimilassem as definições de aplicação das competências do PC em questões de Matemática e fossem capazes de fazer a leitura de uma questão e identificar quais competências estão sendo estimuladas por ela. Este módulo abrangeu orientações teóricas e práticas sobre como

identificar as competências do PC definidas por Barr e Stephenson [10] em diversas questões tomadas como exemplo da literatura. Essas questões exemplos foram extraídas do conjunto de questões pré-rotuladas com as competências construídas ao longo das pesquisas desde os estudos iniciais descritos no Capítulo 2 [26] e fazem parte das orientações práticas definidas na PC+.

O primeiro tópico a ser discutido nesta seção está relacionado com as reações dos participantes. As afirmativas de reações dizem respeito a **Métrica 1** da **Q3** (Quais as reações dos participantes em relação aos conceitos e práticas que envolvem a PC+?). Neste módulo, tratamos especificamente as reações aos conceitos relacionados com a identificação de competências.

Semelhante ao módulo 1, podemos observar a Figura 6.8. Como podemos perceber, as afirmativas indicam majoritariamente positividade na visão dos participantes (fortemente concordam). Logo, para a amostra de dados coletadas neste estudo, as reações indicam que os participantes ficaram satisfeitos com o módulo. Essa satisfação expressa a indicação da relevância do conteúdo exposto para que eles fossem capazes de avaliar as questões de Matemática usadas e identificar quais eram as competências estimuladas por elas com maior segurança.

Figura 6.8: Resultados das reações dos participantes ao módulo 2.



De maneira complementar, avaliamos a significância das afirmativas a partir de testes de hipóteses (Wilcoxon). Os resultados dos testes de hipóteses para um nível de significância de 0.05% são apresentados na Tabela 6.3.

Tabela 6.3: Resultados dos testes de hipóteses para as reações dos participantes ao módulo 2.

Hipótese	A1	A2	A3	A4	A5
reações $\neq 0$	0,00000016	0,00000011	0,00000002	0,00000035	0,00000002
reações > 0	0,00000008	0,00000006	0,00000001	0,00000017	0,00000001
reações < 0	0,99999992	0,99999994	0,99999999	0,99999983	0,99999999

Como podemos perceber, rejeitamos a hipótese de igualdade (**H0.0** da **Q3**) pois as reações foram significativamente diferentes de 0. Ao analisar as alternativas que indicam reações maiores ou menores do que zero, rejeitamos a hipótese de que as reações eram menores que zero (**H0.1** da **Q3**) e aceitamos a hipótese de que as afirmativas de reações são significativamente maiores que zero (**H0.2** da **Q3**). Essa aceitação indica que as afirmativas foram positivas e corroboram estatisticamente com a análise conduzida anteriormente de que os participantes ficaram satisfeitos com o módulo 2 do curso e que foram fornecidos conteúdos relevantes para aumentar o seu conhecimento de modo a conduzir a proposta em sala de aula.

No que diz respeito ao aprendizado, ao final do módulo, os participantes foram submetidos a um conjunto de 6 questões previamente rotuladas. Para este conjunto de questões, os participantes precisavam fazer a leitura e interpretação delas de modo a identificarem quais as competências do PC que elas estavam estimulando. Ao final, as avaliações individuais foram computadas e comparadas com o espelho de correção dessas questões. O espelho de correção nada mais era do que as anotações de quais competências a questão estava estimulando a partir da análise de especialistas conduzidas anteriormente, como descrito no capítulo 2. Para computar os resultados que indicaram o nível de aprendizado dos participantes, utilizamos a métrica de concordância entre avaliadores Kappa. Essa métrica procura identificar, com base em uma referência de verdade, qual o nível de concordância de outros avaliadores com essa referência de verdade. Sendo assim, cada uma das avaliações, por competência, dos participantes foi comparada usando o método definido. Esse exercício foi elaborado de modo a computar a *Métrica 2* em resposta a *Q2* (Os participantes aprenderam os conceitos e práticas específicos que envolvem a PC+?). Neste módulo, especificamente, medimos o aprendizado dos conceitos relacionados à identificação de competências do PC em questões de Matemática.

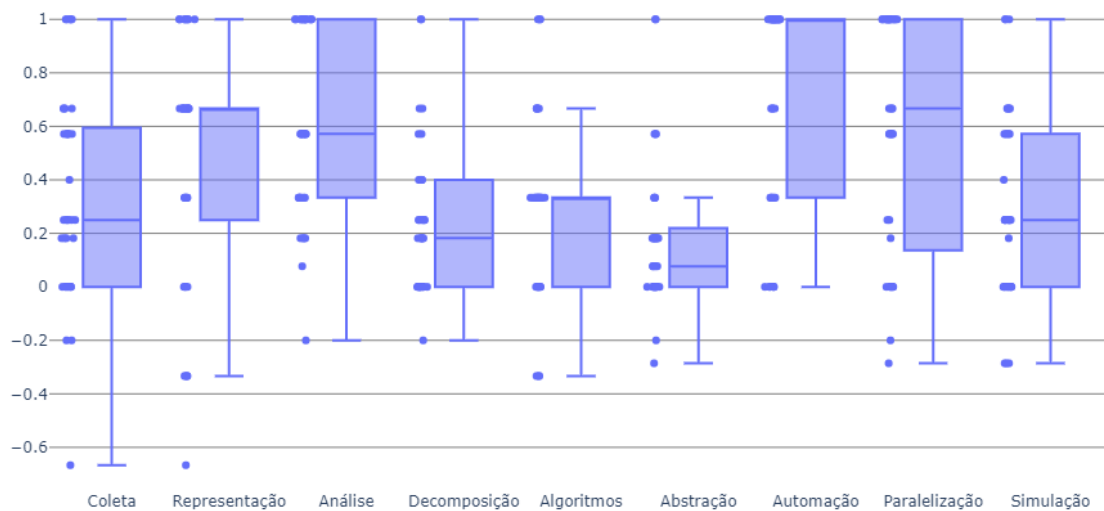
A métrica de concordância de Kappa é interpretada a partir de valores que indicam alto nível de concordância entre os avaliadores (mais próximo de 1); e a não existência de concordância, que pode ser atribuída ao acaso (mais próximos de 0 e valores negativos). A literatura apresenta um modelo de interpretação comumente adotado para indicação do nível de concordância entre avaliadores, esse modelo pode ser observado na Tabela 6.4 e será usado para apoiar a interpretação dos resultados.

Tabela 6.4: Referência para interpretação Kappa.

Kappa	Resultado
< 0,0	Ausência de concordância
0,00 - 0,19	Concordância pobre
0,20 - 0,39	Concordância leve
0,40 - 0,59	Concordância moderada
0,60 - 0,79	Concordância substantiva
0,80 - 1,00	Concordância quase perfeita

A Figura 6.9 apresenta a distribuição de concordância de todos os participantes para cada uma das competências por meio de diagramas de caixa. O cálculo do coeficiente de Kappa foi feito para cada uma das competências nas seis questões. Sendo assim, a distribuição apresentada no gráfico indica para a competência Coleta de Dados, por exemplo, a referência de verdade da competência Coleta de Dados nas questões 1, 2, 3, 4, 5 e 6; comparada com cada uma das avaliações individuais dos participantes. Logo, para cada participante, foram computadas a avaliação da competência Coleta de Dados também nas questões de 1 a 6. Logo, os dois vetores comparados por meio do coeficiente de Kappa, para cada participante, pode ser lido da seguinte maneira: vetor verdade da competência Coleta de Dados nas seis questões: 0, 1, 1, 1, 1, 0; vetor de avaliação do participante 1 com a competência Coleta de Dados: 0, 1, 1, 1, 1, 0. Seguindo estas definições, a comparação entre a referência de verdade com a avaliação de cada um dos participantes foi realizada. Para o exemplo citado, o coeficiente Kappa indica concordância 1 (concordância perfeita).

Figura 6.9: Resultado do nível de concordância entre os participantes.



Como podemos observar, o coeficiente de concordância das questões apresenta majoritariamente médias maiores que zero. O que nos mostra indícios, para esta amostra coletada, que as avaliações, no geral, não tendem ao acaso. No entanto, para o resultado de alguns participantes em específico, observamos avaliações menores ou igual a 0, indicando discordância entre a referência de verdade e a referência específica de avaliação desses participantes. Em complemento, embora não tenhamos medidas que indicam discordância (menor que 0), a competência Abstração foi a que apresentou maior indício de discordância (Kappa mediano = 0.07692308). De acordo com o índice de interpretabilidade da métrica Kappa, valores entre 0.00 e 0.19 são caracterizados como pobres em termos de concordância. O mesmo pode ser observado para a competência Decomposição (Kappa mediano = 0.18181802). As demais competências, considerando a mediana das avaliações expressadas por meio do coeficiente de concordância Kappa, apresentaram valores maiores que 0.19 (minimamente indicando um nível de concordância leve). É válido observar que, considerando o intervalo de 0.60 - 1.00 (concordância substantiva a perfeita) podemos observar as competências Representação de Dados; Automação e Paralelização. Isso pode indicar que essas competências são mais fáceis de assimilar.

Em complemento, observamos de forma descritiva as informações referentes a média, mediana e variância de todo conjunto de informações, tomando como referência a mediana

de concordância de cada uma das competências. A Tabela 6.5 ilustra as informações.

Tabela 6.5: Média, mediana e variância da concordância Kappa a partir da mediana de todas as competências no módulo 2.

Média	Mediana	Variância
0,44409294	0,33333333	0,08944234

Como podemos observar, os valores de média e mediana são superiores a 0,2, corroborando com a indicação de concordância leve considerando todas as competências. Em termos de variância (0,08944234), percebemos que os valores estão próximos da média. Isso indica que as avaliações, com base no coeficiente de concordância Kappa, estão predominantemente próximas de um nível de concordância leve.

Por fim, em termos de verificação de aprendizado, avaliamos se as métricas eram significativamente maiores que 0. Para isso, executamos testes estatísticos de Wilcoxon para a mediana de todas as competências. Os resultados dos testes podem ser observados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Resultados dos testes de hipóteses para o aprendizado dos participantes ao módulo 2.

Hipótese	Resultado
aprendizado $\neq 0$	0,00390625
aprendizado > 0	0,00195313
aprendizado < 0	1,00000000

Como é possível perceber, rejeitamos a hipótese de que os valores de concordância são iguais (**H0.0** da **Q2**), aceitando a hipótese de diferença do teste de Wilcoxon (p-value = 0,00390625) para um nível de significância de 0,05%. Para as hipóteses alternativas, rejeitamos a hipótese que indica que o nível de concordância Kappa foi, em média, menor que 0 (**H0.1** da **Q3**) e aceitamos a indicação de que o nível de concordância foi maior que 0 (**H0.2** da **Q3**). Estas constatações fortalecem as evidências de que houve concordância entre os participantes e, conseqüentemente, aprendizado dos conceitos transmitidos no módulo 2.

Ao observarmos os resultados de concordância para cada uma das competências, percebemos que algumas apresentam divergências no que diz respeito à mediana. Este

comportamento pode ser atribuído ao nível de subjetividade envolvido no processo de identificação. Ou seja, algumas competências podem ser mais fáceis de identificar e outras não tão triviais. Além disso, o entendimento entre a aplicabilidade das competências pode ser diferente quando relacionados aos participantes do curso, graduados e graduandos de cursos superiores em Matemática; e os avaliadores especialistas responsáveis por catalogar as questões de Matemática que compõem o exercício, profissionais de computação.

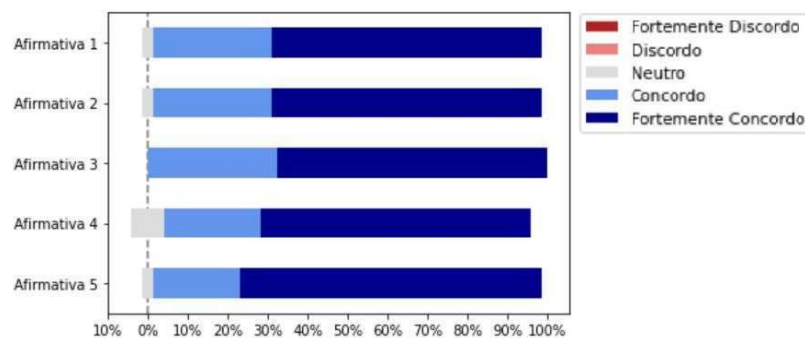
Módulo 3: Concepção e Catalogação

No módulo 3, objetivamos possibilitar que os participantes pudessem assimilar a estratégia PC+ como um todo. De modo que fosse possível que eles aprendessem como conceber e catalogar as questões por análise majoritária. Logo, o módulo abrangeu orientações teóricas e práticas sobre como criar questões analisando como cada uma das competências podem ser postas em prática. Além disso, como atividade conduzida ao final do módulo, cada participante foi orientado a criar e pré-catalogar sua questão sob o seu ponto de vista de identificação. De posse das questões e suas referências de avaliação, criada e analisada pelo seu criador, conduzimos as avaliações majoritárias por pares às cegas. Ou seja, foram sorteados três avaliadores para cada questão e cada avaliador se debruçou sobre a identificação de competências do PC em até três questões. O processo aqui se assemelhou ao módulo 2, mas com diferenças em relação à referência de verdade e a quantidade de avaliadores para cálculo da métrica de concordância Kappa. Neste módulo, a referência de verdade era o próprio espelho de competências fornecido pelo criador da questão. E as avaliações foram conduzidas por no máximo três avaliadores, diferentemente do módulo 2 que cada questão foi avaliada pelos 37 participantes. Esse exercício foi elaborado de modo a computar a *Métrica 3* em resposta a *Q2* (Os participantes aprenderam os conceitos e práticas específicos que envolvem a PC+?). Neste módulo, especificamente o aprendizado dos conceitos relacionados à concepção e catalogação de competências em questões de Matemática.

Semelhante à análise dos dados do módulo anterior, iniciaremos nos debruçando sobre as reações dos participantes. Ao observar a Figura 6.10, podemos perceber que as reações dos participantes foram, novamente, majoritariamente positivas. Logo, para a amostra considerada neste estudo, indicam satisfação por parte dos participantes com os conteúdos

ministrados. Além disso, indicam relevância para que eles possam conduzir os mesmos procedimentos em sala de aula - tendo em vista as implicações positivas relacionadas às afirmativas que dizem respeito ao aumento de conhecimento sobre a temática. É válido destacar que, dos módulos que haviam sido analisados até então, esse foi o que mais apresentou registros de discordância por alguns participantes.

Figura 6.10: Resultados das reações dos participantes ao módulo 3.



Semelhante aos procedimentos adotados no módulo 2, avaliamos a significância seguindo a mesma abordagem descrita na seção anterior. Para isso, executamos o teste de Wilcoxon com um nível de significância de 0.05% e os resultados podem ser observados na Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Resultados dos testes de hipóteses para as reações dos participantes ao módulo 3.

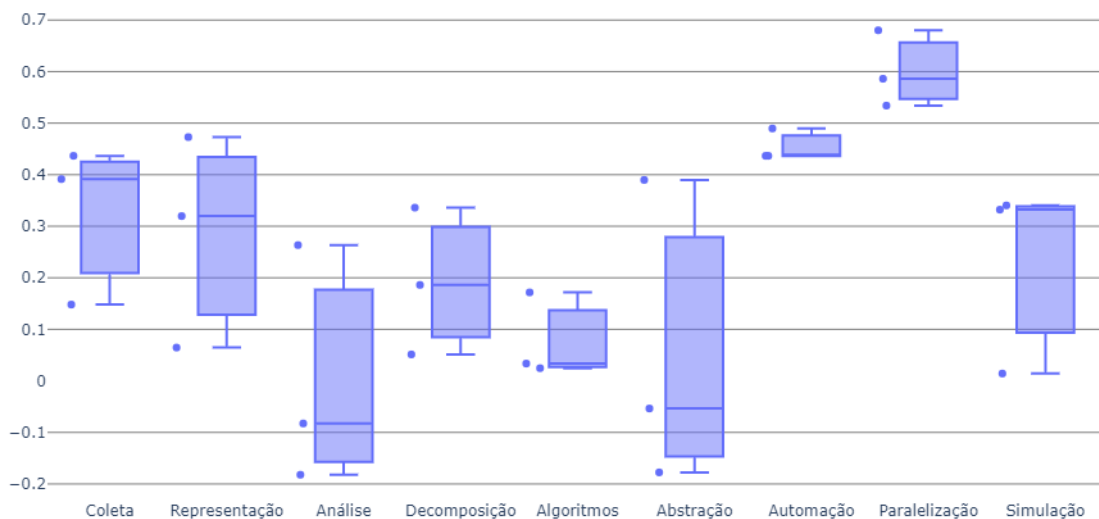
Hipótese	A1	A2	A3	A4	A5
reações $\neq 0$	0,00000004	0,00000004	0,00000003	0,00000008	0,00000003
reações > 0	0,00000002	0,00000002	0,00000002	0,00000004	0,00000001
reações < 0	0,99999998	0,99999998	0,99999998	0,99999996	0,99999999

Como pode ser observado, aceitamos a hipótese de diferença entre as métricas de reação e 0; ou seja, rejeitamos a hipótese de igualdade dos valores mensurados com 0 (**H0.0 da Q3**). Para a hipótese alternativa que indica a possibilidade de as reações serem menores que zero (**H0.1 da Q3**), nós a rejeitamos. Isto indica que, mesmo sendo o módulo com maior indicação de reações de discordância (negativas), elas não foram significativamente relevantes. Logo, a maioria dos participantes indicaram positividade em suas reações ao módulo 3. Tendo a hipótese nula rejeitada em conjunto com a hipótese alternativa que indicava reações menores que zero, aceitamos a hipótese que indica que as reações são significativamente positivas

(H0.2 da Q3), tendo em vista que todos os valores estatísticos (p-values) foram menores que 0.05 de significância.

No que diz respeito ao aprendizado, medida a partir do coeficiente de concordância entre os avaliadores com a referência de verdade. Discutiremos sobre os dados computados após a criação das questões e envio dos espelhos de competências pelos participantes criadores (37 questões criadas e espelhos enviados); seguido pelo processo de catalogação dessas questões conduzida por pares às cegas por até três outros participantes. A métrica usada para avaliação é a mesma do módulo 2 e a referência de interpretação pode ser observada na Tabela 6.4. Os resultados estão na Figura 6.11

Figura 6.11: Resultado do nível de concordância entre as avaliações por pares.



Como é possível perceber, diferentemente do módulo 2, percebemos que existiram competências avaliadas nesta etapa que apresentaram medianas abaixo de 0. Isso indica discordância entre os avaliadores para essas competências (Análise de Dados, Algoritmos e Abstração). Para as demais competências, podemos observar semelhança entre os resultados apresentados no módulo 2. Essa queda nos valores pode indicar que as competências citadas apresentam um nível de subjetividade maior e a identificação delas em uma questão não é trivial. Isso faz com que seja necessário revisitar o material de modo a entender como podemos melhorar as descrições e exemplos para que eles apoiem melhor o entendimento de como as competências podem ser lidas nas questões.

As demais competências apresentaram medianas próximas ou acima 0,2, o que indica concordância positivamente leve. É válido destacar que, no módulo 2 e 3, a competência Abstração de dados foi a que apresentou indícios de ser a competência que apresenta menos concordância entre os avaliadores. Outro ponto importante é a diferença na interpretabilidade da competência Análise de Dados, que no módulo 2 apresentou um índice de concordância alto (mediana acima de 0,4) e teve esse índice muito reduzido na condução das avaliações no módulo 3 (mediana abaixo de 0).

De modo complementar, observemos na Tabela 6.8 a mediana, média e variância, tendo como referência a mediana de concordância de cada uma das competências analisadas.

Tabela 6.8: Média, mediana e variância da concordância Kappa a partir da mediana de todas as competências no módulo 3.

Média	Mediana	Variância
0,24617505	0,34354281	0,05863628

Como é possível perceber, semelhante aos resultados de concordância do módulo 2, os resultados de média e mediana estão acima de 0,2, fortalecendo a existência de concordância entre os avaliadores. No entanto, é válido destacar a queda brusca dos valores referentes a média de concordância do módulo 2 (0,44409294) em relação ao módulo 3 (0,24817505). Essa queda pode ser explicada pela forte influência que a média pode sofrer a partir da existência de valores extremos. Sendo assim, como observamos anteriormente, devido ao aumento do número de discordâncias relevantes na condução da identificação de determinadas competências, discordâncias impactaram a média para baixo.

No que diz respeito às evidências estatísticas do módulo 3, analisamos a aprendizagem dos participantes a partir da métrica de concordância de Kappa. Para isso, conduzimos processo de igual semelhança ao módulo 2. A Tabela 6.9 ilustra os resultados das hipóteses testadas (Wilcoxon).

Tabela 6.9: Resultados dos testes de hipóteses para o aprendizado dos participantes ao módulo 3.

Hipótese	Resultado
aprendizado $\neq 0$	0,03906250
aprendizado > 0	0,01953125
aprendizado < 0	0,98632813

Como podemos observar, houve rejeição das hipóteses que indicavam igualdade entre os valores mensurados e zero (**H0.0** da **Q2**); e indicavam que os valores de concordância eram menores que zero (**H0.1** da **Q3**). Logo, aceitamos a hipótese que indica que os valores indicativos da métrica de concordância de Kappa são maiores que 0 (**H0.3** da **Q3**). Isso indica que, a partir do material utilizado, houve assimilação dos conceitos por parte dos participantes. Ou seja, os participantes aprenderam como conduzir o processo de criação e catalogação de questões, isso pode ser observado tomando como referência as reações dos participantes aos módulos 2 e 3; e dos resultados de concordância discutidos.

O que pode ter ocorrido na redução das métricas de concordância entre os participantes pode ser atribuído ao intervalo de tempo entre a condução do módulo 2, focado em atividades para assimilação de como identificar as competências, e a condução da segunda parte do módulo 3, focada no processo de catalogação (duas semanas de intervalo entre as atividades de identificação de competências no módulo 2 e a catalogação majoritária na segunda parte do módulo 3). Esse intervalo pode ter impactado no que é definido como curva de esquecimento [83].

A curva de esquecimento diz respeito à dissociação de conceitos com o passar do tempo, se esses conceitos não forem exercitados de maneira constante. Logo, como a intervenção não foi formulada para executar exercícios complementares após a finalização dos módulos, uma das causas da redução de concordância pode estar associada ao esquecimento somada à subjetividade que envolve algumas competências, fazendo com que os avaliadores tivessem mais confiança para apontar competências mais claras no seu modo de interpretar a questão e deixassem de apontar competências que eles não se sentiram confiantes para indicar.

Grupos Focais

A condução dos grupos focais foi organizada de modo que fosse possível coletar informações subjetivas durante toda a condução da intervenção que não puderam ser expressas a partir dos dados quantitativos coletadas e referentes às reações e ao aprendizado dos participantes. Os grupos focais foram organizados ao fim de cada módulo de conteúdo, sendo sempre realizado no primeiro dia da semana subsequente a abertura do módulo vigente. Logo, foram realizados quatro grupos focais: um ao final do módulo 1; outro ao final do módulo 2; e dois durante o módulo 3, que teve duração de duas semanas.

Para condução dos grupos focais, foi de grande importância definir o escopo de informações que queríamos coletar. Para isso, organizamos um conjunto de questões para delimitar a abrangência das temáticas discutidas durante a condução dos encontros síncronos. Para que fosse possível observar as interações entre os participantes, tendo em vista que a realização de todo o processo foi realizada por este pesquisador que vos escreve, os encontros foram gravados. Durante a realização dos encontros síncronos, atuei como mediador das discussões obedecendo ao escopo delineado, mas deixando que as temáticas relacionadas fossem levantadas e discutidas.

Para que fosse possível analisar as informações geradas a partir da realização dos grupos focais, realizamos a transcrição dos vídeos. Na descrição incluímos também as interações via *chat*, visto que a plataforma utilizada para gravação registrava as informações das interações por texto. A seguir, traremos uma discussão sobre os pontos levantados pelos participantes seguindo uma estrutura de agrupamento dos padrões de temáticas, relacionados às perguntas realizadas, conduzido de forma manual e exploratória. Primeiramente, discutiremos sobre os materiais e conceitos do curso. Em seguida, discutiremos sobre os impactos da estratégia em sala de aula no que diz respeito ao comportamento dos professores e os resultados esperados. A discussão em torno das mudanças comportamentais e dos resultados fazem referência a **Métrica 1 da Q4** (Quais as mudanças comportamentais nos participantes da intervenção e os possíveis resultados esperados com a aplicação dos conceitos e práticas que envolvem a PC+?). Neste estudo qualitativo, as perguntas foram realizadas durante a realização de cada um dos módulos, mas exploradas de maneira conjunta de modo a fornecer impressões unificadas sobre as relações subjetivas estabelecidas durante a condução da intervenção.

O primeiro grupo de perguntas foi pensado de modo a identificar características falhas

no modelo de intervenção e material de apoio utilizado. Ou seja, o que pode ser melhorado para que o aprendizado e reações sejam impactados positivamente. O segundo conjunto de perguntas, por sua vez, foi elaborado para que tivéssemos indicações sobre os dois últimos níveis de medição do modelo de Kirkpatrick: comportamento e resultado. Ressaltamos que esses dois últimos níveis ainda são sobre uma perspectiva dos profissionais participantes do curso.

Sobre os conceitos e materiais usados no curso: As primeiras impressões sobre os materiais e conceitos foram identificadas logo depois da conclusão do módulo 1. Um dos participantes destacou a importância de se construir relações entre a computação e a Matemática, principalmente por conta da relação estabelecida naturalmente entre as duas temáticas. De fato, é importante que as abordagens procurem estreitar os laços existentes entre as disciplinas tradicionais ministradas e os conceitos que envolvem não só a computação como ferramenta, mas por meio da essência do PC. Essa importância já foi discutida ao longo deste documento, inclusive para aproximar o professor e o aluno dos objetivos que estão inseridos em abordagens a partir de vertentes que usam conteúdos específicos da computação para estimular o PC; e de abordagens que consideram a aplicação interdisciplinar.

Ainda relacionado com as observações levantadas, os participantes mencionaram que a principal dificuldade em se conduzir abordagens por computação, por exemplo a robótica, é fazer com que eles entendam que a construção dos algoritmos está fortemente relacionada com a lógica Matemática. No entanto, os alunos de Matemática sentem dificuldades em conduzir o que os participantes denominaram como “algoritmo aplicado”. Esta denominação, nos leva a pensar sobre os diferentes contextos de definição apresentados entre as duas áreas. De fato, quando aprendemos a programar, iniciamos os primeiros algoritmos apenas replicando passo a passos já existentes e, muitas vezes, eles estão diretamente relacionados com a Matemática (e.g. cálculo da média, fórmula de Bhaskara, delta de uma função, entre outras). No entanto, a replicação perde espaço ao longo do tempo para a resolução de problemas que não seguem uma definição de passos pré-estabelecidos. E quando vemos professores ou futuros professores de Matemática citarem o termo “algoritmo aplicado”, remetendo a construção de passos para fazer com que um robô se mova, por exemplo, trazemos à tona a importância da Matemática dentro de todo o processo e

associamos as dificuldades dos alunos em conduzir abordagens por computação pelo fato de eles não terem sido preparados para resolver problemas em um contexto mais amplo – dentro das próprias disciplinas ministradas na escolas. A principal dificuldade hoje, de acordo com os participantes, está nos problemas relacionados com a Matemática básica. Pois, os alunos não entendem como aplicá-la em contextos reais.

Um dos participantes, entendendo as definições apresentadas no documento da BNCC, levantou a necessidade de atenção aos professores. Pois, em nenhum momento de suas formações, eles aprendem a lidar com as estratégias propostas pela BNCC. Logo, ao chegar em sala de aula e se deparar com as exigências estabelecidas pela normativa homologada em 2016, eles se sentem resistentes. Estas constatações vão de encontro às dificuldades levantadas por trabalhos relacionados ao conduzido na intervenção apresentada nesta seção. Discutimos, ao longo deste documento, que uma das principais dificuldades em se aplicar estratégias para estímulo ao PC está no professor e na instituição, que aparentam não estarem preparados para lidarem com as novas diretrizes de ensino. Neste sentido, os participantes destacaram a importância da condução do curso ofertado nesta pesquisa, pois traz uma visão mais abrangente das possibilidades que podem ser postas em prática em sala de aula. E essas possibilidades não estão diretamente relacionadas com conceitos específicos da computação.

Sobre o módulo 2, identificamos outro questionamento relacionado com a forma como a Matemática entende um determinado procedimento e como ela foi posta na exemplificação sobre como identificar competências do PC em questões. O ponto foi levantado a partir do questionamento de um dos participantes em relação ao processo de automação. No material, destacamos o uso de ferramentas para caracterizar a competência automação de procedimentos. No entanto, a participante levantou que são trabalhadas em sua escola estratégias que proporcionam que os alunos desenvolvam o que ela denominou “cálculo mental” e sua dúvida era se ela poderia considerar o processo de entender os padrões de multiplicação e fazer o cálculo “de cabeça” poderia ser considerado automação. Este é um direcionamento importante para que possamos entender se o material de apoio usado no curso deixa claro os conceitos em torno da aplicabilidade das competências. Entendemos que o processo de realização de “cálculos mentais”, a exemplo da soma que, com a recorrência de resolução de exercícios e entendimento sobre como se dá a representação dos números, naturalmente os alunos passam a entender que $5 + 5 = 10$ e por padrão que

$50 + 50 = 100$; e assim por diante. No entanto, esta assimilação de conceitos e abstração de comportamentos repetitivos de modo a ignorarmos fatos menos relevantes está mais relacionada com a competência “Reconhecimento de Padrões” que dentro do nosso escopo de competências tentamos relacionar com a competência “Abstração”. Como apresentado no material de apoio, entendemos que o exemplo trazido não fica explícito na explicação. Essas divergências de entendimento, embora sejam esperadas no contexto desse estudo, devido aos conceitos serem relativamente novos para os participantes, faz com que atentemos a diferentes formas de interpretar a aplicabilidade de determinadas competências. Visto que, as competências do PC não são exclusivas da computação. São competências inerentes ao ser humano e podem ser desenvolvidas de diferentes formas. O PC é apenas uma estratégia para que essas habilidades possam ser desenvolvidas.

Outro ponto levantado, durante as discussões do módulo 3, diz respeito à interligação das competências. Os participantes levantaram que as primeiras competências estudadas eram mais fáceis de entender (Coleta; Representação; e Análise de Dados). Pois, são competências que estão presentes no seu dia a dia, assim como Algoritmos. No entanto, ao realizarmos um contraponto com os resultados quantitativos apresentados anteriormente, percebemos que uma das competências que apresentaram menor índice de concordância foi a “Análise de Dados”. Estas constatações nos permitem retomar as discussões sobre a diferença de entendimento sobre conceitos apresentados em torno das competências do ponto de vista de profissionais de Matemática e cientistas da computação. O exemplo mais prático que caracteriza fortemente esta subjetividade no entendimento sobre a competência, diz respeito à competência algoritmos. Que do ponto de vista da computação diz respeito à construção de passos; já do ponto de vista da Matemática, de acordo com os participantes, diz respeito não só a construção de passos, mas também com a replicação de passos já pré-definidos e amplamente conhecidos no contexto da Matemática.

Neste sentido, nem uma nem outra definição está certa ou errada. O que precisamos nos atentar é ao fato de que os estudantes precisam assumir uma postura de construtores de conhecimento, não apenas repetidores de procedimentos pré-estabelecidos. No que diz respeito a aplicabilidade das competências, os participantes trouxeram um ponto importante já discutido ao longo deste documento: que nem sempre todas as competências serão passíveis de serem colocadas em prática a depender do conteúdo, mas que eles conseguem

enxergar relações entre as competências apresentadas. Um dos participantes trouxe para a discussão que a organização das competências pode ser caracterizada como: cabeça, tronco e membros. Esta observação foi bastante interessante, pois nos leva a pensar nas relações existentes entre as competências ao mesmo tempo que cada uma possui suas especificidades para assimilação e estímulo.

Em relação aos materiais utilizados e aos conceitos apresentados, especificamente que compunham o curso, alguns participantes levantaram a necessidade da apresentação de mais exemplos relacionados aos conceitos apresentados. Quando perguntados sobre que conceitos eles sentiram a necessidade de mais exemplos, eles responderam: abordagens interdisciplinares e aplicabilidade das competências. A necessidade de mais exemplos, levantada pelos participantes, corrobora com a queda entre as concordâncias analisadas a partir dos dados quantitativos. Visto que, os exemplos servem para fixar um determinado conhecimento. Então, devido ao pequeno número de questões usadas para a prática dos conceitos, a assimilação dos conteúdos pode ter sido comprometida. Vejamos alguns posicionamentos dos participantes quanto ao tempo de duração do curso e a necessidade de mais práticas de modo a permitir melhor assimilação dos conceitos:

- **Participante 7 Turma 1:** *“Acredito que esta parte do curso requer mais tempo para entender os objetivos de cada competência e avaliar como elas aparecem em questões de Matemática.”*
- **Participante 15 Turma 2:** *“Ainda fiquei com dúvida, talvez seja falta de pratica ainda.”*
- **Participante 31 Turma 2:** *“Gostaria que houvesse mais exemplos para podermos comparar as competências e avaliarmos como elas se apresentam.”*

Sobre os possíveis impactos da proposta em sala de aula: No que diz respeito aos impactos que eles entendem que podem vir a serem observados em sala de aula, podemos destacar um ponto primordial levantado pelos participantes que diz respeito à inversão do processo de capacitação. Eles destacaram que hoje muitas abordagens são disseminadas, no entanto os materiais usados em sala de aula não permitem que os professores em si, desenvolvam as habilidades essenciais de modo que a aplicabilidade das competências

seja proveitosa em sala de aula. Em complemento, destacaram que hoje são considerados como base de capacitação os alunos e isso precisa ser modificado, de modo a considerar o professor como mediador do processo de ensino e aprendizado praticado no nosso contexto educacional. Isso permitirá que o professor entenda que uma aprendizagem baseada em problemas, com o objetivo de estimular as competências do PC, necessita de uma mudança de mentalidade: principalmente a de entender que um problema não possui um único percurso de resolução.

Outro ponto de destaque diz respeito a uma característica bastante discutida sobre as vertentes por computação. Essa característica diz respeito ao uso de infraestrutura adequada para condução das atividades voltadas à programação, por exemplo. Os participantes destacaram que, dentro da proposta da PC+ a única relação existente com infraestrutura técnica diz respeito à competência “Automação”. No entanto, pelo fato de a estratégia permitir a elaboração de exercícios combinando inúmeras variações de aplicabilidade das competências, essa relação não seria um problema.

Sobre os possíveis impactos nos alunos em função dos resultados alcançados com esta intervenção nos professores, os participantes destacaram que pensar as questões com base nas competências permitirá que os alunos desenvolvam uma forma de pensar soluções para problemas diferentes. Não se apegando ao passo a passo específico apresentado pelo professor em relação a uma determinada temática e proporcionando que o aluno faça abstrações com o mundo real que os conteúdos ministrados possam ser usados para resolver problemas em diferentes contextos. Em complemento, os participantes destacaram que a proposta pode exercer papel fundamental em sala de aula por prezar pela interdisciplinaridade e tornar o aprendizado da disciplina mais significativo para os alunos. No entanto, alguns deles levantaram que produzir questões seguindo as definições da PC+ envolve um nível de complexidade que demandará mais tempo de dedicação por parte deles, o que pode ser um impeditivo para que de fato o estímulo ao PC ocorra a partir de questões como proposto pela PC+. Vejamos alguns posicionamentos dos participantes:

- **Participante 22 Turma 2:** *“Eu particularmente não tinha muita noção sobre o assunto e agora vejo que de fundamental importância que professores tenham essa noção para que consigam trabalhar melhor e ampliar sua visão de ensino aprendizagem em sala de aula.”*

- **Participante 32 Turma 2:** *“A proposta vai me permitir que eu lance mão da Matemática tradicional e aborde uma Matemática mais narrativa na qual o aluno descreve pra mim o que ele fez com coerência e lógica do ponto de vista de conhecimento.”*
- **Participante 36 Turma 2:** *“A forma de pensar esse modelo de questões fará o professor se deslocar um pouco desse lugar do acerto, e trabalhar bem com essa questão da tentativa, aí talvez o aluno comece a ver até mesmo a Matemática com uma outra forma, outro olhar, de que ela pode resolver realmente problemas mais reais do que resolver apenas problemas de equação de segundo grau. Precisamos estimular competências e não apenas padrões de resolução.”*

6.4 Ameaças a Validade

Alguns pontos ameaçam a validade de nosso estudo. No que diz respeito à validade interna, a amostra é formada por participantes de dois diferentes momentos de realização do curso. Sendo assim, o tempo e as condições de execução podem ter impactado a dedicação às atividades. Tendo em vista que, a primeira turma foi conduzida no período de recesso escolar e a segunda durante as atividades do ano letivo. Isso tanto para os participantes graduandos, como para os graduados. Para entender se essas diferentes condições impactaram nos resultados, procuramos identificar se os resultados apresentados eram diferentes nos dois grupos, mas não conseguimos evidenciar impactos relacionados ao período de realização do curso ou características específicas dos participantes.

Sobre a validade do construto, aplicamos as definições para as habilidades do PC no contexto da Matemática citadas na literatura. No entanto, algumas competências podem ser interpretadas sobre diferentes perspectivas e contextos. Para contornar essa problemática, mantivemos a definição de dimensionalidade mais abrangente da literatura, que envolve nove competências facilmente correlacionadas com as demais definições que podem ser observados nos mais diversos contextos e trabalhos apresentados na literatura.

No que diz respeito à validade externa, embora a chamada para participação tenha sido aberta ao público geral, nós construímos parcerias para divulgação muito específicas. Isso impactou numa maior incidência de participantes de Campina Grande - PB, fazendo

com que não possamos generalizar os resultados para todos os participantes graduados e graduandos de cursos superiores em Matemática. No entanto, conseguimos alcançar um número mínimo recomendado (30) de participantes na nossa amostra (37) de modo a permitir alguma relevância estatística, mesmo que a amostra não tenha sido extraída aleatoriamente de um grupo maior de indivíduos. De toda forma, para que as evidências sejam fortalecidas, a população precisa ser suficiente maior do que a considerada neste estudo para que a amostra seja extraída de forma aleatória.

Por fim, embora possamos identificar pontos de ameaça a validade do estudo, toda a estrutura de aplicação pode ser reproduzida para outros participantes de modo que seja possível inferir resultados mais robustos. Todo material usado no curso, tais como vídeos, textos, formulários e definições para coleta de dados e análise, podem ser re-instanciados para replicação da intervenção. O acesso as ferramentas de coleta e aos materiais em vídeo e texto usados no curso pode ser feito em contato com o autor desta pesquisa². Visto que, os acessos, até a publicação deste documento, não estão públicos. Os demais materiais usados e toda organização da intervenção e a referência do método proposta podem ser acessados por este documento.

6.5 Resumo do Capítulo

Neste capítulo apresentamos as definições para condução de uma intervenção com professores e futuros professores de Matemática de modo a medir a assimilação dos conceitos e práticas que envolvem a PC+. A intervenção foi organizada para que fosse possível medir conceitos mais gerais e conceitos mais específicos da abordagem. Os resultados apontam que, para amostra de participantes, sob uma perspectiva quantitativa e qualitativa, houve assimilação dos conceitos e que os professores aprenderam a criar e catalogar competências com um nível de concordância leve.

²Erick John Fidelis Costa: erickcosta@copin.ufcg.edu.br

Capítulo 7

Considerações Finais e Trabalhos

Futuros

Neste trabalho, nós propusemos e avaliamos uma estratégia para estímulo ao PC, no contexto da disciplina de Matemática, a partir de questões, sem uso do computador. A estratégia, denominada PC+, teve como principal objetivo possibilitar que professores de Matemática possam estimular as competências do PC a partir de recursos pedagógicos da própria disciplina, sem a dependência de infraestrutura técnica ou condução de atividades relacionadas com disciplinas muito específicas da Ciência da Computação, para estimular a capacidade de resolução de problemas em alunos do ensino fundamental (**OE1**).

Para isso, apresentamos um conjunto de orientações teóricas e práticas, além de um conjunto de materiais e ferramentas que apoiam o aprendizado dos conceitos em torno do processo de concepção de questões e catalogação de competências. Isso com o objetivo de construir questões que podem ser usadas em sala de aula para estimular a capacidade de resolução de problemas nos alunos. Esse conjunto de orientações teóricas e práticas podem ser re-instanciadas de modo a possibilitar a capacitação de mais profissionais interessados nas práticas da PC+ (**OE2**).

Em complemento, promovemos o aprendizado dos conceitos a partir de um curso de capacitação. Esse curso foi proposto a partir da definição de um quase-experimento que teve por objetivo medir as reações, o aprendizado, o comportamento e os resultados da aplicação da PC+ com graduados e graduandos de cursos superiores em Matemática. Os resultados apontam para evidências de que as reações dos participantes à exposição do método foram

majoritariamente positivas. Além disso, apontam que houve aprendizado dos conceitos e que esse aprendizado pode impactar mudanças comportamentais nos participantes e nos resultados em sala de aula, possibilitando que os alunos se tornem melhores resolvedores de problemas (OE3).

Como contribuições secundárias, destacamos a base de dados de questões de Matemática catalogadas com as competências do PC; a construção de classificadores automáticos de questões, de modo que seja possível reduzir o esforço em torno do processo de catalogação de competências; e o Compensar, que disponibiliza *online* um conjunto de ferramentas, em *software*, que viabilizam a possibilidade dos professores instanciarem a estratégia metodológica PC+.

Com base nos objetivos específicos alcançados e nos resultados analisados, entendemos que a PC+ evidencia a possibilidade de que professores de Matemática podem estimular as competências do PC a partir de recursos pedagógicos da própria disciplina, sem a dependência de infraestrutura técnica ou condução de atividades relacionadas com disciplinas muito específicas da Ciência da Computação, para estimular a capacidade de resolução de problemas em alunos do ensino fundamental. As questões podem atuar como um importante recurso pedagógico para desenvolver nos alunos habilidades para resolução de problemas a partir do estímulo às competências do PC (OG).

Diante dos objetivos alcançados e das contribuições realizadas, possibilidades para evolução do trabalho são diversas. Algumas delas são destacadas a seguir:

- Adaptar a atual proposta de capacitação para que a carga horária seja expandida e os participantes possam exercitar melhor os conceitos, de modo a avaliar se o aprendizado dos deles tende a melhorar.
- Propor em complemento às orientações teóricas e práticas mais exemplos de questões catalogadas, para que os conceitos possam ser melhor absorvidos pelos participantes.
- Ampliar a disseminação da proposta de modo a evidenciar com maior capacidade de generalização os impactos causados.
- Analisar a possibilidade de expandir os conceitos e práticas para além do contexto da disciplina de Matemática (e.g química, física e biologia).

- De posse das novas questões concebidas e catalogadas durante a intervenção de capacitação, se debruçar novamente sobre os classificadores automáticos com o objetivo de reduzir ou até mesmo eliminar a necessidade de condução da catalogação manual majoritária.
- Unir a PC+ ao ambiente Compensar com o objetivo de construir um repositório colaborativo de questões rotuladas com suas competências e apoiar a prática dessas questões por professores em sala de aula.
- Usar as questões concebidas e os seus catálogos de competências para auxiliar os professores a acompanharem as reais dificuldades dos alunos e promover um aprendizado mais significativo com base nessas dificuldades.
- Entender quais competências são mais importantes no processo de desenvolvimento do aluno e quais geram maior impacto no aprendizado de modo a verificar a possibilidade de reduzir a dimensionalidade de competências apresentadas e objetivar mais toda a estratégia.
- Analisar se o impacto das competências se dá a partir da quantidade ou se competências específicas estimulam melhor a capacidade de resolução de problemas dos alunos.

Dada as considerações, esperamos que este estudo promova o interesse por práticas interdisciplinares de estímulo ao PC e impulse estudos mais aprofundados sobre a temática no contexto da disciplina de Matemática e outras disciplinas do ciclo básico de ensino. É de grande importância que as questões e seus catálogos sejam colocadas em prática em sala de aula para que os impactos nos alunos possam ser medidos com o objetivo de verificar se as competências corroboram para a melhora na capacidade de resolução de problemas desses alunos.

Bibliografia

- [1] José Ricardo Pinto de Abreu. Contexto atual do ensino médico: metodologias tradicionais e ativas: necessidades pedagógicas dos professores e da estrutura das escolas. 2009.
- [2] Gashawa Ahmed, Jalal Nouri, LeChen Zhang, and Eva Norén. Didactic methods of integrating programming in mathematics in primary school: Findings from a swedish national project. In *Proceedings of the 51st ACM technical symposium on computer science education*, pages 261–267, 2020.
- [3] George M Alliger and Elizabeth A Janak. Kirkpatrick’s levels of training criteria: Thirty years later. *Personnel psychology*, 42(2):331–342, 1989.
- [4] Charoula Angeli, Joke Voogt, Andrew Fluck, Mary Webb, Margaret Cox, Joyce Malyn-Smith, and Jason Zagami. A k-6 computational thinking curriculum framework: Implications for teacher knowledge. *Journal of Educational Technology & Society*, 19(3):47–57, 2016.
- [5] Ricardo ANTONELLO, Rafael Garlet OLIVEIRA, Ruan Diego BEVILAQUA, Ruan Machado BECKER, Yan Caion Vieira CARDOZO, et al. Robôs como ferramenta extensionista: a experiência do projeto de robótica pedagógica com a tecnologia de robôs lego mindstorms® do ifc-campus luzerna. *Extensão Tecnológica: Revista de Extensão do Instituto Federal Catarinense*, (12):42–61, 2020.
- [6] Michal Armoni, Orni Meerbaum-Salant, and Mordechai Ben-Ari. From scratch to “real” programming. *ACM Trans. Comput. Educ.*, 14(4), February 2015.
- [7] Dirce Stein Backes, Juliana Silveira Colomé, Rolf Herdmann Erdmann, and

- Valéria Lerch Lunardi. Grupo focal como técnica de coleta e análise de dados em pesquisas qualitativas. *O mundo da saúde*, 35(4):438–442, 2011.
- [8] Albert Bandura. Self-efficacy mechanism in human agency. *American psychologist*, 37(2):122, 1982.
- [9] Thiago Barcelos, Roberto Muñoz, Rodolfo Villarroel Acevedo, and Ismar Frango Silveira. Relações entre o pensamento computacional e a matemática: uma revisão sistemática da literatura. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 4, page 1369, 2015.
- [10] Valerie Barr and Chris Stephenson. Bringing computational thinking to k-12: What is involved and what is the role of the computer science education community? *ACM Inroads*, 2(1):48–54, February 2011.
- [11] Howard S Barrows. The essentials of problem-based learning. *Journal of Dental Education*, 62(9):630–33, 1998.
- [12] Walter Antonio Bazzo. A pertinência de abordagens cts na educação tecnológica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 28(1):83–99, 2002.
- [13] Tim BELL, IH WITTEN, and Mike FELLOWS. Computer science unplugged-ensinando ciência da computação sem o uso do computador. 2011, 2018.
- [14] Paulo Blikstein. O pensamento computacional e a reinvenção do computador na educação. *Education & Courses*, 2008.
- [15] BNCC BRASIL. Base nacional curricular comum (proposta). *Ministério da Educação, Brasília*, 2016.
- [16] Virginia Braun and Victoria Clarke. Thematic analysis. 2012.
- [17] Jeanne da Silva Barbosa Bulcão, Crisiany Sousa, Carlos José Azevedo, Charles Madeira, and André Campos. Computação desplugada alinhada aos descritores de matemática do saeb: Um relato de experiência. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 8, page 407, 2019.

- [18] Dinah Martins de Souza Campos. Psicologia da aprendizagem. In *Psicologia da aprendizagem*, pages 304–304. 2003.
- [19] Robert M Capraro, Mary Margaret Capraro, and James R Morgan. *STEM project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [20] Helena Chmura Kraemer, Vyjeyanthi S Periyakoil, and Art Noda. Kappa coefficients in medical research. *Statistics in medicine*, 21(14):2109–2129, 2002.
- [21] K-12 Computer Science Framework Steering Committee et al. *K-12 computer science framework*. ACM, 2016.
- [22] E. J. F. Costa, L. M. R. S. Campos, and D. Dario Serey Guerrero. Computational thinking in mathematics education: A joint approach to encourage problem-solving ability. In *2017 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, pages 1–8, 2017.
- [23] Erick Costa, Claudio Campelo, and Livia Sampaio. Classificação automática de questões problema de matemática para aplicações do pensamento computacional na educação. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 7, page 569, 2018.
- [24] Erick JF Costa, Cláudio EC Campelo, and Livia MR Sampaio Campos. Automatic classification of computational thinking skills in elementary school math questions. In *2019 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, pages 1–9. IEEE, 2019.
- [25] Erick JF Costa, Marcelo GSQ Vitorino, João ML Medeiros, Cláudio EC Campelo, and Livia MRS Campos. A digital application to assist basic education teachers in the interdisciplinary development of computational thinking skills on the math discipline in brazilian learning context. In *CSEDU (1)*, pages 475–482, 2021.
- [26] Erick John Fidelis Costa, Livia Sampaio, and Dalton Guerrero. Pensamento computacional na educação básica: Uma análise da relação de questões de matemática com as competências do pensamento computacional. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 5, page 1060, 2016.

- [27] K CSTA. Computer science standards. *Computer Science Teachers Association*, 12.
- [28] Paul Curzon, Peter W McOwan, Nicola Plant, and Laura R Meagher. Introducing teachers to computational thinking using unplugged storytelling. In *Proceedings of the 9th workshop in primary and secondary computing education*, pages 89–92, 2014.
- [29] Teófilo Viturino da Silva. *O PENSAMENTO COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE MATEMÁTICA*. PhD thesis, UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, 2020.
- [30] Mateus Henrique da Silva Bezerra. O currículo de referência em tecnologia e computação para educação: Contribuições para construção de saberes. *Revista Contemporânea/Contemporary Journal*, 1(3):161–177, 2021.
- [31] Ana Liz Souto O de Araujo, Wilkerson L Andrade, and Dalton D Serey Guerrero. A systematic mapping study on assessing computational thinking abilities. In *2016 IEEE frontiers in education conference (FIE)*, pages 1–9. IEEE, 2016.
- [32] Rozelma Soares de França and Patrícia Tedesco. Corporeidade, ludicidade e contação de história na promoção do pensamento computacional na escola. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Educação em Computação*, pages 132–142. SBC, 2021.
- [33] Paulo Vinícius Pereira de Lima, Geraldo Eustáquio Moreira, Lygianne Batista Vieira, and Maria Isabel Ramalho Ortigão. Brasil no pisa (2003-2018): reflexões no campo da matemática. *TANGRAM-Revista de Educação Matemática*, 3(2):03–26, 2020.
- [34] Samir Cristino de Souza and Luis Dourado. Aprendizagem baseada em problemas (abp): um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. *Holos*, 5:182–200, 2015.
- [35] Javier del Olmo-Muñoz, Ramón Cózar-Gutiérrez, and José Antonio González-Calero. Computational thinking through unplugged activities in early years of primary education. *Computers & Education*, 150:103832, 2020.
- [36] Jacob Devlin, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, and Kristina Toutanova. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *arXiv preprint arXiv:1810.04805*, 2018.

- [37] Aleksandra Djurdjevic-Pahl, Claus Pahl, Ilenia Fronza, and Nabil El Ioini. A pathway into computational thinking in primary schools. In *International symposium on emerging technologies for education*, pages 165–175. Springer, 2016.
- [38] Vinicius George dos Santos and Soraia Lúcia da Silva. Educação tecnológica: o ensino da programação para crianças do ensino fundamental através do ambiente code.org. *Conecte-se! Revista Interdisciplinar de Extensão*, 4(7):23–39, 2020.
- [39] Kaibo Duan, S Sathiya Keerthi, and Aun Neow Poo. Evaluation of simple performance measures for tuning svm hyperparameters. *Neurocomputing*, 51:41–59, 2003.
- [40] NC England. National curriculum in england: computing programmes of study. *Gov. Uk*, 2013.
- [41] Robert W Floyd. The paradigms of programming. In *ACM Turing award lectures*, page 1978. 2007.
- [42] RS de França, WC da Silva, and HJC do Amaral. Ensino de ciência da computação na educação básica: Experiências, desafios e possibilidades. In *XX Workshop sobre Educação em Computação*, volume 4, 2012.
- [43] Shelagh A Gallagher, William J Stepien, and Hilary Rosenthal. The effects of problem-based learning on problem solving. *Gifted Child Quarterly*, 36(4):195–200, 1992.
- [44] Matheus Gaudencio, Sheilla da Silva, Samara Sonale Santos Sampaio, and Livia Sampaio. Classificação de questões de matemática nas diferentes competências da matemática e do pensamento computacional. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 7, page 759, 2018.
- [45] Cory Gleasman and ChanMin Kim. Pre-service teacher’s use of block-based programming and computational thinking to teach elementary mathematics. *Digital Experiences in Mathematics Education*, 6(1):52–90, 2020.

- [46] Tancicleide Gomes, Jeane Melo, and Patrícia Tedesco. Jogos digitais no ensino de conceitos de programação para crianças. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 27, page 470, 2016.
- [47] Fredy E González. Metacognicion y tareas intelectualmente exigentes: el caso de la resolución de problemas matemáticos p. 59-87 (primeira parte: p. 59-73). *Zetetiké*, 6(1), 1998.
- [48] Joanna Goode and Jane Margolis. Exploring computer science: A case study of school reform. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 11(2):1–16, 2011.
- [49] Merrilyn Goos, Shelley Dole, and Vince Geiger. Auditing the numeracy demands of the australian curriculum. In *Mathematics education: expanding horizons. Proceedings of the 35th annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia*, pages 314–321. Mathematics Education Research Group of Australasia, 2012.
- [50] Lindsey Ann Gouws, Karen Bradshaw, and Peter Wentworth. Computational thinking in educational activities: an evaluation of the educational game light-bot. In *Proceedings of the 18th ACM conference on Innovation and technology in computer science education*, pages 10–15, 2013.
- [51] Mark Guzdial. Education paving the way for computational thinking. *Communications of the ACM*, 51(8):25–27, 2008.
- [52] Anthony Crandell Hamblin. *Avaliação e controle do treinamento*. McGraw-Hill do Brasil, 1978.
- [53] Susanne Hambruch, Christoph Hoffmann, John T Korb, Mark Haugan, and Antony L Hosking. A multidisciplinary approach towards computational thinking for science majors. *ACM SIGCSE Bulletin*, 41(1):183–187, 2009.
- [54] Mychelline Souto Henrique, Adelito Borba Farias, Felipe Oliveira Miranda Cunha, and Pasqueline Dantas Scaico. Proposta para construção de sequências didáticas para

- aulas de matemática com uma atividade de computação desplugada. *Nuevas Ideas en Informática Educativa*, 2013.
- [55] Lisle S Hites, Marcia M Sass, Luann D'Ambrosio, Lisa M Brown, Aaron M Wendelboe, Karen E Peters, and Robyn K Sobelson. The preparedness and emergency response learning centers. *Journal of Public Health Management and Practice*, 20:S17–S23, 2014.
- [56] Gelson Iezzi, Osvaldo Dolce, David Mauro Degenszajn, and Roberto Périgo. *Matemática: volume único*. Atual, 2002.
- [57] Ugur Kale, Mete Akcaoglu, Theresa Cullen, Debbie Goh, Leah Devine, Nathan Calvert, and Kara Grise. Computational what? relating computational thinking to teaching. *TechTrends*, 62(6):574–584, 2018.
- [58] Donald L Kirkpatrick. *Evaluating training programs*. Tata McGraw-hill education, 1975.
- [59] Dennis Komm, Ulrich Hauser, Bernhard Matter, Jacqueline Staub, and Nicole Trachsler. Computational thinking in small packages. In *International Conference on Informatics in Schools: Situation, Evolution, and Perspectives*, pages 170–181. Springer, 2020.
- [60] Özgen Korkmaz. The effect of scratch-and lego mindstorms ev3-based programming activities on academic achievement, problem-solving skills and logical-mathematical thinking skills of students. *MOJES: Malaysian Online Journal of Educational Sciences*, 4(3):73–88, 2018.
- [61] Regina Barros Leal. Planejamento de ensino: peculiaridades significativas. *Revista Iberoamericana de Educación*, 37(3):1–6, 2005.
- [62] Irene Lee, Fred Martin, Jill Denner, Bob Coulter, Walter Allan, Jeri Erickson, Joyce Malyn-Smith, and Linda Werner. Computational thinking for youth in practice. *Acm Inroads*, 2(1):32–37, 2011.
- [63] Frank K Lester Jr et al. The role of metacognition in mathematical problem solving: A study of two grade seven classes. final report. 1989.

- [64] Colleen M Lewis and Niral Shah. Building upon and enriching grade four mathematics standards with programming curriculum. In *Proceedings of the 43rd ACM technical symposium on Computer Science Education*, pages 57–62, 2012.
- [65] Anita Lopes and Guto Garcia. Introdução à programação. *Editores Campus*, 6, 2002.
- [66] James J. Lu and George H.L. Fletcher. Thinking about computational thinking. In *Proceedings of the 40th ACM Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE '09*, page 260–264, New York, NY, USA, 2009. Association for Computing Machinery.
- [67] J. Maloney, L. Burd, Y. Kafai, N. Rusk, B. Silverman, and M. Resnick. Scratch: a sneak preview [education]. In *Proceedings. Second International Conference on Creating, Connecting and Collaborating through Computing, 2004.*, pages 104–109, 2004.
- [68] John Maloney, Mitchel Resnick, Natalie Rusk, Brian Silverman, and Evelyn Eastmond. The scratch programming language and environment. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 10(4):1–15, 2010.
- [69] Nilo Ney Coutinho Menezes. Introdução a programação com python. *São Paulo: Novatec*, 2010.
- [70] Palloma Mestre, Wilkerson Andrade, Dalton Guerrero, Livia Sampaio, Rivanilson da Silva Rodrigues, and Erick Costa. Pensamento computacional: Um estudo empírico sobre as questões de matemática do pisa. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 4, page 1281, 2015.
- [71] Tom M Mitchell. Generalization as search. *Artificial intelligence*, 18(2):203–226, 1982.
- [72] Eduardo Fleury Mortimer. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigações em ensino de ciências*, 1(1):20–39, 2016.
- [73] Anne Mulhall. In the field: notes on observation in qualitative research. *Journal of advanced nursing*, 41(3):306–313, 2003.

- [74] Tomoko Nemoto and David Beglar. Likert-scale questionnaires. In *JALT 2013 conference proceedings*, pages 1–8, 2014.
- [75] Manasses Neto, Camila Amorim Moura dos Santos, Edmar Egidio de Souza, and Marcos Guimarães Fonseca. Robótica educacional uma ferramenta para ensino de lógica de programação no ensino fundamental. In *Anais do Workshop de Informática na Escola*, volume 24, page 315, 2018.
- [76] Pia Niemelä, Tiina Partanen, Maarit Harsu, Leo Leppänen, and Petri Ihantola. Computational thinking as an emergent learning trajectory of mathematics. In *Proceedings of the 17th Koli Calling international conference on computing education research*, pages 70–79, 2017.
- [77] Lourdes De La Rosa Onuchic and Norma Suely Gomes Allevato. Pesquisa em resolução de problemas: caminhos, avanços e novas perspectivas. *Bolema-Mathematics Education Bulletin*, pages 73–98, 2011.
- [78] Seymour Papert, Jose Armando Valente, and Beatriz Bitelman. *Logo: computadores e educação*. Brasiliense, 1980.
- [79] Kai Petersen, Robert Feldt, Shahid Mujtaba, and Michael Mattsson. Systematic mapping studies in software engineering. In *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE) 12*, pages 1–10, 2008.
- [80] Jean PIAGET. A construção do real na criança. trad. In *Alvaro Cabral*, page 360. Zahar, 1970.
- [81] Jean Piaget and Francisco J Fernández Buey. *Psicología y pedagogía*. Sarpe, 1983.
- [82] Ana M Pinto-Llorente, Sonia Casillas Martín, Marcos Cabezas González, and Francisco José García-Peñalvo. Developing computational thinking via the visual programming tool: Lego education wedo. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, pages 45–50, 2016.
- [83] Paweł Plaskura. Modelling of forgetting curves in educational e-environment. *Information Technologies and Learning Tools*, 71(3):1–11, 2019.

- [84] David Martin Powers. Evaluation: from precision, recall and f-measure to roc, informedness, markedness and correlation. *Journal of Machine Learning Technologies*, 2011.
- [85] Rubens Queiroz, Fábio Ferrentini Sampaio, and Mônica Pereira dos Santos. Duinoblocks4kids: Ensinando conceitos básicos de programação a crianças do ensino fundamental i por meio da robótica educacional. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 5, page 1169, 2016.
- [86] Leila Ribeiro, Alberto Castro, Antônio Augusto Fröhlich, Carlos Andre Guimaraes Ferraz, Carlos Eduardo Ferreira, Dalton Serey, Daniel de Angelis Cordeiro, José Aires, Nara Bigolin, and Simone Cavalheiro. Diretrizes da sociedade brasileira de computação para o ensino de computação na educação básica. *Sociedade Brasileira de Computação*, 2019.
- [87] Kathryn M Rich, Aman Yadav, and Rachel A Larimore. Teacher implementation profiles for integrating computational thinking into elementary mathematics and science instruction. *Education and Information Technologies*, 25(4):3161–3188, 2020.
- [88] Brandon Rodriguez, Cyndi Rader, and Tracy Camp. Using student performance to assess cs unplugged activities in a classroom environment. In *proceedings of the 2016 ACM conference on innovation and technology in computer science education*, pages 95–100, 2016.
- [89] José Antonio Rodríguez-Martínez, José Antonio González-Calero, and José Manuel Sáez-López. Computational thinking and mathematics using scratch: an experiment with sixth-grade students. *Interactive Learning Environments*, pages 1–12, 2019.
- [90] Alexandre Rosa, Camilla Nakoneczny, Claisa Lubke, Gabriel Igarashi, Vinicius Pereira, Andreia Jesus, Alexander Robert Kutzke, et al. Extensão universitária: uma experiência com ensino de programação para crianças. In *Anais do Workshop de Informática na Escola*, volume 25, page 1199, 2019.

- [91] José-Manuel Sáez-López, Marcos Román-González, and Esteban Vázquez-Cano. Visual programming languages integrated across the curriculum in elementary school: A two year case study using “scratch” in five schools. *Computers & Education*, 97:129–141, 2016.
- [92] VMP dos Santos. Avaliação de aprendizagem e raciocínio em matemática: métodos alternativos. *Rio de Janeiro: Instituto de Matemática da UFRJ–Projeto Fundação*, 1997.
- [93] Pasqueline Dantas Scaico, Mychelline Souto Henrique, Felipe Oliveira Miranda Cunha, and Yugo Manguiera de Alencar. Um relato de experiências de estagiários da licenciatura em computação com o ensino de computação para crianças. *RENOTE-Revista Novas Tecnologias na Educação*, 10(3), 2012.
- [94] Alan H Schoenfeld. Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition, and sense making in mathematics. *Handbook of research on mathematics teaching and learning*, 334370, 1992.
- [95] Cynthia Selby and John Woollard. Computational thinking: the developing definition. 2013.
- [96] Mariangela de Oliveira Gomes Setti. O processo de discretização do raciocínio matemático na tradução para o raciocínio computacional: um estudo de caso no ensino/aprendizagem de algoritmos. 2009.
- [97] CM da S SILVA and Moysés Gonçalves SIQUEIRA FILHO. Matemática: resolução de problemas. *Brasília: Líber Livro*, 2011.
- [98] Kátia Stocco Smole and Maria Ignez Diniz. *Ler, escrever e resolver problemas: habilidades básicas para aprender matemática*. Artmed Editora, 2009.
- [99] Gary S Stager. Seymour papert (1928–2016). *Nature*, 537(7620):308–308, 2016.
- [100] Woonhee Sung, Junghyun Ahn, and John B Black. Introducing computational thinking to young learners: Practicing computational perspectives through embodiment in mathematics education. *Technology, Knowledge and Learning*, 22(3):443–463, 2017.

- [101] Delfim FM Torres. Introdução à programação em lógica. 2011.
- [102] Guilherme Horta Travassos, Dmytro Gurov, and EAGG Amaral. *Introdução à engenharia de software experimental*, volume 9. UFRJ, 2002.
- [103] Rosa Maria Vicari, Alvaro Freitas Moreira, and Paulo Fernando Blauth Menezes. *Pensamento computacional: revisão bibliográfica*. 2018.
- [104] Kevin P Waterman, Lynn Goldsmith, and Marian Pasquale. Integrating computational thinking into elementary science curriculum: An examination of activities that support students' computational thinking in the service of disciplinary learning. *Journal of Science Education and Technology*, 29(1):53–64, 2020.
- [105] Michael Wilson and Brian Dupuis. *From bricks to brains: The embodied cognitive science of LEGO robots*. Athabasca University Press, 2010.
- [106] Jeannette M Wing. Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3):33–35, 2006.
- [107] Jeannette M Wing. Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366(1881):3717–3725, 2008.
- [108] Jeannette M Wing. Computational thinking benefits society. *40th Anniversary Blog of Social Issues in Computing*, 2014:26, 2014.
- [109] Diana F Wood. Problem based learning. *Bmj*, 326(7384):328–330, 2003.
- [110] Xinchuan Zeng and Tony R Martinez. Distribution-balanced stratified cross-validation for accuracy estimation. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 12(1):1–12, 2000.

Apêndice A

Classificação Automática de Competências

Neste apêndice, são apresentadas a concepção e avaliação dos classificadores automáticos de questões de Matemática. Os classificadores têm por objetivo apoiar o processo de catalogação de competências do Pensamento Computacional (PC) em novas questões, tornando esse processo mais eficiente e escalável a longo prazo, quando levamos em consideração a catalogação manual, por avaliação majoritária, como descrito anteriormente. Os modelos inteligentes foram treinados e avaliados a partir de um conjunto de questões de Matemática pré-rotuladas com as competências do PC. Os resultados apresentam evidências de que é possível realizar o processo de classificação automaticamente e, com isso, tornar o processo de análise de conformidade (catalogação) mais eficiente quando considerado para uma grande quantidade de questões a serem analisadas.

A.1 Metodologia

O processo de catalogação de competências do Pensamento Computacional (PC) em questões de Matemática, descrito por Costa et al. [22], é baseado em avaliações manuais de especialistas. O procedimento apresentado considera três avaliações individuais e a decisão sobre a presença ou não das competências é realizada de forma majoritária. No entanto, como discutido anteriormente, é um processo custoso e inviável de ser conduzido para um grande conjunto de questões. Como o objetivo é prever as competências em uma questão,

este problema pode ser caracterizado como um problema de classificação.

Para contornar o problema citado, será apresentado um estudo com base em Inteligência Artificial com o objetivo de realizar a catalogação das competências de forma automática a partir de técnicas de classificação com base em Aprendizado de Máquina. Os classificadores automáticos aqui apresentados têm por meta aprenderem os padrões de representação das competências já catalogadas em questões de Matemática e identificar esses padrões em novas questões.

Para que fosse possível alcançar o objetivo definido acima, foram utilizadas técnicas de Processamento de Linguagem Natural, para processar os textos que compunham os enunciados das questões e, a partir das informações extraídas, foram usadas estratégias de Aprendizado de Máquina para aprender os padrões de representação de cada uma das competências do PC consideradas neste estudo.

Esta etapa do estudo foi conduzida para responder ao Objetivo Específico (OE) a seguir:

- (OE2) Contornar a ineficiência do processo de análise majoritária de conformidade das questões de Matemática que estimulam o PC, por meio de classificação automática, a partir de técnicas supervisionadas de Aprendizado de Máquina, visando reduzir o esforço manual necessário para analisar grandes quantidades de questões.

Para alcançar o OE, as seguintes hipóteses (H) foram formalizadas:

- H0: **Não** é possível classificar automaticamente as competências do PC em questões de Matemática.
- H1: É possível classificar automaticamente as competências do PC em questões de Matemática com **baixa** capacidade de predição.
- H2: É possível classificar automaticamente as competências do PC em questões de Matemática com **alta** capacidade de predição.

As métricas utilizadas para verificar as hipóteses e responder à questão de pesquisa (QP2) foram: Acurácia (A), Precisão (P), Cobertura (C) e Medida-F (F1). Essas métricas são calculadas conforme descrito nas Equações A.1, A.2, A.3 e A.4, respectivamente,

são amplamente utilizadas na avaliação de modelos preditivos em diversos segmentos de pesquisa [84].

$$A = \frac{VerdadeiroPositivo + VerdadeiroNegativo}{TotalEnunciados} \quad (A.1)$$

$$P = \frac{VerdadeiroPositivo}{VerdadeiroPositivo + FalsoPositivo} \quad (A.2)$$

$$C = \frac{VerdadeiroPositivo}{VerdadeiroPositivo + FalsoNegativo} \quad (A.3)$$

$$F1 = 2 \cdot \frac{P \cdot C}{P + C} \quad (A.4)$$

De acordo com o contexto de aplicação dos classificadores deste estudo, as métricas descritas consideram:

- *VerdadeiroPositivo*: Competência identificada pelo classificador que está presente na questão avaliada de acordo com os dados pré-rotulados.
- *FalsoPositivo*: Competência identificada pelo classificador que **não** está presente na questão avaliada de acordo com os dados pré-rotulados.
- *VerdadeiroNegativo*: Competência **não** identificada pelo classificador que **não** está presente na questão avaliada de acordo com os dados pré-rotulados.
- *FalsoNegativo*: Competência **não** identificada pelo classificador que está presente na questão avaliada de acordo com os dados pré-rotulados

A.1.1 Conjunto de Dados

O conjunto de dados utilizado nesta etapa do estudo foi construído a partir de amostras pré-rotuladas de questões de Matemática com as competências do PC presentes em cada uma delas por votação majoritária. A amostra possui, no total, 426 questões, sendo 24 dessas questões provenientes da execução do curso de extensão piloto conduzido para validação da estratégia metodológica, e as 402 restantes extraídas da literatura a partir dos estudos conduzidos por Costa et al. [22], estas constando questões usadas no

quase-experimento, que englobam questões produzidas a partir do passado a passo proposto pelos autores, dos repositórios de questões do ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio), PISA (Programme for International Student Assessment) e Olimpíadas de Matemática. A distribuição proporcional das competências do PC presentes no conjunto de dados pode ser observada na Figura A.1.



Figura A.1: Distribuição proporcional das competências nos dados

Ao observar a distribuição, é possível identificar que as competências mais presentes no conjunto de dados são “Análise de Dados”, “Decomposição de Problemas” e “Abstração de Informações”. Por outro lado, em menor proporção, podemos observar as competências “Coleta de Dados”, “Representação de Dados”, “Algoritmos e Procedimentos”, “Automação”, “Paralelização” e “Simulação”.

Foi analisado ainda, no conjunto de dados, a presença das competências por questão. Para isso, foram quantificados os acumulados de competências presentes em cada uma delas para que fosse possível observar a distribuição. Os acumulados de competências foram considerados para questões com apenas uma competência e assim sucessivamente até questões com a presença das nove competências. Para facilitar a visualização dessas informações, os conjuntos foram divididos em questões que apresentaram: entre uma e três competências; quatro e seis competências; sete e nove competências.

A Figura A.2 apresenta a quantificação das questões que apresentaram acumulados entre uma e três competências. De acordo com as informações, é possível perceber que as competências mais presentes nesses acumulados seguem o comportamento do conjunto de dados como um todo, onde é mais comum a presença das competências “Análise de Dados”, “Decomposição de Problemas” e “Abstração de Informações”. De maneira específica, para questões que apresentam o acumulado de uma competência, é mais evidente a presença da competência “Decomposição de Problemas”.

Acumulado de Competências por Questão

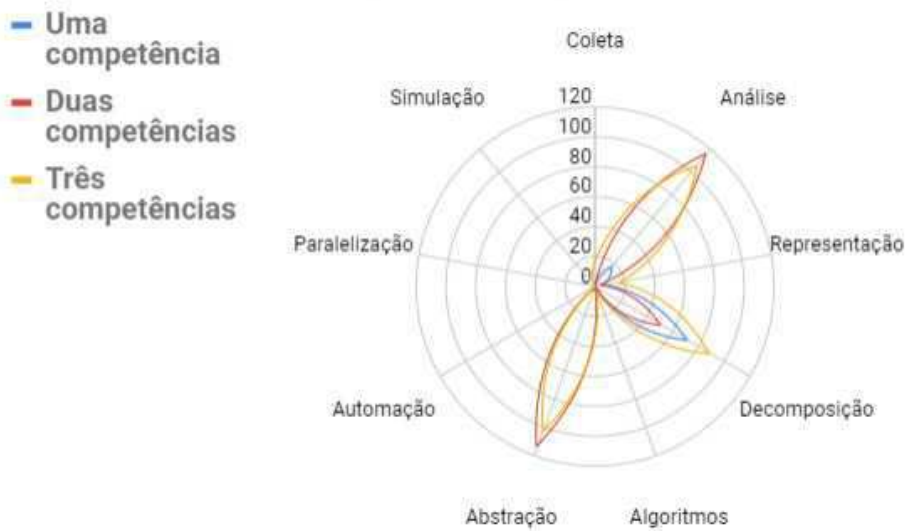


Figura A.2: Acumulado de competências por questão variando entre um e três competências

Os acumulados de competências entre quatro e seis é apresentado na Figura A.3. A partir desta visualização, é possível identificar que a presença das competências começam a se tornar mais homogêneas e competências que não estavam presentes nos acumulados que variam entre um e três podem ser identificadas, com exceção da competência “Paralelização” para acumulados em questões de cinco competências. É válido destacar que a quantidade de questões nos acumulados entre quatro e cinco é menor que nos acumulados entre um e dois.



Figura A.3: Acumulado de competências por questão variando entre quatro e seis competências

Nos acumulados entre seis e nove competências, o padrão de presença de competências vai se tornando ainda mais homogêneo. Ou seja, a medida que a quantidade de competências em uma questão aumenta, a predominância de competências em específico é reduzida. É válido destacar que a competência “Simulação”, para o acumulado de sete competências, não apareceu em nenhuma questão. Esse comportamento pode ser observado na Figura A.4,



Figura A.4: Acumulado de competências por questão variando entre sete e nove competências

Ao avaliar as informações fornecidas, é possível perceber que o conjunto de dados apresenta características muito específicas e, embora seja possível identificar questões que apresentem as mais variadas combinações de competências, a maior parte da amostra se concentra nas questões com até três competências com predominância, nestes casos, das competências “Análise de Dados”, “Decomposição de Problemas” e “Abstração de Informações”. Este comportamento requer atenção, pois pode levar os modelos estatísticos a sofrerem problemas de generalização por conta do desbalanceamento da amostra [71].

A.1.2 Preprocessamento dos Dados

O preprocessamento dos dados é uma tarefa essencial na classificação textual, pois elimina informações que podem impactar negativamente os modelos estatísticos. Neste estudo, foi considerado os enunciados das questões para que informações relevantes fossem identificadas e submetidas aos modelos. Logo, informações presentes nas questões que não faziam parte do enunciado textual foram descartadas, tais como: imagens, tabelas e alternativas em questões de múltipla escolha. Esta abordagem foi considerada, pois as estratégias para extração de características (*features*), adotadas neste estudo, são estratégias

com base na quantificação de palavras. Após a separação dos enunciados, foram removidos caracteres especiais, pontuações e números. Por fim, todos os enunciados foram reescritos usando apenas letras minúsculas.

A.1.3 Extração de *Features*

Após o pré-processamento dos enunciados, os dados resultantes foram usados para construir a matriz de características (*features*) para treinamento, validação e teste dos modelos. As matrizes são um conjunto de informações sobre os dados que são submetidos aos modelos para que eles aprendam os padrões e sejam capazes de realizar previsões para um novo conjunto de dados.

As matrizes são divididas entre variáveis independentes e dependentes. As variáveis independentes, neste estudo, foram geradas a partir de técnicas de extração de informações em texto com base nos enunciados das questões pré-processados e, as dependentes, são as competências pré-rotuladas e mapeadas por avaliação majoritária. Na prática, as *features* extraídas explicam os rótulos (*targets*) que, neste objeto de estudo, são as nove competências do PC a serem identificadas em novas questões.

As *features* extraídas neste estudo foram geradas a partir de duas técnicas comumente adotadas na literatura para problemas que envolvem a análise e previsão textuais: Frequência de Termos (*Term Frequency - Inverse Document Frequency* ou *TF-IDF*) e por aproximação semântica (*Word Mover Distance - WMD*).

No contexto deste estudo, foi necessário construir os vetores de palavras de referência para cada uma das competências. Isso para que cada enunciado de questão a ser analisado fosse comparado com cada um desses vetores, e o peso da distância entre essa comparação, a partir do WMD, fosse incorporado como *feature* e utilizado pelos modelos estatísticos para tomada de decisão. O WMD foi considerado com o objetivo de reduzir a sensibilidade dos classificadores a palavras muito específicas e contornar problemas com palavras semanticamente parecidas, mas que são escritas diferentes.

Inicialmente, os termos mais relevantes dentro do conjunto de dados identificados com base no TF-IDF foram mapeados. Esse mapeamento foi realizado com o auxílio da ferramenta para análise de modelos denominada Shape. Essa ferramenta foi capaz de fornecer para todo o conjunto de dados as palavras que caracterizam cada uma das

competências avaliadas. Para perceber melhor a relação de palavras, podemos observar a Figura A.5. Essa figura apresenta a relação de palavras com maior peso de classificação positiva, ou seja, que indica a presença da competência avaliada, para a competência “Coleta de Dados”.

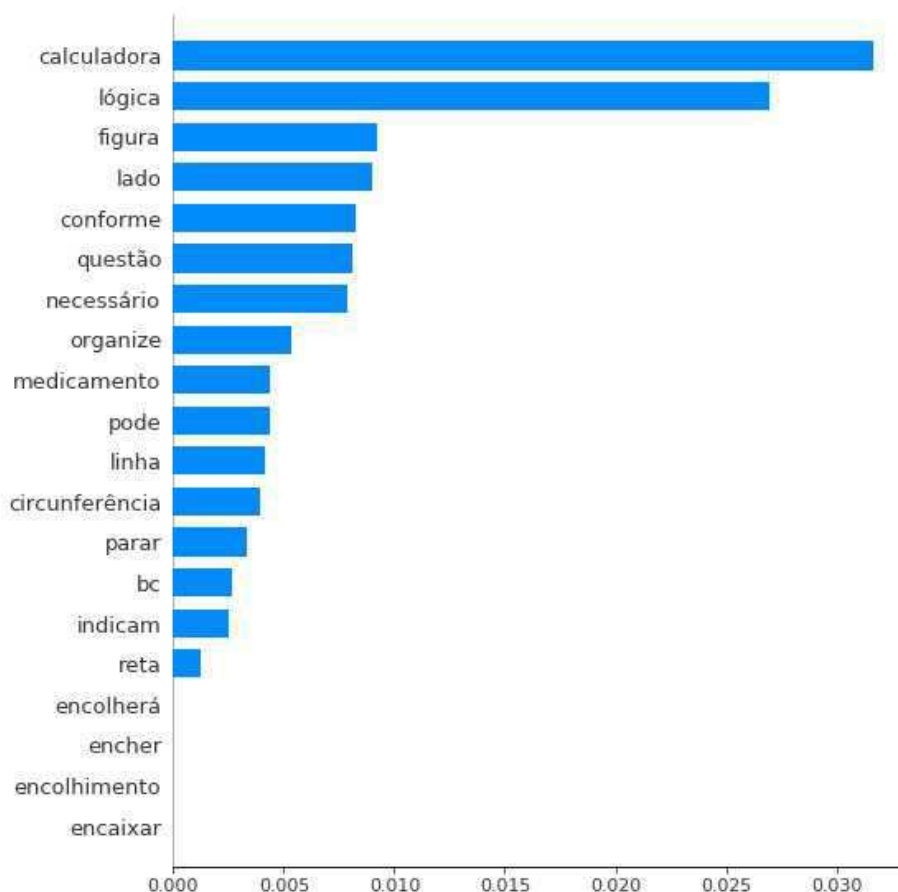


Figura A.5: Relação de palavras com maior peso de classificação positiva para presença da competência Coleta de Dados

Com base na relação de palavras com peso de classificação positiva, para cada uma das competências consideradas neste estudo, os vetores de referência foram construídos. É válido destacar que, para compor os vetores de referência, palavras sem significado (e.g. “bc”) e palavras muito específicas aos contextos de exemplos de questões (e.g. “calculadora”, “medicamento”, “circunferência”, “linha” e “reta”) foram descartadas. Esta abordagem foi considerada para reduzir o viés que poderia ser introduzido nos classificadores por informações muito específicas, tendo em vista que o WMD consegue realizar a aproximação semântica entre o vetor de palavras características e novas palavras que possam ocorrer em

novas questões a serem avaliadas.. As demais relações de palavras, para o restante das competências avaliadas neste estudo, podem ser observadas no Apêndice B deste documento.

Matriz de Características (features)

Após a aplicação das técnicas de extração de *features* citadas, o resultado foi uma matriz multidimensional que segue o padrão de representação indicado na Tabela A.1.

Tabela A.1: Estrutura da matriz de *features*.

	Termo 1	...	Termo N	D_competência 1	...	D_competência N
Enunciado 1	0,53	...	0,33	0,78	...	0,83
...
Enunciado N	0,56	...	0,79	0,42	...	0,96

Cada linha da Tabela A.1 representa o conjunto de informações relacionadas a uma determinada questão dentro do conjunto de dados, contendo o peso dos termos identificados por TF-IDF (Termo 1...Termo N) e a distância do enunciado para cada um dos vetores de referência extraídos, para cada uma das competências, a partir do WMD (e.g. D_coleta, D_análise, D_representação, e assim para as demais competências).

A.1.4 Treinamento, Validação e Teste dos Modelos

Para condução deste estudo foram considerados seis modelos (Linear Ridge, Logistic Regression, Multinomial Naive Bayes, Random Forest, XGboost e KTrain Bert). Os modelos foram escolhidos com base na facilidade de utilização, manutenção e implantação, e o conjunto possui uma variação de modelos mais tradicionais até modelos mais complexos, com o objetivo de identificar qual deles se adequa melhor ao problema de classificação de competências do PC.

Para treinar e testar todos os modelos, foram usadas técnicas de separação dos dados para treino, validação e teste. Onde, inicialmente, os dados foram divididos em dois grupos de enunciados. Um grupo contendo 75% dos dados (treino e validação) e outro contendo os 25% restantes (teste). Cada modelo foi treinado, testado e avaliado seguindo a mesma subdivisão.

No treino e validação dos modelos, foram consideradas técnicas de validação cruzada por

divisão estratificada e, para cada iteração, foram separados 75% dos dados para treino e 25% para validação, dos 75% subdivididos inicialmente. Além disso, para cada modelo, foram consideradas dez iterações, onde para cada iteração os dados de validação não faziam parte dos dados de treino [110]. Ao final das execuções, as medidas de Acurácia (A), Precisão (P), Cobertura (C) e Medida-F (F1) foram registradas.

Para cada modelo, foram treinados e avaliados o comportamento deles para cada uma das competências do PC consideradas nesta pesquisa. Como entrada para os modelos de Aprendizado de Máquina, foram usadas as informações da matriz de características, onde as informações geradas por TF-IDF sempre eram consideradas, mas as distâncias provenientes do WMD eram incorporadas aos dados de treino de acordo com a competência. Por exemplo, para o modelo Linear da competência “Coleta de Dados”, todas as métricas do TF-IDF eram enviadas em conjunto com apenas a métrica de distância do enunciado para o vetor de referência “D_coleta”. Esse procedimento se repetiu para todas as competências analisadas.

Neste estudo, para todos os modelos testados e avaliados, os ajustes dos hiper parâmetros foram realizados, por exemplo: a regularização de modelos lineares (L1 e L2), que indica até que ponto a reta que dividirá os dados será ajustada. Por definição, os algoritmos, a exemplo dos lineares, podem vir pré-configurados com uma das duas opções de regularização e os ajustes desses parâmetros podem impactar na capacidade de predição dos modelos [39]. Os hiper parâmetros testados para cada um dos modelos podem ser observados no Apêndice C deste documento.

Especificamente para o modelo baseado em redes neurais (KTrain), o esquema de extração de *features* já é incorporado dentro da própria solução. Logo, para esse modelo, foi utilizada a opção de geração de *features* denominada BERT (*Bidirectional Encoder Representations from Transformers*), que tenta extrair o contexto e a semântica atrelada ao texto avaliado [36].

A.2 Resultados e Discussões

Os resultados das execuções dos procedimentos de treinamento, validação e teste podem ser observados nas Figuras A.6 e A.7. Como pode ser observado, os modelos apresentam evidências de baixa variação de classificação, considerado a Medida-F, para as nove

competências no treino e validação (observado a partir da dispersão dos dados em torno da medida central). Ao observações as informações referentes as medianas de classificação para as nove competências do PC consideradas, é perceptível que alguns modelos apresentam medianas acima das demais, como pode ser evidenciado nas informações contidas nos *boxplots* para o modelo KTrain Bert, especificamente (mediana = 1). Esse comportamento indica que em todo processo de treino e teste, a partir das técnicas de divisão dos dados, o modelo tendeu a identificar as competências pré-rotuladas nos enunciados corretamente.

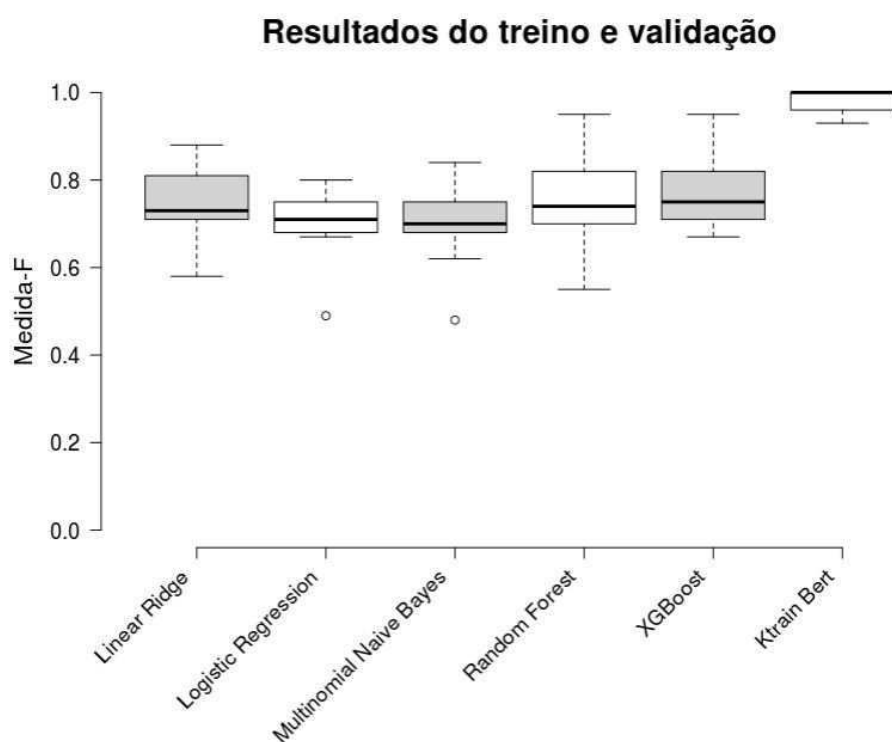


Figura A.6: Resultados dos modelos no treino e validação a partir da Medida-F.

Por outro lado, no teste, a variação aumenta e, com exceção dos modelos XGBoost e KTrain Bert, apontam resultados muito abaixo dos registrados no treinamento e validação, incluindo resultados para Medida-F zerados. Isso pode ser observado, por exemplo, nos resultados apresentados para o modelo Multinomial Naive Bayes, que apresentou uma piora no teste em torno de 55% em relação ao treino e validação. Este comportamento significa que, para algumas das competências, a princípio evidenciadas como as competências que possuem menos exemplos de questões no conjunto de dados utilizado para condução deste estudo, não foi possível indicar corretamente suas competências de forma automática. O que

indica pouca capacidade de generalização por parte destes modelos que obtiveram resultados muito abaixo no teste em relação ao treino e validação.

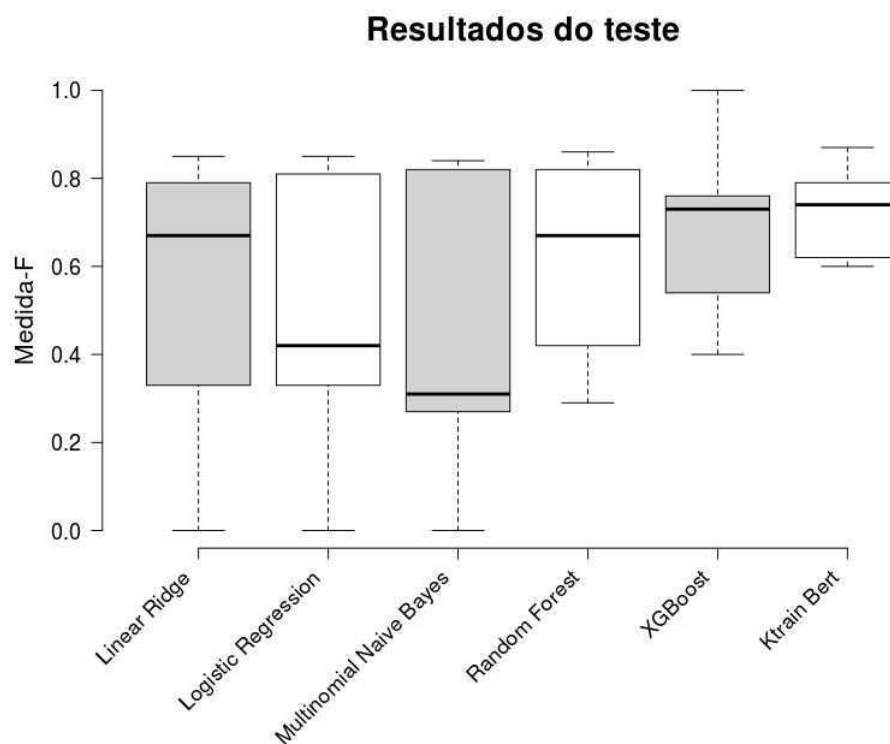


Figura A.7: Resultados dos modelos no teste a partir da Medida-F.

Os resultados em detalhes, com as medidas de classificação para as nove competências do PC consideradas, para os modelos que apresentaram melhores desempenhos no treino validação e teste (XGBoost e Ktrain BERT), podem ser observados na Tabela A.2. Os resultados coletados para os demais modelos estão no Apêndice D deste documento. Como é possível observar, os modelos XGBoost e Ktrain BERT foram os que apresentaram melhor desempenho de classificação após a realização dos experimentos em termos de média e mediana.

XGBoost (Treino e Validação)					KTrain Bert (Treino e Validação)				
	Acurácia	Precisão	Cobertura	Medida-F		Acurácia	Precisão	Cobertura	Medida-F
Coleta	0,89	0,88	0,69	0,72	Coleta	1	1,00	1,00	1,00
Análise	0,75	0,74	0,70	0,71	Análise	0,94	0,96	0,91	0,93
Representação	0,87	0,79	0,68	0,70	Representação	0,98	0,96	0,98	0,97
Decomposição	0,68	0,68	0,67	0,67	Decomposição	1,00	1,00	1,00	1,00
Abstração	0,76	0,75	0,75	0,75	Abstração	1,00	1,00	1,00	1,00
Algoritmos	0,95	0,89	0,80	0,82	Algoritmos	0,99	0,96	0,96	0,96
Automação	0,99	0,98	0,93	0,95	Automação	1,00	1,00	1,00	1,00
Paralelização	0,95	0,84	0,72	0,75	Paralelização	0,99	0,95	0,97	0,96
Simulação	0,98	0,94	0,85	0,88	Simulação	1,00	1,00	1,00	1,00
Mediana	0,89	0,84	0,72	0,75	Mediana	1,00	1,00	1,00	1,00
Média	0,87	0,83	0,76	0,78	Média	0,99	0,98	0,98	0,98

XGBoost (Teste)					KTrain Bert (Teste)				
	Acurácia	Precisão	Cobertura	Medida-F		Acurácia	Precisão	Cobertura	Medida-F
Coleta	0,89	1,00	0,37	0,54	Coleta	0,82	0,70	0,71	0,70
Análise	0,88	0,85	0,97	0,91	Análise	0,81	0,81	0,78	0,79
Representação	0,88	1,00	0,32	0,48	Representação	0,75	0,62	0,63	0,62
Decomposição	0,64	0,73	0,73	0,73	Decomposição	0,62	0,64	0,64	0,61
Abstração	0,71	0,75	0,76	0,76	Abstração	0,84	0,83	0,84	0,83
Algoritmos	0,92	0,75	0,27	0,40	Algoritmos	0,90	0,74	0,77	0,75
Automação	1,00	1,00	1,00	1,00	Automação	0,97	0,92	0,83	0,87
Paralelização	0,98	1,00	0,60	0,75	Paralelização	0,95	0,61	0,59	0,6
Simulação	0,97	0,67	0,50	0,57	Simulação	0,97	0,82	0,70	0,74
Mediana	0,89	0,85	0,60	0,73	Mediana	0,84	0,74	0,71	0,74
Média	0,87	0,86	0,61	0,68	Média	0,85	0,74	0,72	0,72

Tabela A.2: Resultados do treinamento, validação e teste dos modelos XGBoost e KTrain BERT.

Nos resultados apresentados, é possível constatar que o modelo XGBoost, no treino e validação, foi inferior ao modelo KTrain em todas as competências avaliadas (mediana da Medida-F 25% abaixo do modelo KTrain e média da Medida-F aproximadamente 20% abaixo do mesmo modelo). No entanto, no teste, o XGBoost apresentou melhores resultados em termos de Precisão (mediana e média aproximadamente 16% maior que o KTrain), diferente do KTrain, que alcançou melhores resultados nas métricas de Cobertura (mediana e média aproximadamente 18% maior que o XGBoost). Esse comportamento indica que o modelo XGBoost comete menos erros do tipo *FalsoPositivo* e o KTrain menos erros do tipo *FalsoNegativo*.

Ao avaliar o desempenho do KTrain, é possível perceber que, em termos de Precisão e Cobertura, o modelo apresentou equilíbrio nas classificações. Esse comportamento pode ser observado, como exemplo, nos resultados para a competência “Coleta de Dados” que, no modelo XGboost, para os dados de teste, apresentou resultados em termos de Precisão = 1.00 e Cobertura = 0.37, diferentemente do modelo KTrain, com Precisão = 0.70 e Cobertura = 0.71. Esse mesmo comportamento pode ser observado com destaque, nos dados de teste,

para as competências “Representação” e “Algoritmos”.

Em termos de Acurácia, métrica que leva em consideração o produto da soma dos *VerdadeirosPositivos* e *VerdadeirosNegativos* pelo *TotalEnunciados*, é possível perceber que o modelo XGBoost acerta mais a presença das competências do que o modelo Ktrain (mais *VerdadeirosPositivos*) em cerca de 6% ao considerar a mediana e 2% ao considerar a média. No entanto, pela proximidade dos resultados indicados na Medida-F, é possível assumir que os modelos são equivalentes, sendo difícil apontar diferença significativa entre os dois.

Na tentativa de explicar a origem dos erros cometidos pelos classificadores, foram consideradas as competências com menores resultados para a métrica Medida-F, dos dois classificadores, para investigação das matrizes de confusão. As competências analisadas foram “Algoritmos” do modelo XGBoost e “Paralelização” do modelo KTrain. As matrizes de confusão estão representadas na Tabela A.3 e indicam especificamente o tipo de erro e acerto cometido pelos classificadores. Ao observar essas matrizes, é possível constatar que os modelos tendem a acertar o rótulo majoritário das competências de acordo com o conjunto de dados. Como as competências “Algoritmos” e “Paralelização” apresentam poucas questões que as possuem (questões indicadas com rótulo 1), os modelos tendem a aprender mais informações sobre a ausência das competências nas questões (questões indicadas com rótulo 0). Isso leva os modelos a cometerem erros do tipo *FalsoNegativo*, que é a indicação fornecida pelos classificadores de que a questão não possui a competência analisada, mas de acordo com os dados pré-rotulados a competência está presente.

XGBoost				KTrain BERT			
Validação				Validação			
		Predição				Predição	
Algoritmos		0	1	Paralelização		0	1
Verdade	0	95	1	Verdade	0	133	3
	1	8	3		1	4	1

Tabela A.3: Matrizes de confusão para a competência Algoritmos do modelo XGBoost e Paralelização do modelo KTrain.

Tendo em vista que a tarefa de classificação de competências não é crítica, permitindo que pequenos erros sejam aceitos sem grandes prejuízos, os classificadores apresentaram resultados satisfatórios para as competências que possuem mais exemplos no conjunto de dados, pois isso impacta na forma como eles aprendem os padrões de representação dos

dados e predizem novos exemplos.

Ao julgar a necessidade de identificação das competências para estímulo ao PC na Matemática com o objetivo de aprimorar a capacidade de RP, é necessário analisar se é mais proveitoso optar por um classificador que comete menos *FalsosPositivos* e muitos *FalsosNegativos* (XGBoost), ou um que apresenta certo equilíbrio em relação aos *FalsosPositivos* e *FalsosNegativos* (KTrain), sendo mais conservador em suas predições. Diante disso, para reduzir a possibilidade de questões serem rotuladas erroneamente, o modelo KTrain BERT pode ser considerado o mais adequada para a tarefa de classificação automática de questões e reduzir o esforço de avaliações manuais por análise majoritária.

De acordo com as hipóteses definidas inicialmente, é possível perceber indícios de rejeição da hipótese nula (H_0), que indicava a **não** possibilidade de classificação automática de competências, e evidências de que é possível aceitar a hipótese alternativa H_2 , que indica a possibilidade de classificação de competências com **alta** capacidade de predição.

A.3 Conclusões Parciais

Neste capítulo, foi apresentada a metodologia para concepção e avaliação de classificadores automáticos de questões Matemática. O objetivo deste estudo foi possibilitar que as competências do PC fossem identificadas de maneira automática para contornar as dificuldades existentes na catalogação manual por avaliação majoritária. Para alcançar o objetivo traçado, foram testados modelos comumente utilizados na literatura para tarefas de classificação automática e o KTrain BERT foi considerado o modelo com melhores resultados em termos de Acurácia, Precisão, Cobertura e Medida-F. É válido destacar que para competências que apresentam poucas identificações nas questões são necessários mais dados para que as predições sejam mais confiáveis.

Apêndice B

Vetores de Referência dos Classificadores

- **Coleta:** [lógica, figura, lado, conforme, questão, necessário, organize, pode, parar, indicam];
- **Análise:** [abaixo, mostra, pode ser número figura quantos quantas seguinte sobre];
- **Representação:** [lógica, pode, classifique, supondo, período, valor, gráfico, tempo, número, estimar, abaixo, complete, ver, responda];
- **Decomposição:** [todos, determine, função];
- **Algoritmos:** [lógica, cálculos, organize];
- **Abstração:** [abaixo, mostra, aproximadamente, deve, seguinte, pode, quer, determine];
- **Automação:** [lógica];
- **Paralelização:** [lógica, levando, informações, organize, valores, observando, alguns, considerando, consideração];
- **Simulação:** [organize, lógica, realizar, percentual, cálculos, organizar, forma].

Apêndice C

Parâmetros Testados nos Classificadores

- **Linear Ridge:** alpha = [0.0000001, 0.000001, 0.00001, 0.0001, 0.001, 0.3, 0.35, 0.36, 0.37, 0.38, 0.39, 0.4, 0.41, 0.45, 0.5, 0.6, 0.7]
- **Logistic Regression:** C = [0.01, 0.1, 1, 10, 20, 30, 40, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 100] e penalty= [l1, l2]
- **Multinomial Naive Bayes:** alpha = [0.0000001, 0.000001, 0.00001, 0.0001, 0.001, 0.3, 0.35, 0.36, 0.37, 0.38, 0.39, 0.4, 0.41, 0.45, 0.5, 0.6, 0.7]
- **Random Forest:** bootstrap = [True, False], max_depth: [10, 20, 30, None], max_features: [auto, sqrt], min_samples_leaf: [1, 2, 4], min_samples_split: [2, 5, 10] e n_estimators: [10, 20, 30]
- **XGBoost:** gamma = [0.00001, 0.0001, 0.001, 0.1, 1] e reg_alpha: [0.00001, 0.0001, 0.001, 0.1, 1]
- **KTrain Bert:** maxlen: [30, 160].

Apêndice D

Resultados dos Modelos de Classificação

- Modelo *Linear Ridge*:

Linear Ridge (Treino e Validação)				
	Acurácia	Precisão	Cobertura	Medida-F
Coleta	0,89	0,91	0,68	0,72
Análise	0,80	0,84	0,71	0,73
Representação	0,88	0,84	0,65	0,68
Decomposição	0,73	0,75	0,71	0,71
Abstração	0,83	0,84	0,79	0,81
Algoritmos	0,94	0,87	0,71	0,75
Automação	0,98	0,94	0,85	0,88
Paralelização	0,94	0,60	0,59	0,58
Simulação	0,98	0,94	0,82	0,86
Mediana	0,89	0,84	0,71	0,73
Média	0,89	0,84	0,72	0,75

Linear Ridge (Teste)				
	Acurácia	Precisão	Cobertura	Medida-F
Coleta	0,88	1,00	0,32	0,48
Análise	0,77	0,75	0,94	0,83
Representação	0,85	0,80	0,21	0,33
Decomposição	0,79	0,79	0,91	0,85
Abstração	0,74	0,74	0,86	0,79
Algoritmos	0,91	0,67	0,18	0,29
Automação	0,97	1,00	0,50	0,67
Paralelização	0,95	0,00	0,00	0,00
Simulação	0,98	1,00	0,50	0,67
Mediana	0,88	0,79	0,50	0,67
Média	0,87	0,75	0,49	0,55

Figura D.1: Resultados do treinamento, validação e teste do modelo *Linear Ridge*.

- Modelo *Logistic Regression*:

Logistic Regression (Treino e Validação)				
	Acurácia	Precisão	Cobertura	Medida-F
Coleta	0,88	0,89	0,65	0,68
Análise	0,78	0,82	0,68	0,69
Representação	0,87	0,79	0,64	0,67
Decomposição	0,73	0,75	0,71	0,71
Abstração	0,82	0,84	0,79	0,80
Algoritmos	0,94	0,87	0,70	0,74
Automação	0,96	0,83	0,72	0,75
Paralelização	0,96	0,48	0,50	0,49
Simulação	0,97	0,83	0,72	0,76
Mediana	0,88	0,83	0,70	0,71
Média	0,88	0,79	0,68	0,70

Logistic Regression (Teste)				
	Acurácia	Precisão	Cobertura	Medida-F
Coleta	0,87	1,00	0,26	0,42
Análise	0,73	0,71	0,94	0,81
Representação	0,85	0,80	0,21	0,33
Decomposição	0,79	0,79	0,91	0,85
Abstração	0,75	0,73	0,90	0,81
Algoritmos	0,90	0,50	0,09	0,15
Automação	0,96	1,00	0,33	0,50
Paralelização	0,58	0,00	0,00	0,00
Simulação	0,97	1,00	0,25	0,40
Mediana	0,85	0,79	0,26	0,42
Média	0,82	0,73	0,43	0,47

Figura D.2: Resultados do treinamento, validação e teste do modelo *Logistic Regression*.

- Modelo *Multinomial Naive Bayes*:

Multinomial Naive Bayes (Treino e Validação)				
	Acurácia	Precisão	Cobertura	Medida-F
Coleta	0,88	0,85	0,65	0,68
Análise	0,79	0,77	0,75	0,76
Representação	0,88	0,83	0,68	0,70
Decomposição	0,73	0,77	0,7	0,69
Abstração	0,85	0,84	0,84	0,84
Algoritmos	0,93	0,89	0,70	0,75
Automação	0,95	0,88	0,70	0,74
Paralelização	0,94	0,47	0,50	0,48
Simulação	0,96	0,68	0,60	0,62
Mediana	0,88	0,83	0,70	0,70
Média	0,88	0,78	0,68	0,70

Multinomial Naive Bayes (Teste)				
	Acurácia	Precisão	Cobertura	Medida-F
Coleta	0,85	1,00	0,16	0,27
Análise	0,77	0,78	0,86	0,82
Representação	0,85	1,00	0,16	0,27
Decomposição	0,78	0,77	0,93	0,84
Abstração	0,79	0,83	0,83	0,83
Algoritmos	0,92	1,00	0,18	0,31
Automação	0,96	1,00	0,33	0,50
Paralelização	0,95	0,00	0,00	0,00
Simulação	0,96	0,00	0,00	0,00
Mediana	0,85	0,83	0,18	0,31
Média	0,87	0,71	0,38	0,43

Figura D.3: Resultados do treinamento, validação e teste do modelo *Multinomial Naive Bayes*.

- **Modelo *Random Forest*:**

Random Forest (Treino e Validação)				
	Acurácia	Precisão	Cobertura	Medida-F
Coleta	0,89	0,86	0,66	0,70
Análise	0,81	0,81	0,75	0,74
Representação	0,89	0,78	0,68	0,73
Decomposição	0,70	0,75	0,64	0,64
Abstração	0,83	0,83	0,81	0,82
Algoritmos	0,95	0,90	0,77	0,82
Automação	0,99	1,00	0,93	0,95
Paralelização	0,93	0,62	0,59	0,55
Simulação	0,98	0,94	0,85	0,88
Mediana	0,89	0,83	0,75	0,74
Média	0,89	0,83	0,74	0,76

Random Forest (Teste)				
	Acurácia	Precisão	Cobertura	Medida-F
Coleta	0,87	1,00	0,26	0,42
Análise	0,81	0,81	0,91	0,86
Representação	0,85	0,80	0,21	0,33
Decomposição	0,73	0,72	0,96	0,82
Abstração	0,78	0,78	0,86	0,82
Algoritmos	0,91	0,67	0,18	0,29
Automação	0,97	1,00	0,50	0,67
Paralelização	0,97	1,00	0,40	0,57
Simulação	0,98	1,00	0,50	0,67
Mediana	0,87	0,81	0,50	0,67
Média	0,87	0,86	0,53	0,61

Figura D.4: Resultados do treinamento, validação e teste do modelo *Random Forest*.

Apêndice E

O Ambiente Colaborativo: Compensar

Neste apêndice, é apresentada o ambiente colaborativo Compensar. Esse ambiente tem por objetivo auxiliar a condução das etapas propostas no arcabouço metodológico e, por meio de estratégias automatizadas, tornar o processo de criação, catalogação e utilização de questões de Matemática, que estimulam as competências do Pensamento Computacional (PC), mais eficiente e colaborativo. No ambiente, foram incorporados os classificadores automáticos concebidos descritos no Apêndice A e estratégias de inserção de meta informações para apoiar as buscas por questões no repositório do ambiente.

A princípio, é importante destacar que a concepção e avaliação do ambiente com base na estratégia metodológica apresentada é fruto direto desta pesquisa. No entanto, só se tornou o ambiente funcional que se encontra hospedado e pronto para uso com o apoio de dois alunos bolsistas de iniciação tecnológica. Ambos financiados pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), um pelo Laboratório de Sistemas Distribuídos (LSD) e o outro com o apoio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI).

Os dois alunos foram responsáveis por grande parte da codificação do ambiente, tornando possível a materialização de um sistema, em *software*, que permite a realização das etapas metodológicas propostas, além de incorporarem os classificadores automáticos de questões e as estratégias de indexação de informações.

E.1 Visão Geral do Ambiente Compensar

O ambiente, utilizando das estratégias propostas que apoiam a etapa de criação, catalogação e busca, possui funcionalidades de indexação de informações incorporadas a essas etapas que têm por meta alcançar ao Objetivo Específico (OE) da seguir:

- (OE) Possibilitar a inserção de meta informações para apoiar a reutilização de questões de Matemática e as competências do PC estimuladas por elas, a partir de técnicas de Recuperação da Informação, com o objetivo de aumentar a colaboração entre os professores e facilitar o compartilhamento e utilização dessas questões em sala de aula.

A visão geral do ambiente pode ser observada na Figura E.1.

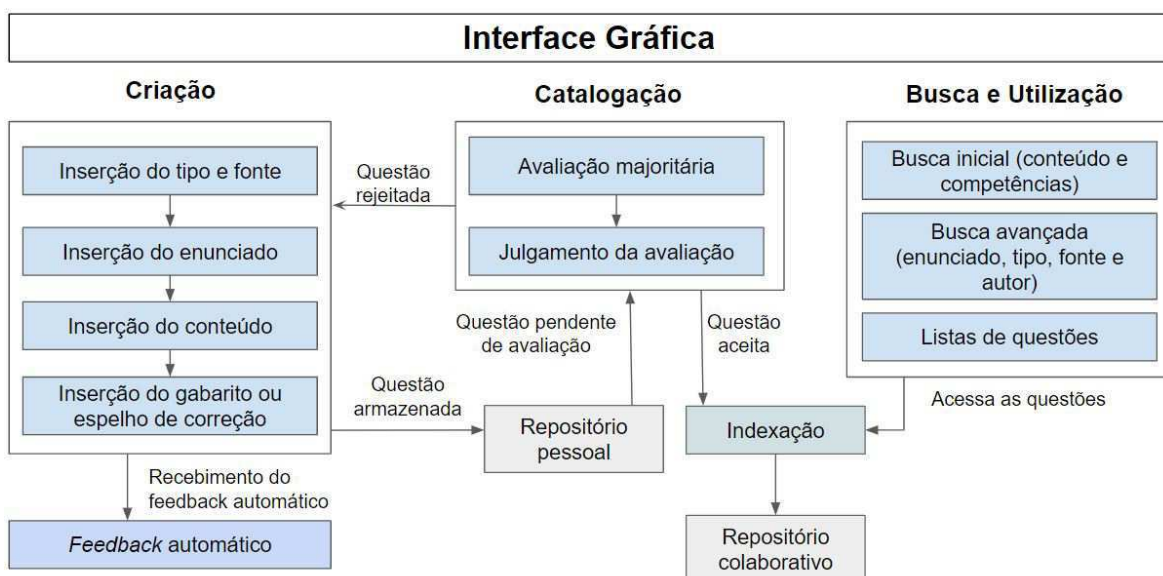


Figura E.1: Visão geral do ambiente Compensar.

O módulo de criação foi pensado para apoiar a etapa de criação de questões e, durante o processo, coletar informações relacionadas a questão que, posteriormente, auxiliem a localização delas dentro dos repositórios do ambiente, tais como tipo, fonte, enunciado e conteúdo. Já o módulo de catalogação possibilita que a avaliação majoritária seja conduzida de maneira colaborativa pelos usuários da ferramenta, permitindo que as avaliações sejam realizadas individualmente e, ao final, a questão seja aceita ou rejeitada de acordo com essas avaliações. Por fim, o módulo de busca e utilização, a partir de questões avaliadas e aceitas

no ambiente, permite que sejam utilizadas estratégias de busca com base nas informações inseridas na questão durante o processo de criação e das competências identificadas pela avaliação majoritária. Esse módulo permite que sejam geradas listas de exercício de acordo com os critérios de busca utilizados pelos usuários. Nas próximas seções os módulos e seus detalhes de implementação serão apresentados.

E.1.1 O Módulo de Criação

O processo de criação de questões é iniciado a partir da inserção de informações preliminares que dizem respeito ao tipo de questão, que pode ser objetiva ou subjetiva, e da fonte. A fonte diz respeito a origem da questão, que pode ser autoral ou de repositórios já existentes, tais como os repositórios de questões do ENEM, PISA, Olimpíadas de Matemática, entre outros (ver Figura E.2).

A imagem mostra a interface de usuário para a criação de uma questão. No topo, o título "CRIAR QUESTÃO" está centralizado. Abaixo dele, há uma barra decorativa com uma linha azul e uma linha verde. O formulário contém duas seções principais: "Tipo de Questão:" e "Fonte:". Na seção "Tipo de Questão:", há duas opções de radio buttons: "Objetiva" (selecionada) e "Subjetiva". Na seção "Fonte:", há um campo de texto com o valor "Matemáticazup". Abaixo do campo de texto, há um botão azul com o texto "Continuar" e um ícone de seta para a direita.

Figura E.2: Tela de criação de questões (inserção do tipo e fonte).

A próxima etapa da criação de questões consiste na inserção de seu enunciado. A inserção do enunciado é amparada por um editor textual que permite a formatação do texto (e.g. sublinhado, negrito, itálico, entre outras), inserção de imagens e expressões aritméticas no formato Latex, como destaca a Figura E.3.

CRIAR QUESTÃO

Enunciado:

B I U G **”** **☰ ☷** **x₂ x²** **☰ ☷** **↶ ↷**
Normal Normal **A** **A** Sans Serif **☰ ☷**
f_x **🔗** **🖼️**

Assinale a alternativa que mostra corretamente o total de números primos que existem entre os números 1, 7, 9, 11, 13, 29, 33.

⬅ VoltarContinuar ➡

Figura E.3: Tela de criação de questões (inserção do enunciado).

Por fim, o conteúdo e as respostas para auxiliar os usuários na correção dos exercícios aplicados em sala de aula são inseridos. As opções de resposta variam de acordo com o tipo de questão criada. Para questões objetivas, as respostas são representadas no formato de alternativas com apenas uma alternativa correta. Já para questões subjetivas, a inserção é feita no formato de espelho de correção. As duas opções de respostas são ilustradas na Figuras E.4 e E.5.

CRIAR QUESTÃO

Conteúdo:

Outros

Alternativas:

a)	<input type="text" value="2"/>	Correta:	<input type="checkbox"/>
b)	<input type="text" value="4"/>	Correta:	<input checked="" type="checkbox"/>
c)	<input type="text" value="6"/>	Correta:	<input type="checkbox"/>
d)	<input type="text" value="8"/>	Correta:	<input type="checkbox"/>
e)	<input type="text" value="10"/>	Correta:	<input type="checkbox"/>

Figura E.4: Tela de criação de questões (inserção do conteúdo e alternativas de resposta para questões objetivas).

CRIAR QUESTÃO



Conteúdo:

Outros

Espelho da Questão:

B I U **”** **☰ ☲** **x₂ x²** **☰ ☲** **↕**

Normal Normal A Sans Serif ☰

fx  

Resposta: 4

Figura E.5: Tela de criação de questões (inserção do conteúdo e espelho de correção para questões subjetivas).

Após a conclusão da questão, é apresentado o *feedback* gerado pelos classificadores automáticos, como ilustrado na Figura E.6. É válido destacar que as competências identificadas pelos classificadores não são registradas diretamente no repositório colaborativo do ambiente, visto que, todas as questões precisam ser catalogadas. O *feedback* apresentado serve como visão preliminar das competências do PC que serão estimuladas, mas quem irá confirmar a presença dessas competências serão os demais usuários de acordo com as funcionalidades implementadas no ambiente Compensar descritas na Seção E.1.2.

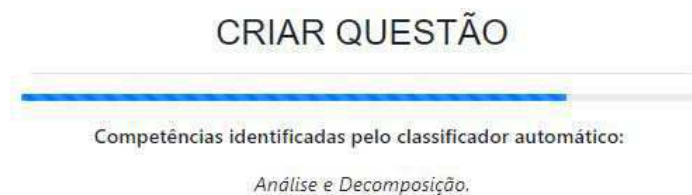


Figura E.6: Tela de criação de questões (*feedback* preliminar gerado pelos classificadores automáticos).

Após o recebimento do *feedback*, a questão é armazenada em um repositório pessoal do usuário no ambiente. Visto que, todas as questões, antes de serem publicadas em definitivo, precisam passar pelo processo de avaliação majoritária, para assim integrarem o repositório colaborativo. Apenas após a conclusão das avaliações e aceitação da questão ela pode, de fato, ser utilizada por outros usuários. Antes da questão ser submetida para avaliação, ela permanece no estado de “Rascunho”(ver Figura E.7), onde seu criador pode fazer alterações em relação as informações inseridas (ver Figura E.8), em caso de alterações é gerado um novo *feedback* automático a partir das modificações realizadas. Após a liberação para avaliação, a questão é modificada para o estado de “Pendente”(ver Figura E.9) e é inserida em uma fila para que outros usuários possam avaliá-la.

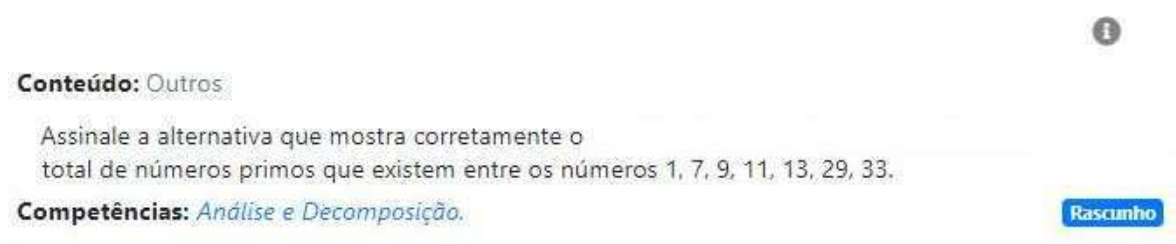


Figura E.7: Tela com a indicação que a questão está no estado “Rascunho”.

Editar Questão ✕

Tipo:

Objetiva

Subjetiva

Fonte:

Conteúdo:

Enunciado:

B I U ☒ ” ☰ ☷ x₂ x² ☰ ☷ ↕ Normal ⬇ Normal ⬆ A ☒

Sans Serif ⬇ ☰ f_x 🔗 📎

Assinale a alternativa que mostra corretamente o total de números primos que existem entre os números 1, 7, 9, 11, 13, 29, 33.

Espelho da Questão:

B I U ☒ ” ☰ ☷ x₂ x² ☰ ☷ ↕ Normal ⬇ Normal ⬆ A ☒

Sans Serif ⬇ ☰ f_x 🔗 📎

Resposta: 4

Figura E.8: Tela de edição de questões.

i

Conteúdo: Outros

Assinale a alternativa que mostra corretamente o total de números primos que existem entre os números 1, 7, 9, 11, 13, 29, 33.

Competências: *Análise e Decomposição*

Pendente

Figura E.9: Tela com a indicação que a questão está no estado “Pendente”.

E.1.2 O Módulo de Catalogação

O módulo de catalogação faz uso da fila de questões no estado de “Pendente” para direcioná-las aos avaliadores. O processo de avaliação é conduzido, inicialmente, a partir da avaliação do seu próprio criador e, posteriormente, de mais dois usuários. Cada avaliação consiste na identificação das competências e da observação que os avaliadores fazem sobre possíveis melhorias, tais como: erros ortográficos, questão descontextualizada, imagens ilegíveis, entre outras.

Inicialmente, o avaliador visualiza todas as informações da questão (ver Figura E.10). Após observar as informações, ele assinala as competências que foram identificadas (ver Figura E.11) e pode destacar o trecho do enunciado da questão que faz referência a competência identificada (ver Figura E.12). Por fim, ele pode informar o seu nível de confiança ao avaliar a questão, além de inserir observações gerais e propostas de melhoria (ver Figura E.13).

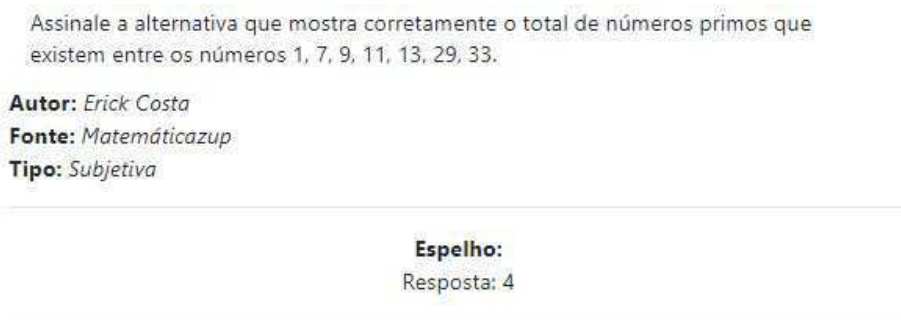


Figura E.10: Tela de avaliação de questões (informações da questão).

Competências que você identificou:










Competência	Esta competência está presente na questão?		
	Sim	Não	
Abstração	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Conte-nos mais 
Algoritmos	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Conte-nos mais 
Análise	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Conte-nos mais 
Automação	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Conte-nos mais 
Coleta	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Conte-nos mais 
Decomposição	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Conte-nos mais 
Paralelização	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Conte-nos mais 
Representação	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Conte-nos mais 
Simulação	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	Conte-nos mais 

Figura E.11: Tela de avaliação de questões (assinalação das competências identificadas).

Selecione trechos em que a competência decomposição está presente

Assinale a alternativa que mostra corretamente o total de números primos que existem entre os números 1, 7, 9, 11, 13, 29, 33.





Figura E.12: Tela de avaliação de questões (destaque do trecho do enunciado que faz referência à competência identificada).

Seu nível de confiança nesta avaliação: 75%

Aqui você pode escrever alguma observação com relação a avaliação:

Nenhuma observação a ser feita.

Aqui você pode escrever sugestões para a questão:

O espelho de correção poderia conter mais detalhes sobre o processo de resolução da questão.

O quanto você acha que a questão está preparada para publicação:

Pronta para publicação

Necessita de pequenas alterações

Necessita de muitas alterações

Fora de contexto

Enviar

Figura E.13: Tela de avaliação de questões (nível de confiança, observações gerais e sugestões de melhoria).

Após a realização das avaliações individuais, as questões são direcionadas para julgamento. O julgamento foi definido como uma estratégia para controlar a qualidade das questões que são produzidas no ambiente. Essa estratégia é conduzida por um usuário com permissões específicas de acesso, onde, o mesmo, de posse das avaliações individuais, analisa todas as observações inseridas e emite o parecer de aceitação ou rejeição da questão (ver Figura E.14). Em caso de propostas de melhorias simples, como erros ortográficos, quem estiver conduzindo o julgamento pode fazê-las e aceitar a publicação. Em caso de modificações substanciais, o julgamento deve ser desfavorável e a questão devolvida para o criador com o status "Rejeitada", isso para que ele possa fazer as modificações e submeter novamente a questão ao processo de avaliação.

Concluído o processo de avaliação, caso a questão seja aceita, ela é publicada com suas informações indexadas no repositório colaborativo para que passe a constar nas buscas que podem ser realizadas. A indexação das informações é feita após a conclusão da criação e avaliação das questões e será descrita em maiores detalhes na próxima seção. As competências catalogadas, ao se aceitar a questão avaliada, é definida a partir do critério

Tipo:	Fonte:	Conteúdo:
<input type="radio"/> Objetiva <input checked="" type="radio"/> Subjetiva	<input type="text" value="Matemáticazup"/>	<input type="text" value="Outros"/>
Enunciado:		
<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p> B I U S ” ≡ ≡ x₂ x² ≡ ≡ ↕ Normal ▾ Normal ▾ A A Sans Serif ▾ ≡ f_x </p> <p>Assinale a alternativa que mostra corretamente o total de números primos que existem entre os números 1, 7, 9, 11, 13, 29, 33.</p> </div>		
Espelho da Questão:		
<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px;"> <p> B I U S ” ≡ ≡ x₂ x² ≡ ≡ ↕ Normal ▾ Normal ▾ A A Sans Serif ▾ ≡ f_x </p> <p>Resposta: 4</p> </div>		
Sugestões de avaliadores:		
(Pronta para publicação) <i>O espelho de correção poderia conter mais detalhes sobre o processo de resolução da questão. (Pronta para publicação)</i>
 <i>Nenhuma sugestão de melhoria. (Pronta para publicação)</i>		
<input type="button" value="Rejeitar"/> <input type="button" value="Aceitar"/>		

Figura E.14: Tela de avaliação de questões (julgamento da questão).

majoritário, onde se pelo menos dois avaliadores tiverem identificado a competência, a mesma passa a constar no ambiente como presente na questão. Essas questões catalogadas também são usadas para que os classificadores automáticos continuem aprendendo os padrões de representação das competências e realizem predições mais assertivas conforme eles aprendem.

E.1.3 O Módulo de Busca e Utilização

O módulo de busca e utilização foi concebido para que as questões pudessem ser localizadas e utilizadas com mais facilidade. Para isso, após as questões serem aceitas, o módulo um mecanismo interno que realiza a indexação das informações. Este processo é realizado sem a necessidade de participação do usuário, que é responsável apenas pela criação, avaliação das questões e utilização, após as informações sobre as questões terem sido indexadas pelo ambiente.

Indexação

O processo de indexação é realizado com base em Técnicas de Recuperação da Informação no lado servidor do ambiente a partir da solução disponibilizada pelo MongoDB¹. Essa solução disponibiliza técnicas de indexação² para mapeamento de informações e, ao realizar buscas por essas informações, o mesmo fornece um *score* que indica o quão relacionados estão os resultados fornecidos com os critérios de busca aplicados.

Para a estratégia de indexação implementada no ambiente Compensar, foram consideradas as informações do enunciado e das competências das questões catalogadas no formato textual. A partir dessa representação, os mecanismos de indexação realizam um *match* das informações fornecidas na busca com as informações registradas no banco de dados. Um exemplo de representação textual de uma questão aceita para publicação, ilustrada na Figura E.15, processada pelos mecanismos de indexação para realização do *match* é ilustrado na Figura E.16. É válido destacar que os mecanismos descartam palavras de ligação e aplicam uma transformação de letras maiúsculas em minúsculas para evitar inconsistências nos resultados e generalizar melhor as buscas realizadas.

¹MongoDB: <https://www.mongodb.com/>

²MongoDB Indexes: <https://docs.mongodb.com/manual/indexes/>

Assinale a alternativa que mostra corretamente o total de números primos que existem entre os números 1, 7, 9, 11, 13, 29, 33.

Autor: Erick Costa
Fonte: MatemáticaZup
Tipo: Subjetiva

Competências:
Decomposição

Espelho:
Resposta: 4

Figura E.15: Exemplo de questão aceita para publicação.

assinale alternativa mostra corretamente total números primos existem entre números 1 7 9 11 13 29 33 decomposição

Figura E.16: Exemplo de representação textual processada pelos mecanismos de indexação.

Com as informações representadas no formato textual, caso sejam informadas, nas opções de busca do ambiente, as palavras “corretamente” e a competência “Decomposição” as questões serão retornadas, cada uma, com o *score* para os *matches* realizados para a palavra e a competência indicada na busca. No caso da palavra informada na busca conter a palavra “corre”, a questão exemplificada na Figura E.16 também será retornada, visto que, os mecanismos de indexação consideram o trecho correspondente na palavra “corretamente”.

No caso em que o usuário busca por informações mais específicas a respeito das questões, tais como o conteúdo abordado, tipo da questão (objetiva ou subjetiva), autor e fonte, o indexador constrói um subgrupo de questões com as características informadas para então aplicar os *matches* e calcular o *score*. Essa estratégia foi considerada para reduzir inconsistências no retorno das buscas. Como, por exemplo, nos casos de o usuário informar que deseja as questões do autor “João” não deveria ser retornado para ele questões que possuam em seu enunciado a palavra “joão”, “jogo” e “mansão”, visto que, os trechos de texto “jo” e “ão” estariam presentes na representação textual.

Buscas

A partir das técnicas de indexação descritas, é permitido no ambiente que as questões sejam localizadas com base nas informações presentes na questão, seguindo as restrições estabelecidas. No ambiente, as buscas foram classificadas de duas formas: busca padrão, que considera o conteúdo, o enunciado e as competências; e busca avançada, que considera as demais informações inseridas na questão durante a criação. A Figura E.17 destaca as opções de filtragem disponíveis no ambiente para aplicação das buscas.

Ao aplicar as opções de filtro, a indexação retorna as questões ordenadas do maior *score* calculado para o menor. As questões retornadas são exibidas em grupos de cinco e o usuário pode navegar por elas a partir das páginas indicadas no topo da tela. A exibição das questões pode ser observada na Figura E.18. Os detalhes de cada uma das questões retornadas podem ser acessado pelo ícone no canto superior direito ("i").

Conteúdo:
Todos os conteúdos

Competências:

- Abstração
- Algoritmos
- Análise
- Automação
- Coleta
- Decomposição
- Paralelização
- Representação
- Simulação
- Todas

Mais filtros

Enunciado:
Pesquise por termo(s) do enunciado

Tipo: Objetiva Todos Subjetiva

Fonte:
Ex.: PISA, ENEM ou Autoral

Autor:
Ex.: Edson Arantes do Nascimento

Figura E.17: Tela com as opções de filtragem.



← 1 1 115 →

Conteúdo: Geometria

Um forro retangular de tecido traz em sua etiqueta a informação de que encolherá após a lavagem. Considere que a área do forro seja $1,5 \text{ m}^2$ e que a largura seja 1 m . A figura a seguir mostra a medida

Competências: *Decomposição, Abstração e Análise.*

Conteúdo: Juros Compostos

Considere que uma pessoa decida investir uma determinada quantia e que lhe sejam apresentadas três possibilidades de investimento, com rentabilidades líquidas anuais

Competências: *Decomposição, Abstração, Análise e Coleta.*

Conteúdo: Geometria Espacial

Para construir uma manilha de esgoto, um cilindro com 2 m de diâmetro e 4 m de altura (de superfície lateral) foi escolhida homogeneamente, numa camada de concreto

Competências: *Decomposição, Abstração e Análise.*

Conteúdo: Sistemas Lineares

O Indicador do CadÚnico (ICadÚnico), que compõe o cálculo do Índice de Gestão Descentralizada do Programa Bolsa Família (IGD), é obtido por meio da fórmula

Competências: *Decomposição e Abstração.*

Figura E.18: Tela com as questões retornadas após uma busca.

Utilização

Para facilitar a utilização das questões, a funcionalidade de geração de listas foi concebida. Essa funcionalidade permite que as questões sejam agrupadas de acordo com as opções de filtragem e impressas para aplicação em sala de aula. Para isso, os usuários definem, inicialmente, o nome da lista que deseja criar (ver Figura E.19) e podem inserir ou remover questões de acordo com as buscas realizadas. A partir da construção de uma lista de exercícios, ao habilitar a opção de impressão (ver Figura E.20), as listas são apresentadas em dois conjuntos de páginas: um contendo todas as questões selecionadas (ver Figura E.21) e o outro com a folha de respostas (ver Figura E.22). A folha de respostas contém as alternativas corretas, para as questões objetivas, e o espelho de correção, para questões subjetivas. O questionário e o gabarito gerado podem ser impressos de maneira independente. Sendo assim, é possível realizar impressões em maior quantidade para os questionários e apenas uma impressão da folha de resposta, que servirá de referência para correção da lista de exercícios.



NOVA LISTA

Nome da Lista:

Continuar →

Figura E.19: Tela de criação de listas (inserção do nome da lista).

Minha primeira lista







Conteúdo: Geometria

Um forro retangular de tecido traz em sua etiqueta a informação de que encolherá após a primeira lavagem mantendo, entretanto, seu formato. A figura a seguir mostra as medidas originais do forro e

Competências: *Decomposição, Abstração e Análise.*



Conteúdo: Geometria Espacial

Para construir uma manilha de esgoto, um cilindro com 2 m de diâmetro e 4 m de altura (de espessura desprezível) foi envolvido homogeneamente por uma camada de concreto, contendo 20 cm de espessura.

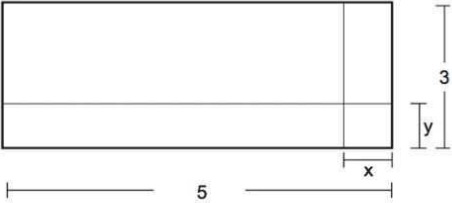
Competências: *Decomposição, Abstração e Análise.*

Figura E.20: Tela de manipulação de listas (opções de edição, remoção e impressão).

Aluno: _____

Questão 1 (ENEM (2012)):

Um forro retangular de tecido traz em sua etiqueta a informação de que encolherá após a primeira lavagem mantendo, entretanto, seu formato. A figura a seguir mostra as medidas originais do forro e o tamanho do encolhimento (x) no comprimento e (y) na largura. A expressão algébrica que representa a área do forro após ser lavado é $(5 - x)(3 - y)$.



Nestas condições, a área perdida do forro, após a primeira lavagem, será expressa por:

a) $2xy$
 b) $15 - 3x$
 c) $15 - 5y$
 d) $-5y - 3x$
 e) $5y + 3x - xy$

Questão 2 (ENEM (2010)):

Para construir uma manilha de esgoto, um cilindro com 2 m de diâmetro e 4 m de altura (de espessura desprezível), foi envolvido homogeneamente por uma camada de concreto, contendo 20 cm de espessura.

Supondo que cada metro cúbico de concreto custe R\$ 10,00 e tomando 3,1 como valor aproximado de π , então o preço dessa manilha é igual a:

a) R\$ 230,40.
 b) R\$ 124,00.
 c) R\$ 104,16.
 d) R\$ 54,56.
 e) R\$ 49,60.

Imprimir lista de questões

Imprimir folha de respostas

Figura E.21: Questionário gerado para impressão.



Figura E.22: Gabarito gerado para impressão.

E.2 Resultados e Discussões

O processo de validação do ambiente foi conduzido ao final da segunda etapa do curso de extensão ofertado para alunos de Licenciatura e Bacharelado da Universidade Federal de Campina Grande. A princípio, após os conceitos gerais e práticas introdutórios (BNCC, práticas interdisciplinares e as orientações práticas para criação, avaliação e utilização de questões) terem sido repassados, os participantes foram orientados quanto à utilização do ambiente Compensar para realização de cada uma das etapas do arcabouço metodológico.

Os participantes aprenderam a criar questões, receber o *feedback* automático dos classificadores, e, por fim, utilizar os mecanismos de buscas de questões implementados. Ao final, os participantes responderam a um questionário que tinha por objetivo identificar a facilidade de utilização dos módulos de criação e busca, além da satisfação deles quanto ao *feedback* automático de competências fornecido pelo ambiente.

As indagações feitas aos participantes sobre o ambiente foram:

- O processo de produção de questões de Matemática que estimulem as competências do PC é de fácil realização?
- O *feedback* gerado pelo ambiente, em relação a quais competências do PC que estão sendo estimuladas na questão de Matemática elaborada, é satisfatório?

- O processo de busca por questões, considerando um determinado conteúdo da Matemática e as competências do PC, é de fácil realização?

Em relação a facilidade de uso do módulo de criação de questões, é possível observar a Figura E.23 que ilustra a distribuição da pontuação atribuída entre um (não é fácil de utilizar) e dez (é muito fácil de utilizar). Como é possível perceber, o módulo de criação foi bem aceito pelos participantes e a indicação aponta para um nível alto de facilidade no uso. No entanto, uma das avaliações, como é possível observar, foi muito abaixo das demais. Ao consultar as respostas abertas fornecidas pelos usuários, foi possível constatar que a baixa pontuação de facilidade se deu pelo fato de o ambiente não possibilitar a construção de tabelas diretamente através do editor de enunciados, fazendo com que o criador precisasse utilizar uma ferramenta auxiliar para construção das tabelas presentes em sua questão, importando-as, posteriormente, como imagem.



Figura E.23: Distribuição das indicações de facilidade de uso do módulo de criação.

No que diz respeito ao *feedback* automático, como os participantes já haviam avaliado suas questões durante a criação, eles apresentaram o parecer de satisfação com as competências mapeadas automaticamente pelos classificadores. A Figura E.24 ilustra a distribuição das indicações atribuídas entre um (não é satisfatório) e dez (é muito satisfatório).

Como é possível perceber, as avaliações não indicam um alto nível de satisfação, pois alguns participantes forneceram pontuações abaixo de cinco. Ao consultar as respostas



Figura E.24: Distribuição das indicações de satisfação com o *feedback* automático.

abertas, foi possível constatar que essas pontuações foram atribuídas pelo fato de o ambiente não ter conseguido identificar automaticamente todas as competências que haviam sido, inicialmente, introduzidas e avaliadas durante a primeira etapa do curso. Este comportamento já era esperado, tendo em vista as variações de Acurácia, Precisão, Cobertura e Medida-F. No momento da realização do curso, o classificador que havia sido integrado ao ambiente era o XGBoost e, como discutido anteriormente, possui uma forte propensão a cometer erros do tipo *FalsoNegativo*, devido a sua baixa capacidade de Cobertura.

Já no que diz respeito a facilidade de uso do módulo de busca, é possível observar a Figura E.25. Como é possível perceber, a distribuição indica que o módulo apresenta alto índice de facilidade na atividade ao qual ele se propõe, que é a de localização de questões com base nas opções de filtragem e das técnicas de indexação implementadas.



Figura E.25: Distribuição das indicações de facilidade de uso do módulo de busca.

As constatações feitas a partir dos dados podem ser observadas nas respostas abertas fornecidas pelos participantes em resposta ao questionário, quando perguntados se o ambiente poderia apoiar as práticas interdisciplinares de estímulo ao PC em questões de Matemática com base nas atividades conduzidas manualmente. Os relatos foram:

- *“Sim. Julguei o Compensar como uma plataforma muito útil e também interessante, até mesmo para alunos. Talvez funcione como um estímulo aos alunos para o estudo e resolução de questões.”;*
- *“Sim. Visto que a contextualização de questões construídas permitirá também uma melhor interação entre as diferentes disciplinas.”;*
- *“Sim. De fato, sendo no âmbito de trabalho das competências interligadas com o pensamento lógico matemático.”.*

Por fim, é válido destacar que o módulo de catalogação e a funcionalidade de geração de listas ainda não estavam presentes no ambiente no momento da realização do curso. Sendo assim, é necessário a validação deles em cursos futuros. No mais, o ambiente apresentou indícios de que pode apoiar as etapas da estratégia metodológica proposta, fornecendo estratégias colaborativas e, conseqüentemente, mais eficientes, tendo em vista que todo o processo, a princípio, era centralizado em um único indivíduo responsável por criar e avaliar as questões que produzia. Com a conceição do ambiente, agora é possível reunir diversos

indivíduos que serão responsáveis por criar e avaliar questões, além de disponibilizá-las de maneira simples e intuitiva para outros interessados em aplicar a metodologia em sala de aula. Os resultados preliminares são animadores e encorajadores, sendo factível considerar a realização das melhorias propostas e disponibilização da ferramenta para uso da comunidade.

E.3 Conclusões Parciais

Neste apêndice, foi apresentada a instanciação da estratégia PC+ a partir do ambiente Compensar e os módulos de criação, avaliação, busca e utilização. Além disso, foram discutidos os resultados do processo de validação, que foi conduzido por meio de um curso de extensão para alunos de Licenciatura e Bacharelado em Matemática da Universidade Federal da Paraíba. Os resultados apresentam indícios de que o ambiente é de fácil utilização e atende aos objetivos ao qual ele se propõe: apoiar as etapas de criação, avaliação e utilização de questões. No entanto, é necessário conduzir processos de validação semelhantes para os módulos de catalogação e listas de exercícios, que no momento da realização do curso ainda não estavam integrados à ferramenta.

Apêndice F

Protocolo de Revisão Sistemática

Neste apêndice são descritos os detalhes de todo protocolo definido e executado para caracterização da literatura e identificação dos trabalhos relacionados a esta pesquisa.

F.1 Questões de Pesquisa

Diante das possibilidades de estímulo ao PC, de maneira interdisciplinar, a partir da disciplina de matemática, no ensino fundamental, as seguintes Questões de Pesquisa (QP) foram formuladas para auxiliar a condução, sumarização e caracterização deste mapeamento:

- **QP1:** Quais as vertentes metodológicas consideradas nestes estudos?
- **QP2:** Qual o público alvo das estratégias metodológicas propostas?
- **QP3:** Quais as competências do PC estimuladas?
- **QP4:** Quais os conteúdos da matemática abordados?
- **QP5:** Como as estratégias são validadas?

As questões de pesquisa foram levantadas de modo a caracterizar os perfis das estratégias metodológicas com base nas duas principais vertentes de estímulo ao PC; se essas vertentes estão focadas na formação de professores ou alunos; qual o modelo de disseminação das propostas (cursos de formação de longa ou curta duração); quais as principais competências estimuladas; e como são validados os estudos (em termos qualitativos e quantitativos).

F.2 Estratégia de Busca

Após a definição das QP a serem respondidas com a condução da revisão sistemática, analisamos os termos relacionados com o contexto de pesquisa a ser buscado para que fosse possível montar a chave de busca (*string* de busca). Os termos selecionados foram: “pensamento computacional”, “matemática” e “metodologia”. Após a definição dos termos, analisamos sinônimos para as variações de representação dos termos “matemática” e “metodologia”. Para o termo “pensamento computacional”, tendo em vista seu contexto central, mantivemos-o em representação única. Após essas definições, os conectores foram pensados de modo a permitir que os sinônimos não fossem excludentes, mas que possibilitassem buscas complementares aos termos principais. Para validação dos termos, conduzimos alguns testes para verificar a aderência dos trabalhos retornados pelos repositórios bibliográficos. Por fim, após a condução destes passos, definimos as *strings* de busca (PT-BR e EN):

- **PT-BR:** ((“*pensamento computacional*”) AND (“*matemática*”) AND (“*método*” OR “*metodologia*” OR “*esquema*” OR “*plano*” OR “*abordagem*” OR “*estratégia*”));
- **EN:** ((“*computational thinking*”) AND (“*math*” OR “*mathematics*”) AND (“*method*” OR “*methodology*” OR “*scheme*” OR “*plan*” OR “*approach*” OR “*strategy*”)).

As *strings* foram definidas em duas línguas, pois foi de nosso interesse mapear também trabalhos no contexto brasileiro - tendo em vista as orientações específicas da BNCC quanto ao estímulo ao PC na disciplina de matemática. Diante disso, as principais bibliotecas digitais no contexto da educação em ciência da computação foram selecionadas. No cenário brasileiro: CAPES, RBIE, SBIE, WIE e WEI. Já no cenário internacional: ACM Digital Library, IEEEExplore, ScienceDirect e SpringerLink [31].

F.3 Critérios de Seleção

Como critérios para seleção dos trabalhos, algumas definições foram implementadas para guiar a inclusão e exclusão de trabalhos não relacionados, ou seja, fora do contexto de pesquisa definido.

Critérios de inclusão:

1. Estudos conduzidos nos últimos cinco anos;
2. Estudos com referência às palavras chave no título ou no resumo;
3. Estudos em língua inglesa (bases internacionais); língua inglesa e portuguesa (bases nacionais);

Critérios de exclusão:

1. Estudos duplicados;
2. Mapeamentos sistemáticos, pôsteres, editoriais, prefácios, resumos, entrevistas, notícias, revisões de literatura e artigos de opinião;
3. Estudos fora do contexto do ensino de PC e matemática;
4. Estudos conduzidos fora do contexto do ensino fundamental (*elementary e middle school*);

A partir das definições dos repositórios de trabalhos, executamos a *string* de busca em cada uma das bibliotecas digitais considerando, inicialmente, os critérios de inclusão. Dentre esses critérios: trabalhos conduzidos entre os anos de 2017 e 2021; com referência aos termos da *string* de busca no título e no resumo; e, de acordo com o repositório (nacional ou internacional), os idiomas definidos (inglês ou português). Os resultados da busca seguindo os precedimentos citados podem ser observados na Tabela F.1 a seguir.

Tabela F.1: Trabalhos selecionados a partir da presença dos termos de busca nos títulos ou resumos.

Bases de dados	Resultados da Busca
ACM Digital Library:	8
IEEEExplorer	16
ScienceDirect	7
SpringerLink	117
CAPES	57
RBIE	0
SBIE	1
WIE	0
WEI	0

Na sequência da aplicação dos critérios de inclusão, executamos os critérios de exclusão a partir da leitura dos títulos e resumos dos trabalhos. Essa primeira etapa de exclusão resultou em 50 trabalhos, potencialmente relevantes, que foram lidos em sua totalidade e, após a aplicação dos critérios de exclusão novamente, 10 trabalhos foram considerados relevantes para nossos objetivos (ACM Digital Library: 2; IEEExplorer: 1; e SpringerLink: 7).

Apêndice G

Concepção de Questões

Neste apêndice é apresentado o conjunto de orientações teóricas e práticas para concepção de questões que estimulem competências do PC.

G.1 Definição do Conteúdo da Matemática

- O que é? Conteúdo da Matemática que será colocado em prática no problema em conjunto com as competências do PC.
- Como pode ser feito? Consultando os Parâmetros Curriculares Nacionais da Matemática e seus mais variados conteúdos definidos para serem aplicados na educação básica.
- Qual a importância? Adequar o problema ao contexto da disciplina com base no conteúdo trabalhado.

G.2 Coleta de Dados

- O que é? Competência do Pensamento Computacional que envolve a coleta de informações (dados) relevantes para conduzir a resolução de problemas.
- Como pode ser feito? Ao possibilitar que, para resolver o problema, os envolvidos colem informações relacionadas a um determinado fenômeno. Este processo pode ser realizado observando e extraindo informações a partir de figuras, tabelas, listas,

gráficos, rolando dados ou a partir situações do cotidiano como: o fluxo de veículos em um determinado período do dia, os gastos mensais familiares e quanto tempo se leva para chegar à escola.

- Qual a importância? Possibilitar que os envolvidos desenvolvam a capacidade de reunir informações que não estão explicitamente visíveis e estimulando-os a buscar dados sobre um determinado fenômeno.

As orientações podem ser observadas a partir da Figura G.1 que ilustra uma questão exemplo com a prática da competência Coleta de Dados.

Fonte: Compilado pelo autor de repositórios *online*, 2019.

Questão 5

Um dado foi lançado 25 vezes. A tabela a seguir mostra os seis resultados possíveis e suas respectivas frequências de ocorrência.

Resultado	1	2	3	4	5	6
Frequência	4	7	3	5	3	3

Qual foi a frequência do aparecimento de um número ímpar? Qual a média, moda e mediana?

Figura G.1: Exemplo de questão com a competência Coleta de Dados.

Como é possível observar, os dados para consulta são apresentados no formato de tabela. No entanto, esses dados, no formato em que são apresentados, não são a solução para questão. Como o enunciado destaca, é necessário consultar as informações apresentadas e coletar dados complementares para responder a indagação apresentada. As informações que devem ser coletadas, a partir do conjunto de dados, dizem respeito aos números ímpares, média, moda e mediana. Por outro lado, a Figura G.2 apresenta um exemplo de questão elaborada sem a prática da competência Coleta de Dados.

Fonte: Compilado pelo autor de repositórios *online*, 2019.

5) Racionalize os denominadores:

a) $15/\sqrt{8}$ b) $5/3\sqrt{5}$

Figura G.2: Exemplo de questão sem a competência Coleta de Dados.

Neste exemplo, é perceptível que não é necessário coletar nenhum tipo de informação complementar para responder à questão. É requisitado apenas a realização da operação que envolve a racionalização dos denominadores.

G.3 Representação de Dados

- O que é? Competência do Pensamento Computacional que envolve a representação de informações (dados) relevantes para conduzir a resolução de problemas.
- Como pode ser feito? Ao possibilitar que, para resolver o problema, os envolvidos representem informações relacionadas a um determinado fenômeno. Este processo pode ser realizado esboçando gráficos (pizza, barras, linhas, redes, áreas, entre outros), conjuntos numéricos, intervalos numéricos, representando a frequência de custos de compras de alimentos, esboçando a tábua de marés ou a quantidade de pessoas nas cidades de sua região por meio de um mapa.
- Qual a importância? Possibilitar que os envolvidos desenvolvam a capacidade de representar visualmente informações coletadas, estimulando-os a melhorar a maneira de entender e perceber as informações que caracterizam um determinado fenômeno.

As orientações podem ser observadas na prática, em uma questão exemplo que trabalha a competência Representação de Dados, na Figura G.3.

Fonte: PISA, 2012.

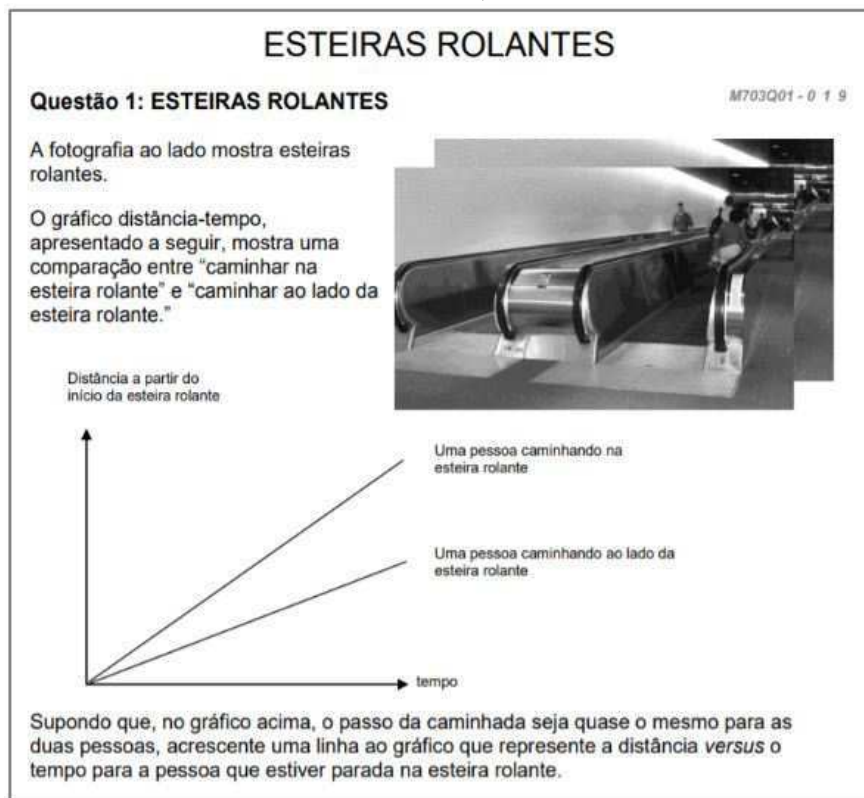


Figura G.3: Exemplo de questão com a competência Representação de Dados.

Na questão ilustrada na Figura G.3, o problema solicita que o aluno acrescente uma nova linha ao gráfico, considerando a distância *versus* o tempo. Sendo assim, o aluno, de posse das informações preliminares, precisará representar o novo comportamento delineado para que seja possível visualizar a relação de distância apresentada no problema. Na Figura G.4, é possível observar um exemplo de questão que não apresenta a prática da competência Representação de Dados, visto que, é necessário apenas contabilizar a quantidade de vogais de acordo com as restrições estabelecidas no problema.

Fonte: OBM, 2012.

I) Quantas vogais têm a resposta correta desse problema? Não conte a letra A ou E das alternativas A e E.

A) Seis B) Cinco C) Quatro D) Três E) Duas

Figura G.4: Exemplo de questão sem a competência Representação de Dados.

G.4 Análise de Dados

- O que é? Competência do Pensamento Computacional que envolve a análise de informações (dados) relevantes para conduzir a resolução de problemas.
- Como pode ser feito? Ao possibilitar que, para resolver o problema, os envolvidos analisem as informações relacionadas a um determinado fenômeno. Este processo pode ser realizado proporcionando que os envolvidos possam tirar conclusões sobre um determinado comportamento. Por exemplo, identificando quais produtos são mais comprados no mês, que horário do dia o fluxo de veículos aumenta e diminui, quantas vezes a maré fará cheia ou quais os períodos mais chuvosos do ano.
- Qual a importância? Possibilitar que os envolvidos desenvolvam a capacidade de analisar e tirar conclusões sobre informações, estimulando-os a melhorar a maneira como explicam, criticam, avaliam e definem o quão representativos são os dados sobre um determinado fenômeno.

As orientações podem ser observadas, na prática, em uma questão exemplo que aborda a competência Análise de Dados na Figura G.5. Nesta questão, é necessário que o aluno analise as possibilidades de troco, a partir de regras definidas no enunciado, para chegar à conclusão do problema.

Fonte: OBM, 2017.

Luca comprou um gibi por R\$4,63 e pagou com uma nota de R\$5,00. De quantas maneiras ele pode receber seu troco de 37 centavos, com moedas de 1, 5, 10 e 25 centavos? Suponha que há muitas moedas de cada tipo.

(a) 10
(b) 12
(c) 15
(d) 24
(e) 25

Figura G.5: Exemplo de questão com a competência Análise de Dados.

Diferente da questão apresentada anteriormente, a Figura G.6 ilustra um exemplo de questão elaborada sem a prática da competência Análise de Dados. Neste caso, é solicitado

ao aluno que seja realizada a contabilização das vogais e das consoantes, respondendo ao problema calculando o produto das informações geradas.

Fonte: OBM, 2017,

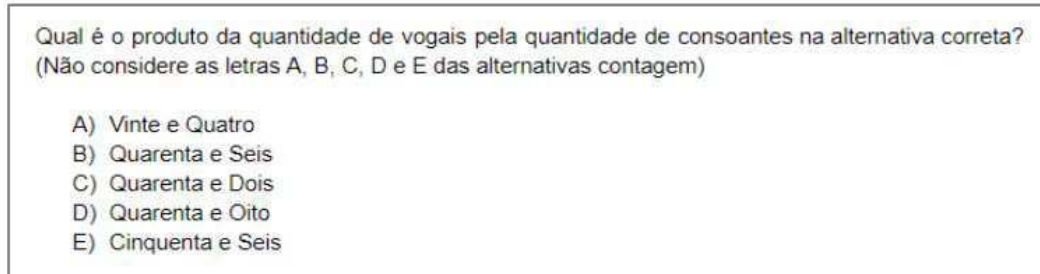


Figura G.6: Exemplo de questão sem a competência Análise de Dados.

G.5 Decomposição de Problemas

- O que é? Competência do Pensamento Computacional que envolve a divisão de problemas, como um todo, em partes relevantes menores solucionáveis.
- Como pode ser feito? Ao possibilitar que, para resolver o problema, os envolvidos dividam o problema em partes solucionáveis menores e que essas partes possam ser resolvidas de forma independente (sem uma ordem de resolução) ou dependente (obedecendo a uma ordem de resolução). Ao final da resolução das partes solucionáveis menores, é necessário que todas elas contribuam para a resolução do problema como um todo. Este processo pode ser realizado solicitando de forma isolada o que precisa ser feito para resolver o problema, além disso, também é possível solicitar que sejam solucionadas expressões algébricas que precisam obedecer a ordens de precedência.
- Qual a importância? Possibilitar que os envolvidos desenvolvam a capacidade de decompor um problema (dividir) e, solucionando as pequenas tarefas que foram identificadas, cheguem à solução do problema como um todo (conquistar).

Na Figura G.7, é apresentado um exemplo de questão que coloca em prática a competência Decomposição de Problemas, visto que, não é possível calcular os dados

referentes ao ano de 2016 sem antes saber qual o aumento percentual de 2015. Pois, estes valores são considerados para o cálculo das médias anuais.

Fonte: Costa et al., 2017.

O sentimento de nervosismo nos meses que antecedem a prova do ENEM, cresce bastante nos estudantes que irão realizar a prova. Em um estudo realizado levando em consideração os dados dos últimos anos da aplicação da prova, mostrou a quantidade de faltantes eliminados antes da divulgação dos resultados.

Levando em consideração que 50,000,00 estudantes faltaram a uma das duas provas no ano passado, em média. Um estatístico afirmou que esse percentual aumentaria em 15% no ano de 2015 e que o aumento em 2016 seria de $\frac{2}{3}$ da quantidade média de faltantes do último ano.

Qual será a média de faltantes para o 2015 e 2016, respectivamente. Esboce essas informações de forma clara com um gráfico.

É possível afirmar que a porcentagem de faltantes em 2015 é maior que em 2016? Baseado em quais resultados?

Figura G.7: Exemplo de questão com a competência Decomposição de Problemas.

A Figura G.8 apresenta um exemplo de questão elaborada sem a prática da competência Decomposição de Problemas. Ao observar a questão, é possível perceber que é necessário apenas subtrair o maior pelo menor número para chegar até a resposta correta.

Fonte: Compilado pelo autor de repositórios *online*, 2019.

1) Considere os números 5, 8, 12, 2

Qual a diferença entre o maior e o menor deles?

Figura G.8: Exemplo de questão sem a competência Decomposição de Problemas.

G.6 Algoritmos e Procedimentos

- O que é? Competência do Pensamento Computacional que envolve a construção de sequências de passos, logicamente interligados, para resolução de problemas.
- Como pode ser feito? Ao solicitar que todo processo de resolução que foi desenvolvido seja organizado em forma de algoritmo (sequência de passos). Este procedimento pode

ser conduzido por indicações no enunciado do problema solicitando, explicitamente, que o processo seja registrado de maneira lógica ou de maneira implícita, a partir das partes solucionadas do problema, permitindo que naturalmente o processo de resolução seja realizado de maneira logicamente interligada.

- Qual a importância? Possibilitar que os envolvidos desenvolvam a capacidade de organização e pensamento lógico por meio da construção de algoritmos. Além disso, entendam que a organização possibilita que sejam identificados pontos falhos nas partes solucionadas do problema com maior facilidade.

As orientações podem ser observadas em uma questão exemplo que coloca em prática a competência Algoritmos e Procedimentos na Figura G.9. Como pode ser visto, o próprio enunciado da questão solicita que o aluno organize sua resposta em partes logicamente organizadas, tendo em vista cada uma das partes solucionáveis do problema. Por outro lado, a Figura G.10 apresenta um exemplo de questão sem a prática da competência Algoritmos e Procedimentos.

Fonte: Do autor, 2019.

Em uma madeireira, os clientes podem comprar madeira de Lei de altíssima qualidade por R\$40,00 o metro. No entanto, em uma semana promocional, a cada metro comprado o cliente terá um desconto de R\$2,00 reais em cada metro. A tabela abaixo indica quanto o cliente irá receber de desconto para cada 10 metros de madeira de Lei compradas.

Metros	Desconto	Total à pagar
10	R\$ 20	R\$ 400 - R\$ 20 = R\$ 380
20	R\$ 40	R\$ 800 - R\$ 40 = R\$ 760
30	R\$ 60	R\$ 1200 - R\$ 60 = R\$ 1140

Suponhamos que você precise construir um telhado que irá usar 100 metros de madeira e em conversa com o dono da madeireira ele concordou te ceder um desconto de R\$ 5,00 reais em cada metro. Quanto será o desconto total na compra de 100 metros de madeira com desconto de R\$ 5,00 em cada metro?

Após sua compra o dono da madeireira decidiu ceder o mesmo desconto para outros clientes e elaborou um panfleto no mesmo modelo da tabela que foi mostrada anteriormente. Como ficaria a tabela de preços no novo panfleto obedecendo os novos descontos?

Obs. Caso você ache necessário, poderá utilizar a calculadora para realizar os cálculos que precisar. Além disso, organize sua resposta de forma lógica, pode-se usar um passo a passo para indicar cada parte das resoluções.

Figura G.9: Exemplo de questão com a competência Algoritmos e Procedimentos.

Fonte: Compilado pelo autor de repositórios *online*, 2019.

Uma urna contém 3 bolas numeradas de 1 a 4 e outra urna com 5 bolas numeradas de 1 a 5. Ao retirar-se aleatoriamente uma bola de cada urna, qual a probabilidade da soma dos pontos ser maior do que 6 ?

Figura G.10: Exemplo de questão sem a competência Algoritmos e Procedimentos.

G.7 Abstração de Informações

- O que é? Competência do Pensamento Computacional que envolve o entendimento de diferentes contextos para identificar fatos essenciais para resolução do problema.
- Como pode ser feito? Ao apresentar situações do cotidiano que remetem a problemas reais. Este procedimento pode ser conduzido indicando a falta de água em algumas

localidades e a importância de realizar raciocínio, seguido de um problema que solicite os períodos mais chuvosos e trace estratégias de economia; ou apresentando explicações que destaquem a velocidade em que um veículo consome menos combustível, seguido de um problema que solicite a identificação, em um determinado percurso, onde o veículo foi mais econômico; além de outras situações.

- Qual a importância? Possibilitar que os envolvidos desenvolvam a capacidade de abstrair informações essenciais sobre um determinado contexto-problema real, e realize assimilações do que está sendo ministrado com situações do cotidiano.

As orientações podem ser observadas em uma questão exemplo que estimula a competência Abstração de Informações na Figura G.11. Visto que, a questão traça um paralelo entre um contexto real, que é a altura média dos alunos, antes de apresentar os dados e a situação problema que deve ser resolvida.

Fonte: PISA, 2012.

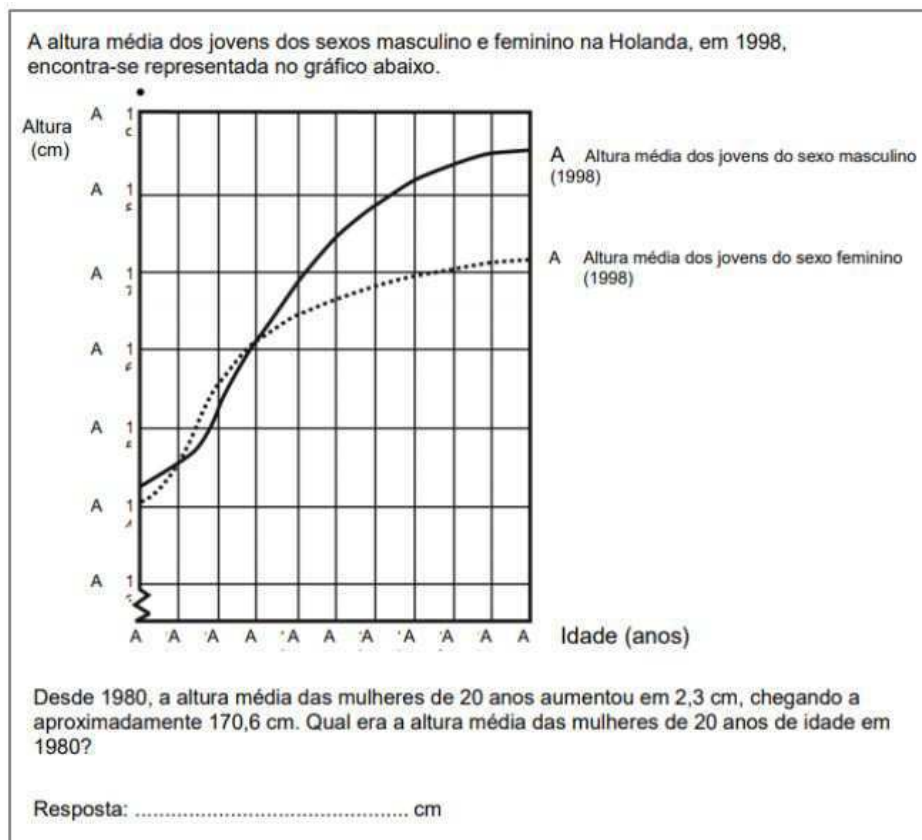


Figura G.11: Exemplo de questão com a competência Abstração de Informações.

Diferentemente do exemplo de questão citado anteriormente, a Figura G.12 apresenta uma questão que não necessita realizar abstrações - apenas calcular a expressão com os números informados.

Fonte: Compilado pelo autor de repositórios *online*, 2019.

Qual é o número cuja metade menos 7 é igual a 33

Figura G.12: Exemplo de questão sem a competência Abstração de Informações.

G.8 Automação

- O que é? Competência do Pensamento Computacional que envolve a automação de atividades realizadas na resolução de problemas.
- Como pode ser feito? Ao possibilitar que partes do problema sejam automatizadas. Este procedimento pode ser conduzido capacitando o indivíduo quanto ao uso de ferramentas de automação e permitindo sua utilização no processo de resolução de problemas. As ferramentas que podem ser utilizadas incluem: calculadora, planilhas *online*, contador de palavras, *planners*, geradores de gráficos, entre outras.
- Qual a importância? Possibilitar que os envolvidos desenvolvam a capacidade de utilizar ferramentas de automação para realização de atividades, saibam escolher as melhores ferramentas para resolver partes diferentes do problema e sejam eficientes.

As orientações podem ser observadas na prática em uma questão exemplo para a competência Automação na Figura G.13. Essa questão estimula a competência citada por meio do uso de uma calculadora para apoiar o processo de resolução.

Fonte: Compilado pelo autor de repositórios *online*, 2019.

Utilizando como auxílio para realização dos cálculos uma calculadora, resolva as equações:

- a) $X + 2 = 10$
- b) $X - 6 = 8$
- c) $3x - 21 = 0$
- d) $6 + X = 6,4$
- e) $0,5x - 9 = 1,5$
- f) $4x + 3 = 19$
- g) $5x + 2 = 2x - 2$
- h) $6 - 3x = -10 - 4x$
- i) $2(3x - 5) = 14$
- j) $2x - 1 = 3$

Figura G.13: Exemplo de questão com a competência Automação.

Já a Figura G.14 apresenta um exemplo de questão elaborada sem a prática da competência Automação. Nesse exemplo de questão, é válido ressaltar que outras competências podem ser observadas, mas não faz uso de ferramentas que apoiem de forma automatizada a resolução do problema.

Fonte: ENEM, 2012.

A figura apresenta dois mapas, em que o estado do Rio de Janeiro é visto em diferentes escalas.



Há interesse em estimar o número de vezes que foi ampliada a área correspondente a esse estado no mapa do Brasil.

Imagem (Foto: Reprodução/Enem)

Esse número é

Figura G.14: Exemplo de questão sem a competência Automação.

G.9 Simulação

- O que é? Competência do Pensamento Computacional que envolve a simulação de atividades e comportamentos em um problema para entender melhor um determinado fenômeno.
- Como pode ser feito? Ao possibilitar a utilização de ferramentas com este objetivo (simulação automatizada) ou solicitando manualmente a modificação de valores de entrada, distintos, para partes diferentes do problema (simulação manual). As simulações podem ser em gráficos, expressões, comportamentos e ações de um determinado processo de resolução.
- Qual a importância? Possibilitar que os envolvidos desenvolvam a capacidade de simular situações distintas e enxergar comportamentos para um fenômeno em estudo sobre diferentes óticas.

As orientações podem ser observadas na Figura G.15 que apresenta um exemplo de questão que coloca em prática a competência Simulação. A competência é colocada em prática a partir do momento em que se é necessário fazer previsões para dados e inferir um determinado comportamento baseado em dados já existentes. No caso desse exemplo, através da simulação dos valores do mês de julho com base na média dos últimos doze meses.

Fonte: Do autor, 2018.

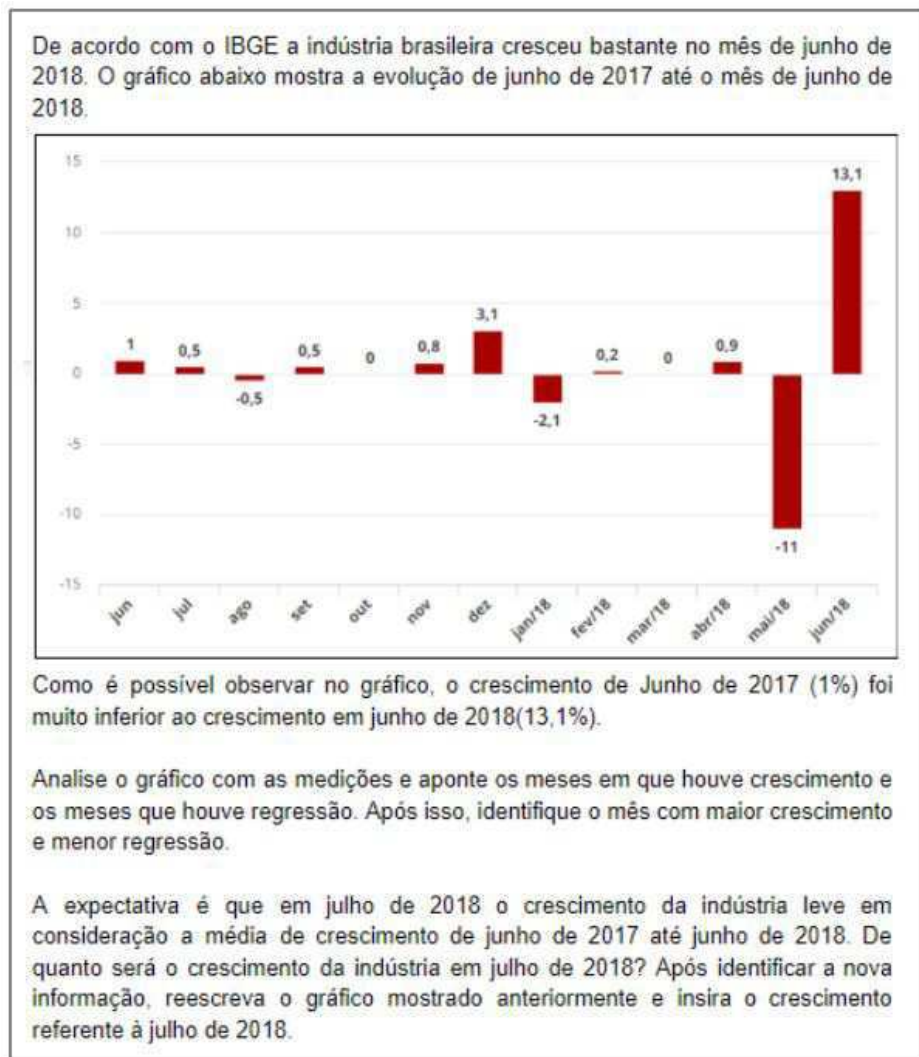


Figura G.15: Exemplo de questão com a competência Simulação.

Por outro lado, a Figura G.16 apresenta um exemplo de questão elaborada sem a prática da competência Simulação. Neste caso, não existe simulação de comportamentos de forma manual ou automatizada, sendo necessário para solucionar a questão apenas seguir os padrões de conversão de medidas para representação dos dados.

Fonte: ENEM, 2011.

Para uma atividade realizada no laboratório de Matemática, um aluno precisa construir uma maquete da quadra de esportes da escola que tem 28 m de comprimento por 12 m de largura. A maquete deverá ser construída na escala de 1 : 250.

Que medidas de comprimento e largura, em cm, o aluno utilizará na construção da maquete?

Figura G.16: Exemplo de questão sem a competência Simulação.

G.10 Paralelização

- O que é? Competência do Pensamento Computacional que envolve a paralelização (resolução em paralelo) de procedimentos.
- Como pode ser feito? Ao possibilitar que o problema seja dividido em partes e que essas partes possam ser resolvidas de forma simultânea (por pessoas, equipes ou ferramentas). A paralelização pode ser realizada por um período determinado no enunciado, aplicando os processos de resolução em partes, por resolvidores distintos, para depois serem unificados e satisfazerem o problema como um todo.
- Qual a importância? Possibilitar que os envolvidos desenvolvam a capacidade de paralelizar atividades (cooperar), para que a quantidade de tarefas a serem realizadas não contribua de forma negativa no processo de resolução - sobrecarregando determinados resolvidores. Isso implica em uma melhora no processo organizacional de cada um, proporcionando um melhor aproveitamento do tempo disponível e agilizando a resolução do problema como um todo.

Na Figura G.17, é possível observar a competência Paralelização, visto que, o próprio enunciado solicita a prática formando grupos em que cada integrante seja responsável por solucionar uma parte do problema. A Figura G.18 apresenta um exemplo de questão elaborada sem a prática da competência Paralelização.

Fonte: Compilado pelo autor de repositórios *online*, 2019.

Em grupos de três, onde cada um será responsável por um quesito, resolvam e discutam as soluções para as expressões abaixo:

- a) $10 - [-2 + (-9 + 3) - 1]$
- b) $21 - [+5 - (2 - 3)]$
- c) $-12 + \{27 + [3 - (-2) \cdot (-6)]\}$

Figura G.17: Exemplo de questão com a competência Paralelização.

Fonte: UFF, 2015.

Dois triângulos equiláteros de perímetro 36 cm cada são sobrepostos de modo que a região comum dos triângulos seja um hexágono com pares de lados paralelos, conforme a figura ao lado. Qual é o perímetro desse hexágono?

- (a) 12cm
- (b) 16cm
- (c) 18cm
- (d) 24cm
- (e) 36 cm

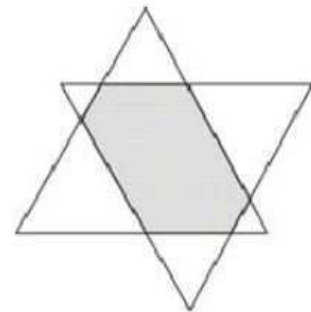


Figura G.18: Exemplo de questão sem a competência Paralelização.

Apêndice H

Catálogo de Questões

Neste apêndice é apresentado o conjunto de orientações teóricas e práticas para catalogação de questões e identificação das competências do PC estimuladas por elas.

H.1 Coleta de Dados

- Definição complementar: Recolhimento; qualquer ação relacionada com o ato de coletar, de recolher, de arrecadar; coleta de dados; coleta de provas.
- Definição literária: Obter ou gerar dados através de observações empíricas a partir de figuras, tabelas, listas, gráficos, entre outros. Os dados obtidos devem ser usados para auxiliar na resolução do problema proposto.
- Avaliação do exemplo apresentado na Figura H.1: É necessário obter ou gerar dados através de observações de informações para auxiliar a resolução do problema? Sim. Como é possível observar, os dados são obtidos ou gerados ao perceber os padrões indicados nas figuras que representam as macieiras e coníferas. Além disso, o número de coníferas por macieira é usado para preencher a tabela resposta.

Fonte: PISA, 2012.

Um fazendeiro planta macieiras em uma área quadrada. Para protegê-las contra o vento, ele planta coníferas ao redor do pomar.

O diagrama abaixo mostra essa situação, na qual se pode ver as macieiras e as coníferas, para um número (n) de filas de macieiras.

$n = 1$

```
X X X
X ● X
X X X
```

$n = 2$

```
X X X X X
X ● ● X
X     X
X ● ● X
X X X X X
```

$n = 3$

```
X X X X X X X
X ● ● ● X
X     X
X ● ● ● X
X     X
X ● ● ● X
X X X X X X X
```

$n = 4$

```
X X X X X X X X X
X ● ● ● ● X
X     X
X ● ● ● ● X
X     X
X ● ● ● ● X
X     X
X ● ● ● ● X
X X X X X X X X X
```

X = coníferas
● = macieiras

MAÇÃS - QUESTÃO 1

Complete a tabela abaixo:

$n =$	Número de macieiras	Número de coníferas
1	1	8
2	4	
3		
4		
5		

Figura H.1: Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Coleta de Dados.

H.2 Representação de Dados


- Definição complementar: Mostrar claramente, representar uma ideia, um conceito, reproduzir a imagem de algo, retratar.
- Definição literária: Representar informações por meio de gráficos, tabelas, conjuntos, matrizes, diagramas, entre outras formas de visualizar informações, conceitos ou ideias. Essas representações devem ser usadas para ilustrar os dados e posteriormente suportar a resolução do problema proposto.
- Avaliação do exemplo apresentado na Figura H.2: É necessário representar informações por meio de gráficos, tabelas, conjuntos, matrizes, diagramas, entre outras formas de visualizar informações, conceitos ou ideias, e essas representações dão suporte a resolução do problema? Sim. Como é possível perceber, é necessário

representar um novo conjunto de moedas de acordo com as especificações descritas. Além disso, a nova representação serve de apoio para avaliar se as especificações foram seguidas de acordo com o que foi descrito.

Fonte: PISA, 2012.

MOEDAS

Você deve desenhar uma nova coleção de moedas. Todas as moedas devem ser redondas e prateadas, mas de diferentes diâmetros.



Pesquisadores descobriram que um sistema ideal de moedas deve atender aos seguintes requisitos:

- Os diâmetros das moedas não devem ser menores que 15 mm e nem maiores que 45 mm.
- Dada uma moeda, o diâmetro da próxima moeda deve ser pelos menos 30% maior.
- A máquina de cunhagem pode produzir apenas moedas com diâmetros que meçam um número inteiro, em milímetros (por exemplo, 17 mm é permitido, 17,3 mm não é).

Figura H.2: Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Representação de Dados.

H.3 Análise de Dados

- Definição complementar: Exame detalhado de cada seção que compõe um todo, buscando compreender tudo aquilo que o caracteriza.
- Definição literária: Interpretar informações a partir de dados fornecidos ou identificados. Essas informações devem ser usadas para dar sentido aos dados coletados e posteriormente suportar a resolução do problema proposto.
- Avaliação do exemplo apresentado na Figura H.3: É necessário interpretar informações a partir de dados fornecidos ou identificados, e essas informações estão sendo usadas para dar sentido aos dados e auxiliar a resolução do problema? Sim. Como é possível observar, é necessário analisar todos os possíveis caminhos para sair

do ponto A até o ponto B. Além disso, dentre os caminhos analisados, apenas um deverá ser escolhido como resposta - o mais barato.

Fonte: OBM, 2017.

A figura ao lado representa um mapa de estradas. Os números escritos nas setas indicam quanto de pedágio um viajante deve pagar ao passar pela estrada. Todas as estradas são de mão única, como indicam as setas. Qual o valor mínimo de pedágio pago por um viajante que sai da cidade A e chega na cidade B?

(a) 11
(b) 14
(c) 12
(d) 10
(e) 15

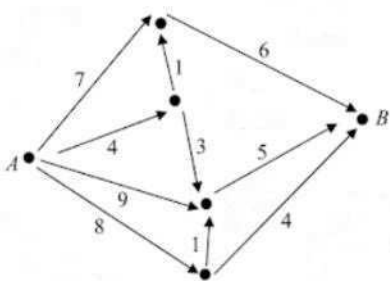


Figura H.3: Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Análise de Dados.

H.4 Decomposição de Problemas

- Definição complementar: Separação dos elementos constitutivos de um corpo, separar os elementos ou partes constitutivas.
- Definição literária: Identificar partes do problema e resolvê-las de acordo com a importância ou precedência. Essas partes devem ser resolvidas para que seja possível entender o que deve ser realizado primeiro e, por fim, chegar a uma solução para o problema resolvendo todas as partes identificadas.
- Avaliação do exemplo apresentado na Figura H.4: É necessário identificar partes do problema e resolvê-las de acordo com algum critério de importância ou precedência, e as partes estão sendo resolvidas para alcançar a resolução do problema como um todo? Sim. O problema é apresentado em partes que precisam ser resolvidas. As partes envolvem procedimentos algébricos que, em sua essência, necessitam que a resolução considere os critérios de precedência. Além disso, para identificar as informações referentes a quantidade de pneus defeituosos, é necessário calcular a nova quantidade de produção de acordo com as porcentagens de crescimento. Por fim, essas partes, quando resolvidas, irão compor a resposta final para a problemática exposta.

Fonte: Costa et al., 2017.

Pneus problemáticos

OBS. Leia atentamente toda a questão antes de começar a responder. O uso da calculadora é permitido, no entanto, todo o processo deve ser registrado e organizado de forma lógica.

A empresa Pneumania fabrica dois tipos de pneus por dia: Pneu Classe A e Pneu Classe B. Ao final os pneus são testados e os que apresentam defeitos são descartados. O quadro abaixo indica a quantidade de pneus de cada tipo produzido diariamente, assim como a porcentagem média de pneus defeituosos.

Tipo de Pneu	Produção diária	Porcentagem defeituosa
Pneu Classe A	2000	5%
Pneu Classe B	6000	3%

Qual seria a produção diária do "Pneu Classe A" caso a porcentagem de produção aumentasse em 15%? E a produção diária do "Pneu Classe B" se a porcentagem de produção fosse a metade desse valor? Quantos pneus defeituosos cada tipo de pneu teria com o aumento na produção?

Para melhor representar as mudanças na produção, use um gráfico de barras para representar as porcentagens correspondentes a cada tipo de pneu.

Figura H.4: Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Decomposição de Problemas.

H.5 Algoritmos e Procedimentos

- Definição complementar: Sequência de raciocínios ou operações que complementam a solução de problemas, maneira através da qual alguma coisa é feita.
- Definição literária: Conceber uma sequência de passos interligados, de maneira lógica, para auxiliar a organização das partes solucionadas do problema.
- Avaliação do exemplo apresentado na Figura H.5: É necessário conceber um passo a passo interligado, de forma lógica, para organizar as partes solucionadas do problema? Sim. Ao mesmo tempo que o enunciado do problema solicita que a resolução seja organizada em partes interligadas de forma lógica, o desenrolar da questão é apresentado em partes decompostas para que a resolução siga um caminho logicamente

interligado.

Fonte: Costa et al., 2017.

OBS. Leia atentamente toda a questão antes de começar a responder. O uso da calculadora é permitido, no entanto, todo o processo deve ser registrado e organizado de forma lógica.

Jurandir trabalha em uma empresa de vendas de calçados. Todo final do mês no dia do pagamento aos funcionários, o gerente sorteia um vale presente para o funcionário do mês.

Jurandir foi escolhido o funcionário do mês por conseguir bater a meta de vendas. Na sacola, os vales presentes estão distribuídos de acordo com as informações a seguir:

Vale presente	Quantidade de vales
50 reais	5
100 reais	3
150 reais	2

Primeiramente, comece representando essas informações em um gráfico de barras. **Após** essa representação, calcule a probabilidade que Jurandir terá de ganhar 150 reais.

Se o gerente decidisse inserir mais um vale presente de 150 reais, a probabilidade de Jurandir ganhar 150 reais aumentaria? **Mostre seus resultados.**

Figura H.5: Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Algoritmos e Procedimentos.

H.6 Abstração de Informações

- Definição complementar: Analisar de modo observativo um ou muitos aspectos que estão contidos num todo; estudar separadamente suas particularidades ou características.
- Definição literária: Analisar um contexto (real ou não) visando obter fatos relevantes/essenciais que irão auxiliar no entendimento e resolução do problema. Este procedimento é necessário para que seja possível realizar assimilações do que foi aprendido ao contexto que se esteja inserido.
- Avaliação do exemplo apresentado na Figura H.6: É necessário analisar um contexto

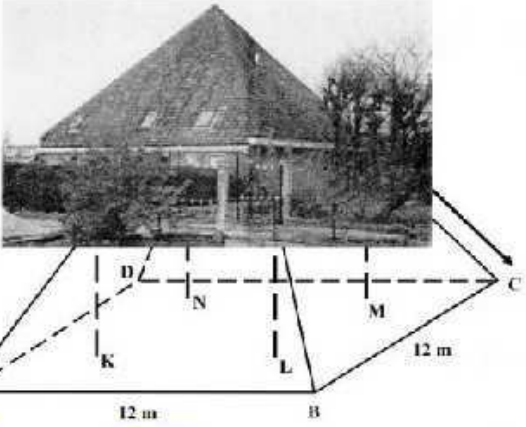
real ou não real, visando obter fatos relevantes para auxiliar a resolução do problema e realizar assimilações do conteúdo abordado com o contexto? Sim. Ao mesmo tempo em que se coloca em prática o conteúdo, é colocado em paralelo ao enunciado da questão um contexto real de aplicação desse conteúdo - possibilitando a realização de assimilações práticas da aplicação do conteúdo abordado com a vida real.

Fonte: PISA, 2012.

FAZENDAS

Você pode ver aqui a fotografia de uma casa de fazenda com o telhado em forma de pirâmide.

Abaixo está o modelo matemático do telhado da casa preparado por um estudante e ao qual foram acrescentadas as medidas.



O chão do sótão, denominado ABCD no modelo, é um quadrado. As vigas que suportam o teto são as laterais do bloco (prisma retangular) EFGHKL. E está no meio de \overline{AD} , F está no meio de \overline{BC} , G está no meio de \overline{CD} e H está no meio de \overline{AB} . Todas as laterais da pirâmide, no modelo, têm o comprimento de 12 m.

Figura H.6: Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Abstração de Informações.

H.7 Automação

- Definição complementar: Funcionamento de uma máquina ou grupo de máquinas que, sob o controle de um programa único, permite efetuar, sem intervenção humana, uma série de operações contábeis, estatísticas ou industriais.
- Definição literária: Viabilizar que procedimentos aplicados às soluções de problemas sejam realizados de maneira automática.

- Avaliação do exemplo apresentado na Figura H.7: É necessário realizar procedimentos usados para resolução do problema de forma automática? Sim. Como é possível observar, é permitido automatizar os procedimentos de resolução de questões com a utilização de uma ferramenta que auxilia nos cálculos numéricos, a calculadora - como destaca o enunciado.

Fonte: Do autor, 2018.

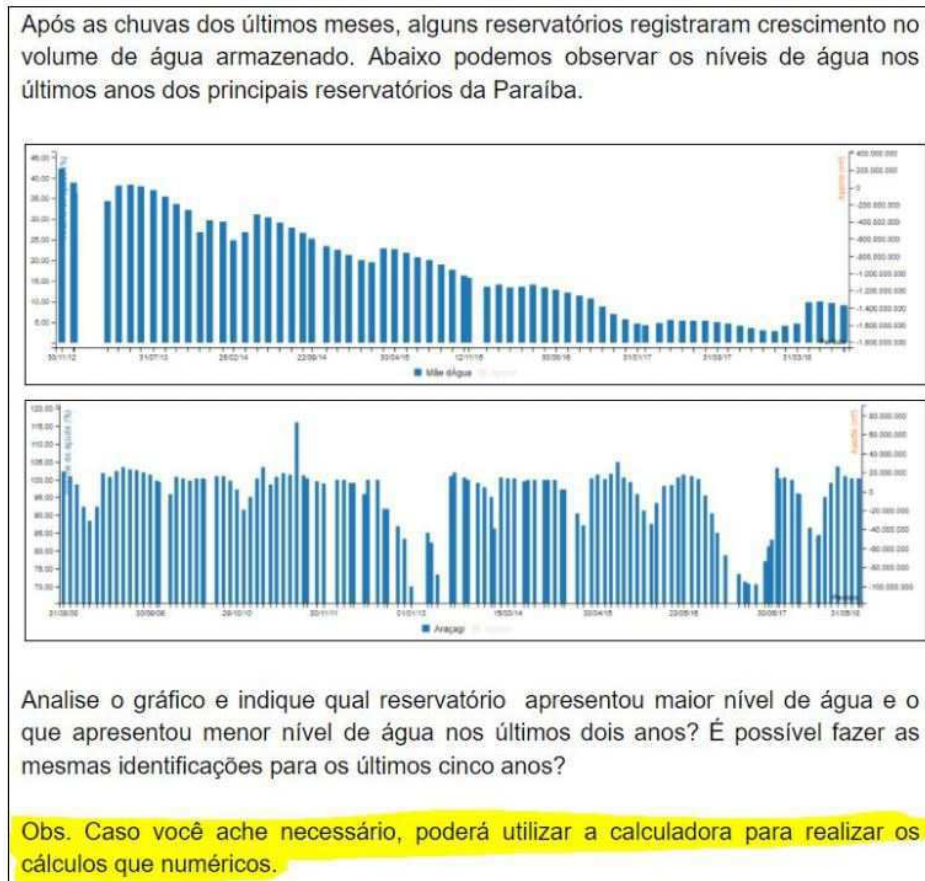


Figura H.7: Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Automação.

H.8 Simulação

- Definição complementar: Ação ou efeito de simular, fingimento, disfarce, simular uma doença.
- Definição literária: Realizar modificações de valores de variáveis em procedimentos com o objetivo de identificar e entender comportamentos distintos para a solução

proposta.

- Avaliação do exemplo apresentado na Figura H.8: É necessário realizar modificações de valores de variáveis, em procedimentos, com o objetivo de identificar e entender comportamentos distintos para a solução proposta? Sim. A questão possibilita que seja realizado um novo teste para resolução da questão com valores de entrada diferentes para os procedimentos adotados. Como pode ser observado no exemplo, é apresentada uma nova marca de tinta - sendo necessário reavaliar as opções de compra a partir das novas informações fornecidas.

Fonte: Do autor, 2018.

Maria está pensando em pintar seu apartamento e realizou uma pesquisa de mercado para saber em que tinta ela pode economizar mais na pintura. Os dados da pesquisa podem ser observados na tabela abaixo.

Tinta	Preço/Galão	Pintura/Metros
Tipo A	R\$25,00	10 metros
Tipo B	R\$20,00	13 metros
Tipo C	R\$30,00	15 metros

O apartamento de Maria tem 100 metros de paredes para serem pintadas, qual a tinta que irá possibilitar que ela pinta todas as paredes e economize mais dinheiro?

Apresenta um gráfico de barras com os valores gastos por Maria para cada tipo de tinta utilizada para auxiliar em sua escolha.

Lançaram no mercado um nova tinta (Tipo D) que custa R\$28,00 e cada galão pode pintar 14 metros de paredes. Maria pode optar por essa nova tinta para economizar mais?

Figura H.8: Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Simulação.

H.9 Paralelização

- Definição complementar: Andar, correr paralelamente, conjugar-se no esforço comum.
- Definição literária: Possibilitar que alguns procedimentos da resolução do problema possam ser realizados simultaneamente ou em cooperação.

- Avaliação do exemplo apresentado na Figura H.9: É necessário realizar procedimentos em paralelo ou de forma simultânea? Sim. Como é possível observar, é necessário paralelizar as partes do problema, atribuindo a responsabilidade por cada uma dessas partes menores a uma pessoa distinta.

Fonte: Do autor, 2018.



Figura H.9: Exemplo de questão com a aplicação das orientações para avaliação da competência Paralelização.

Apêndice I

Questões pré-rotuladas usadas para medir a concordância dos participantes quanto a capacidade deles em identificar competências do PC em questões de matemática.

Questão 1 (Só Matemática (Adaptada)): (algoritmo, abstração, análise, paralelização)

Em uma pesquisa realizada em uma escola, identificou-se os seguintes indicadores:

- (1) idade
- (2) anos de estudo
- (3) ano de escolaridade
- (4) renda
- (5) sexo
- (6) local de estudo
- (7) conceito obtido na última prova de biologia

- (8) Quantidade de livros que possui

Siga os passos definidos a partir dos quesitos abaixo para responder à questão:

- 1) Das variáveis acima, quais são as quantitativas e quais são as qualitativas?
- 2) Das variáveis quantitativas, diga quais são discretas?

Forme uma dupla onde cada um dos integrantes será responsável pela resolução de um dos quesitos acima. Ao final, discutam sobre as respostas encontradas e façam as devidas correções, se necessário.

Questão 2 (Brasil Escola): (decomposição, análise, abstração, coleta)

A distribuição de salários de uma empresa é fornecida pela tabela a seguir:

Salários (R\$)	Funcionários
500,00	10
1 000,00	5
1 500,00	6
2 000,00	15
5 000,00	8
10 000,00	2

Calcule a média salarial dessa empresa.

Questão 3 (Brasil Escola (Adaptada)): (algoritmo ,decomposição, representação, análise, abstração, coleta, automação)

Obedecendo à sequência de resolução definida abaixo, responda a cada um dos quesitos indicados:

I) Quais valores são, respectivamente, a moda, média e mediana dos números da lista a seguir ?

Lista = 133, 425, 244, 385, 236, 236, 328, 1000, 299, 325

II) Considerando a inserção dos números 90 e 400. Quais valores são, respectivamente, a moda, média e mediana dos números da nova lista?

III) Considerando os valores ordenados, desenhe um gráfico de barras que caracterize os valores do conjunto.

IV) Considerando, inclusive os novos valores inseridos ao conjunto inicial, que esses valores são referentes a quantidade de chamadas para o suporte de produtos de uma empresa de computadores, qual mês houve mais e menos chamadas realizadas?

O uso de ferramentas de automação para realização dos cálculos e desenho dos gráficos é permitido.

Questão 4 (Brasil Escola): (coleta, simulação, representação, automação, análise, abstração, decomposição)

Obs. É permitido o uso de calculadora e de planilhas eletrônicas.

A tabela a seguir mostra a evolução da receita bruta anual nos três últimos anos de cinco microempresas (ME) que se encontram à venda.

Um investidor deseja comprar duas das empresas listadas na tabela. Para tal, ele calcula a média da receita bruta anual dos últimos três anos (de 2009 até 2011) e escolhe as duas empresas de maior média anual.

I) Todas as empresas tiveram um crescimento de 10% em 2012 considerando a média dos últimos anos. Insira uma nova coluna com os novos valores.

Com base nos dados originais, as empresas que esse investidor decidiu comprar são:

- a) Balas W e Pizzaria Y
- b) Chocolates X e Tecelagem Z.
- c) Pizzaria Y e Alfinetes V.
- d) Pizzaria Y e Chocolates X.
- e) Tecelagem Z e Alfinetes V.

Questão 5 (Moretin e Bussab): (coleta, algoritmos, representação, automação, análise, abstração, decomposição, simulação, paralelização)

OBS. Leia atentamente toda a questão antes de começar a responder. O uso da calculadora é permitido, no entanto, todo o processo deve ser registrado e organizado de forma lógica.

Quer se estudar o número de erros de impressão de um livro. Para isso escolheu-se uma amostra de 50 páginas, encontrando-se o número de erros por página da tabela abaixo.

Erros	Frequência
0	25
1	20
2	3
3	1
4	1

- Qual o número médio de erros por página?
- E o número mediano?
- Qual é o desvio padrão?
- Faça uma representação gráfica para a distribuição.
- Se o livro tem 500 páginas, qual o número total de erros esperado no livro?

Forme um grupo de acordo com a quantidade de quesitos da questão onde cada um dos integrantes será responsável pela resolução de um desses quesitos. Ao final, reúna todas as respostas em uma única folha para posterior correção.

Questão 6: ()

A que teorema matemático pertence a fórmula abaixo:

$$c^2 = b^2 + a^2$$

- a) Pitágoras; b) Bayes; c) Pascal; d) Euclides; e) Nenhuma das opções;

Apêndice J

Afirmativas apresentadas aos participantes para medição das reações.

Afirmativas para o conteúdo relacionado com a avaliação e identificação de competências em questões:

- **Afirmativa 1:** Fiquei satisfeito com o módulo do curso de avaliação de competências do Pensamento Computacional em questões de Matemática no geral.
- **Afirmativa 2:** Este módulo do curso foi relevante para que eu possa avaliar competências do Pensamento Computacional em questões de Matemática.
- **Afirmativa 3:** Este módulo do curso aumentou meu conhecimento sobre avaliação de competências do Pensamento Computacional em questões de Matemática.
- **Afirmativa 4:** Este módulo do curso forneceu conteúdo relevante para que eu possa aplicar a metodologia de avaliação de competências do Pensamento Computacional em questões de Matemática no meu dia a dia escolar.
- **Afirmativa 5:** Eu recomendaria este módulo do curso de avaliação de competências do Pensamento Computacional em questões de Matemática para outros professores.

Afirmativas para o conteúdo relacionado com a concepção de questões e catalogação de competências:

- **Afirmativa 1:** Fiquei satisfeito com o módulo do curso de criação de questões de Matemática que estimulam competências do Pensamento Computacional no geral.
- **Afirmativa 2:** Este módulo do curso foi relevante para que eu possa criar questões de Matemática que estimulam competências do Pensamento Computacional.
- **Afirmativa 3:** Este módulo do curso aumentou meu conhecimento sobre criação de questões de Matemática que estimulam competências do Pensamento Computacional.
- **Afirmativa 4:** Este módulo do curso forneceu conteúdo relevante para que eu possa aplicar a metodologia de criação de questões de Matemática que estimulam competências do Pensamento Computacional no meu dia a dia escolar.
- **Afirmativa 5:** Eu recomendaria este módulo do curso de criação de questões de Matemática que estimulam competências do Pensamento Computacional para outros professores.