

Teste de Pensamento Computacional com Computação Física: Uma Proposta de Instrumento Avaliativo para o Processo de Ensino e Aprendizagem de Acadêmicos de Licenciatura

Title: *Computational Thinking Test with Physical Computing: A Proposed Assessment Tool
for the Teaching and Learning Process of Undergraduate Students*

Título: *Test de Pensamiento Computacional con Computación Física: Una propuesta de
instrumento de evaluación para el proceso de enseñanza y aprendizaje de estudiantes de
licenciatura*

Almir de Oliveira Costa Junior
Universidade do Estado do Amazonas (UEA) /
Programa de Pós-Graduação em Ensino Tecnológico (PPGET/IFAM)
ORCID: 0000-0002-8932-097X
adjunior@uea.edu.br

José Anglada Rivera
Instituto Federal do Amazonas (IFAM/CMC) /
Programa de Pós-Graduação em Ensino Tecnológico (PPGET/IFAM)
ORCID: 0000-0002-6709-6794
jose.anglada@ifam.edu.br

Resumo

Com a efetivação da BNCC Computação e da Política Nacional de Educação Digital (PNED), as habilidades do Pensamento Computacional (PC) passaram a ganhar amplo destaque no sistema educacional brasileiro. De certo modo, essas habilidades já vinham sendo sugeridas como essenciais no processo de aprendizagem dos alunos desde a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), especialmente no contexto da resolução de problemas na área da Matemática e suas Tecnologias, bem como na Computação. Diante disso, para que essas habilidades possam se consolidar em atividades de ensino e aprendizagem na Educação Básica (EB), será necessário ampliar as investigações sobre o desenvolvimento de estratégias educacionais e de recursos didático-tecnológicos focados no PC para o contexto da educação brasileira. Nesse sentido, estudos ainda apontam que será preciso expandir as ações de formação inicial e continuada de professores, além de estabelecer instrumentos avaliativos precisos que ajudem a identificar o desenvolvimento das habilidades do PC nos alunos da EB e nos docentes. Considerando o processo de aprendizagem de acadêmicos de licenciatura, este artigo apresenta os resultados da validação do Teste de Pensamento Computacional com Computação Física (TPC-CF), que tem como objetivo principal auxiliar na identificação de evidências do desenvolvimento das habilidades do PC em acadêmicos de licenciatura, por meio de atividades que envolvem a Computação Física (CF). Os dados encontrados no processo de validação e avaliação apresentam evidências significativas de que a abordagem utilizada no teste pode se constituir como uma alternativa eficaz para mensurar as habilidades do PC.

Palavras-chave: Instrumento de avaliação; Pensamento Computacional; Computação Física; Ensino e Aprendizagem de Acadêmicos de Licenciatura.

Abstract

With the implementation of the BNCC Computing and the National Digital Education Policy (PNED), Computational Thinking (CT) skills have gained significant prominence in the Brazilian educational system. In a way, these skills had already been suggested as essential in the learning process of students since the National Common Core Curriculum (BNCC), especially in the context of problem-solving in the area of Mathematics and its Technologies, as well as in Computing. Given this, in order for these skills to be consolidated in teaching and learning activities in Basic

Cite as: Costa-Junior, A. O. & Anglada-Rivera, J. (2026). Teste de Pensamento Computacional com Computação Física: Uma Proposta de Instrumento Avaliativo para o Processo de Ensino e Aprendizagem de Acadêmicos de Licenciatura. Revista Brasileira de Informática na Educação, vol. 34, pp. 1–37. <https://doi.org/10.5753/rbie.2026.5014>.

Education (BE), it will be necessary to expand research on the development of educational strategies and didactic-technological resources focused on CT for the Brazilian education context. In this sense, studies also indicate that it will be necessary to expand initial and ongoing teacher training efforts, in addition to establishing precise assessment tools that help identify the development of CT skills in BE students and teachers. Considering the learning process of undergraduate students, this article presents the results of the validation of the Computational Thinking with Physical Computing Test (CT-PC Test), which has the primary objective of helping to identify evidence of the development of CT skills in undergraduate students through activities involving Physical Computing (PC). The data found during the validation and evaluation process provide significant evidence that the approach used in the test can serve as an effective alternative for measuring CT skills.

Keywords: Assessment Instrument; Computational Thinking; Physical Computing; Teaching and Learning of Undergraduate Students.

Resumen

Con la implementación de la BNCC Computación y de la Política Nacional de Educación Digital (PNED), las habilidades de Pensamiento Computacional (PC) han ganado un amplio protagonismo en el sistema educativo brasileño. De algún modo, estas habilidades ya se habían sugerido como esenciales en el proceso de aprendizaje de los estudiantes desde la Base Nacional Común Curricular (BNCC), especialmente en el contexto de la resolución de problemas en el área de Matemáticas y sus Tecnologías, así como en Computación. Ante esto, para que estas habilidades puedan consolidarse en actividades de enseñanza y aprendizaje en la Educación Básica (EB), será necesario ampliar las investigaciones sobre el desarrollo de estrategias educativas y de recursos didáctico-tecnológicos enfocados en el PC para el contexto de la educación brasileña. En este sentido, estudios apuntan que será preciso expandir las acciones de formación inicial y continua de profesores, además de establecer instrumentos evaluativos precisos que ayuden a identificar el desarrollo de las habilidades del PC en los estudiantes de la EB y en los docentes. Considerando el proceso de aprendizaje de los estudiantes de licenciatura, este artículo presenta los resultados de la validación del Test de Pensamiento Computacional con Computación Física (TPC-CF), cuyo objetivo principal es ayudar a identificar evidencias del desarrollo de las habilidades del PC en estudiantes de licenciatura, mediante actividades que involucran la Computación Física (CF). Los datos obtenidos en el proceso de validación y evaluación presentan evidencias significativas de que el enfoque utilizado en el test puede constituirse como una alternativa eficaz para medir las habilidades del PC.

Palabras clave: Instrumento de evaluación; Pensamiento Computacional; Computación Física; Enseñanza y Aprendizaje de Académicos de Licenciatura.

1 Introdução

Com a efetivação de legislações específicas sobre o ensino de Computação na Educação Básica (EB), o Brasil também tem endossado a importância de consolidar a Computação como uma ciência básica que deve ser ensinada desde a Educação Infantil até o Ensino Médio. Nesse sentido, observa-se que as Normas sobre Computação na Educação Básica (BNCC Computação) (Brasil, 2022a) e o Parecer CNE/CEB nº 2/2022 (Brasil, 2022b), juntamente com a Política Nacional de Educação Digital (PNED) (Brasil, 2023), reforçam a necessidade de se estimular diversas habilidades computacionais na aprendizagem dos alunos da EB, especialmente aquelas relacionadas ao Pensamento Computacional (PC).

Em se tratando do PC, destaca-se que, desde 2018, ele já vinha sendo evidenciado como uma habilidade essencial no contexto da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018). Costa-Junior e Anglada-Rivera (2024ab) reforçam que, ao longo do documento, o termo “Pensamento Computacional” é citado nove vezes, principalmente em referência ao processo de re-

solução de problemas na área de Matemática e suas Tecnologias, com destaque para a temática álgebra.

Do ponto de vista da BNCC (Brasil, 2018), da BNCC Computação (Brasil, 2022a) e da PNED (Brasil, 2023), o Pensamento Computacional envolveria “*as capacidades de compreender, analisar, definir, modelar, resolver, comparar e automatizar problemas e suas soluções, de forma metódica e sistemática, por meio do desenvolvimento de algoritmos*”. Nesse sentido, Costa Junior e Anglada-Rivera (2024b) observam que essa definição abrange diferentes níveis de desenvolvimento cognitivo, uma vez que são utilizados diversos verbos para designar o que os alunos da EB devem ser capazes de demonstrar ao final de cada ano/série.

Diante disso, é possível verificar que essas diretrizes pressupõem que os professores estejam (ou venham a estar) preparados para aplicar essas habilidades em experiências de ensino e aprendizagem na Educação Básica. De certo modo, tanto do ponto de vista da formação inicial quanto da continuada, isso representa um desafio para a consolidação dessas políticas (Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2022c). No que diz respeito aos acadêmicos de licenciatura, estudos apontam que há poucas evidências de experiências sendo desenvolvidas no processo de aprendizagem sobre o PC com esse público-alvo (Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2022a, 2022b; Dos Santos e Falcão, 2024). Raabe e Cavalcante (2024) afirmam que essa lacuna também é significativa na formação continuada de professores no Brasil.

Sobre este aspecto da formação inicial dos professores, há de se considerar que as legislações brasileiras específicas sobre esse tema não apresentam qualquer esclarecimento sobre como as habilidades do PC devem (ou deveriam) ser estimuladas na aprendizagem dos acadêmicos de licenciatura. Anteriormente, a Resolução Nº 2 do CNE, de 20 de dezembro de 2019, limitava-se a afirmar que os licenciandos de todas as áreas do conhecimento deveriam possuir uma “*compreensão básica dos fenômenos digitais e do Pensamento Computacional, bem como de suas implicações nos processos de ensino e aprendizagem na contemporaneidade*” (Brasil, 2019).

Contudo, um despacho do Ministério da Educação, datado de 23 de maio de 2024 (Brasil, 2024a), revogou a resolução de 2019 (Brasil, 2019) e homologou uma nova resolução (Brasil, 2024b) que trata dos novos requisitos necessários no processo de formação dos acadêmicos de licenciatura (Brasil, 2024c). Nessa nova resolução, observa-se que o termo Pensamento Computacional não aparece como uma das habilidades essenciais na formação dos futuros professores. Ou seja, aquilo que já se apresentava pouco esclarecido sobre o PC na aprendizagem dos acadêmicos de licenciatura, conforme discutido por Costa-Junior e Anglada-Rivera (2022c, 2024a), acabou se acentuando ainda mais com a total omissão dessas habilidades nas novas diretrizes formativas.

Além desses aspectos normativos, é importante considerar que grande parte dos atuais acadêmicos de licenciatura não apresenta evidências significativas de uma compreensão mínima do conceito de Pensamento Computacional. Nesse sentido, Costa-Junior e Anglada-Rivera (2023a) realizaram uma entrevista com 225 acadêmicos de cursos de licenciatura (Biologia, Computação, Geografia, Letras, Pedagogia e Matemática) de uma universidade pública do Amazonas, com o objetivo de identificar o que os atuais acadêmicos de licenciatura sabem sobre o PC. Como principais resultados, observaram que a grande maioria (81,33% dos acadêmicos) não apresentava uma compreensão mínima a respeito do conceito de Pensamento Computacional. Além disso, os autores ponderam que, ao analisar os dados de forma isolada por curso, os acadêmicos de licenciatura

tura em Computação foram aqueles que demonstraram os melhores indícios de uma compreensão conceitual mínima do PC.

Diante desse contexto, estudos têm apontado diversos desafios na consolidação da BNCC Computação na Educação Básica, especialmente no que se refere ao desenvolvimento das habilidades do Pensamento Computacional (Costa-Junior et al., 2024). Entre esses desafios, destaca-se a necessidade de repensar o processo de ensino e aprendizagem dos acadêmicos de licenciatura (Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2022a, 2022b, 2022c, 2023a; Dos Santos e Falcão, 2024), visando à capacitação desses futuros professores para colocarem em prática as habilidades propostas por esses documentos normativos.

Dessa forma, será necessário estabelecer estratégias educacionais, materiais didático - tecnológicos e instrumentos que possam auxiliar na mensuração do desenvolvimento das habilidades do PC entre os acadêmicos de licenciatura (Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2022a, 2022b, 2022c, 2023a). Sobre este último aspecto, alguns estudos ponderam que ainda há pouco conhecimento sobre como medir as habilidades do PC, reforçando a necessidade de se investir no desenvolvimento de instrumentos com essa finalidade (Cutumisu et al., 2019; Román-Gonzalez et al., 2015; Santana et al., 2021; Zhong et al., 2016).

Na perspectiva de contribuir para a superação dos desafios enfrentados no processo de ensino e aprendizagem das habilidades de Pensamento Computacional por acadêmicos de licenciatura, este artigo apresenta uma proposta de instrumento avaliativo (TPC-CF), com o objetivo de auxiliar na identificação de evidências do desenvolvimento dessas habilidades por meio de atividades que envolvem a Computação Física (CF).

Para a apresentação dos resultados, o artigo está organizado da seguinte forma: a fundamentação teórica é apresentada na Seção 2; a proposta do teste é descrita na Seção 3; os resultados da validação são discutidos na Seção 4; por fim, as considerações finais são apresentadas na Seção 5.

2 Fundamentação Teórica

Nesta seção, são apresentadas discussões sobre os principais conceitos abordados neste artigo. Nesse sentido, a Subseção 2.1 apresenta uma visão geral sobre o conceito e as habilidades envolvidas no Pensamento Computacional, e a Subseção 2.2 discute o conceito e os principais fundamentos da Computação Física.

2.1 Sobre o Pensamento Computacional

De maneira geral, um dos primeiros registros do termo Pensamento Computacional (PC) foi identificado na obra de Seymour Papert, “*Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*” (Papert, 1980). Embora ele não tenha definido claramente o conceito, Papert utilizou o termo para reafirmar que os computadores (tecnologias e estratégias) deveriam fazer parte do dia a dia das pessoas, com o propósito de resolver problemas diversos (Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2024a, 2024b). Essas características também já eram evidenciadas por Seymour Papert no artigo “*Twenty Things to Do with a Computer*” (Papert e Solomon, 1971); contudo, ainda não haviam sido descritas com esse termo.

O termo só ganharia notoriedade a partir de 2006, com os primeiros ensaios de Jeannette Wing para conceituá-lo (Wing, 2006). Nesse trabalho, Wing definiu o PC como uma forma de resolver problemas, desenhar sistemas e entender o comportamento humano, baseada nos conceitos fundamentais da Ciência da Computação. Mais tarde, ela reformularia sua definição inicial, descrevendo-o como “*os processos de pensamento envolvidos na formulação de um problema e na expressão de sua(s) solução(ões) de tal forma que um computador — humano ou máquina — possa efetivamente executá-la(s)*” (Wing, 2017). Wing também argumenta que o PC deveria ser compreendido como uma competência universal e necessária para todos, independentemente da área de atuação, pois promove uma forma de pensar que auxilia na estruturação e resolução de problemas complexos de maneira eficiente (Wing, 2017).

Embora possam existir diferentes concepções sobre o que de fato seria o PC e suas habilidades, Grover e Pea (2013) afirmam que os pesquisadores têm chegado a um consenso de que as principais características amplamente aceitas como constituintes do PC envolveriam nove elementos: *Abstrações e generalizações de padrões; Processamento sistemático de informações; Sistemas de símbolos e representações; Noções de controle de fluxo em algoritmos; Decomposição de problemas estruturados; Pensamento iterativo, recursivo e paralelo; Lógica condicional; Eficiência e restrições de desempenho; Depuração e detecção sistemática de erros* (Grover e Pea, 2013).

Para a *International Society for Technology in Education* (ISTE) e a *Computer Science Teachers Association* (CSTA), o PC envolveria a capacidade de resolver problemas por meio de algumas habilidades, tais como: *Coleta de dados; Análise de dados; Representação de dados; Decomposição do problema; Abstração; Algoritmos & Procedimentos; Automação; Simulação e Paralelização* (CSTA-ISTE, 2011).

Observa-se que, na literatura, não é possível encontrar um consenso unificado sobre o conceito operacional do PC, assim como um conjunto único de habilidades (Cutumisu et al., 2019; Gouws et al., 2013; Román-Gonzalez et al., 2015; Santana et al., 2021; Selby e Woollard, 2013). Em contrapartida, pesquisas lideradas por instituições como a Code.org (2016), BBC Learning (2015) e *Computer At School* (2015), bem como as pesquisas de Liukas (2015) e Brackmann (2017), sinalizam que o PC pode ser essencialmente constituído de quatro “pilares”: 1 – abstração, 2 – decomposição, 3 – reconhecimento de padrões e 4 – algoritmos.

Do ponto de vista das legislações educacionais brasileiras, em especial a BNCC Computação (Brasil, 2022a, 2022b), o Pensamento Computacional é definido como o “*conjunto de habilidades necessárias para compreender, analisar, definir, modelar, resolver, comparar e automatizar problemas e soluções de forma metódica e sistemática através do desenvolvimento da capacidade de criar e adaptar algoritmos*”.

Nesse contexto, Costa-Junior e Anglada-Rivera (2024a) analisaram a BNCC Computação e concluíram que ela apresenta cinco grupos principais de objetos de conhecimento relacionados ao PC: G1 – Fundamentos do Pensamento Computacional; G2 – Conceitos Elementares da Lógica Computacional; G3 – Conceitos Elementares da Programação; G4 – Princípios de Estrutura de Dados; e G5 – Fundamentos para Projetos de Computação. Os autores concluem, afirmando que os futuros professores (e os já formados) precisam desenvolver uma compreensão muito mais ampla, indo além de um entendimento superficial sobre o tema, para serem capazes de estimular em seus alunos as habilidades relacionadas ao PC.

Em se tratando especificamente do PC, isso exigirá que inúmeros desafios sejam superados antes que ele possa, de fato, ser incorporado em atividades de ensino e aprendizagem no contexto da Educação Básica brasileira (Costa-Junior et al., 2024; Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2022c, 2023b). Entre esses desafios, destacam-se: a falta de uma ideia clara sobre como inserir o PC nos sistemas educacionais em seus diferentes níveis de ensino (Román-Gonzalez et al., 2015); a necessidade de se propor ações para a formação inicial e continuada de professores (Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2022c, 2023b); o investimento no desenvolvimento de materiais didáticos para o contexto educacional brasileiro (França, 2020; França e Tedesco, 2019; Gorgônio e Vale, 2023; Silva et al., 2021); e a carência de instrumentos que auxiliem na medição das habilidades do PC (Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2024c; Cutumisu et al., 2019; Raabe et al., 2020; Román-Gonzalez et al., 2015; Santana et al., 2021; Zhong et al., 2016). Sobre este último aspecto, alguns estudos consideram que avaliar a aquisição dessas habilidades de forma eficaz é importante para a integração bem-sucedida de currículos e outras iniciativas (Grover et al., 2015; Santana et al., 2021).

2.2 Sobre a Computação Física

Um dos primeiros registros que se tem sobre o termo Computação Física (CF) foi identificado em 2004, na obra “*Physical Computing: Sensing and Controlling the Physical World with Computers*” (O’Sullivan e Igoe, 2004), de O’Sullivan e Igoe (Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2024c; Zanetti et al., 2023). Nela, os autores a definem como sendo o processo de criação de uma “conversa” entre o mundo físico e o mundo virtual do computador. Nesse processo, a transdução, ou seja, a conversão de uma forma de energia em outra, é o que permite estabelecer esse fluxo de comunicação de sinais analógicos e/ou digitais (O’Sullivan e Igoe, 2004).

Culkin e Hagan (2019) afirmam que a CF se refere não apenas à obtenção de informações do mundo ao nosso redor, usando entradas como sensores e chaves, mas também à resposta a essas informações por meio de saídas de algum tipo. Dessa forma, a ARM Education (2024) reitera que ela está estritamente relacionada às tecnologias que fazem uso de sensores para coletar dados (dispositivos de entrada) e controladores ou processadores para responder (processar) de alguma forma aos dados coletados (dispositivos de saída). Em síntese, ela é a combinação de *software* e *hardware* para construir sistemas físicos interativos que detectam e respondem ao mundo real (FieldsOfCS, 2023; Hodges et al., 2020). Em um contexto educacional, a CF é vista como um termo amplo para descrever atividades nas quais os alunos escrevem programas (*software*) para interagir com o mundo real usando *hardware* especializado (Foundation, 2021).

De maneira geral, O’Sullivan e Igoe (2004) caracterizam a Computação Física como um sistema interativo, baseado em *um processo iterativo de ouvir, pensar e falar entre dois ou mais atores*. Para os autores, a maioria dos projetos de CF (e a maioria dos *softwares* de computadores em geral) pode ser dividida nesses mesmos três estágios: ouvir, pensar e falar — ou, em termos computacionais: entrada, processamento e saída.

Essas características da CF apresentam estreita relação com o modelo IPO (*Input-Processing-Output*). Também conhecido como modelo E/S (Entrada-Processamento-Saída), o IPO é um *framework* simples e amplamente utilizado em diversas áreas, especialmente na Ciência da Computação, para descrever o funcionamento de sistemas e processos (Kendall e Kendall, 2019; Sipser, 2012; Tanenbaum, 2016). Além disso, esses princípios também apresentam diversas similaridades

com a ideia do design da máquina de Von Neumann, que é composta de cinco partes básicas: a memória, a unidade lógica aritmética, a unidade de controle e os dispositivos de entrada e saída (Tanenbaum, 2016). A Figura 1 apresenta uma visão geral das partes que compõem um sistema de Computação Física, segundo O’Sullivan e Igoe (2004).

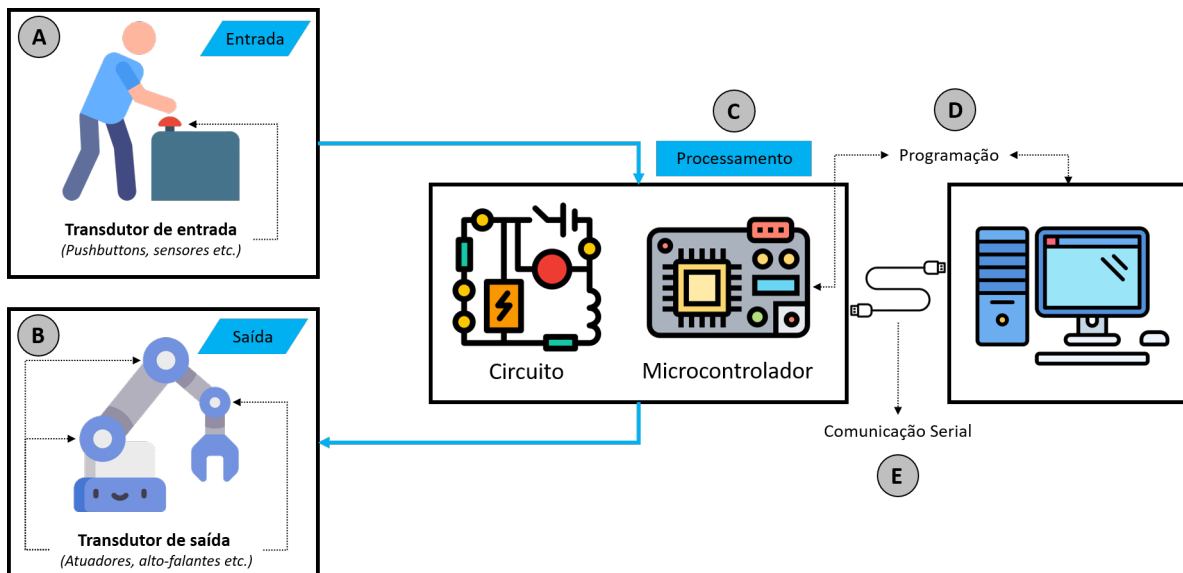


Figura 1: As partes de um sistema de Computação Física. Elaboração de Guedes et al., 2025 com base em O’Sullivan e Igoe, 2004

- **Transdutor de entrada (1A):** é um dispositivo que converte uma forma de energia ou sinal do ambiente externo em um sinal elétrico que pode ser processado por um sistema eletrônico, como um microcontrolador ou computador (Geddes, 2017; O’Sullivan e Igoe, 2004). Esses dispositivos capturam informações do mundo físico e as transformam em dados que podem ser interpretados e utilizados em sistemas de automação, controle ou Computação. Exemplos: *pushbuttons*, sensores de temperatura, sensores de luz (LDR), sensores de movimento (PIR), microfones etc.
- **Transdutor de saída (1B):** é um dispositivo que converte sinais elétricos ((digitais ou analógicos) em uma forma de energia ou ação física no mundo real (Geddes, 2017; O’Sullivan e Igoe, 2004). Essencialmente, ele recebe um sinal elétrico de um sistema eletrônico (como um microcontrolador ou computador) e o transforma em uma ação perceptível, como movimento, som, luz ou calor. Exemplos: atuadores, alto-falantes, LEDs, motores elétricos, válvulas solenóides, displays (LCD, OLED) etc.
- **Processamento (1C):** a entrada e a saída são as partes físicas da Computação Física. A terceira parte, o processamento, requer que um computador/microcontrolador leia a entrada, tome decisões (cálculos lógicos e aritméticos) com base nas mudanças que lê e ative saídas ou envie mensagens para outros computadores (O’Sullivan e Igoe, 2004). É aqui que entra a programação (Figura 1D).
- **Programação (1D):** o objetivo de uma linguagem de programação em um sistema de Computação Física é permitir que o programador controle e interaja com o *hardware* físico

(como sensores, atuadores, motores, LEDs etc.) por meio de instruções lógicas e codificadas. Em outras palavras, a linguagem de programação serve como uma ponte entre o *software* e o *hardware*, permitindo que o *software* tome decisões e execute ações no mundo físico com base nos dados recebidos e processados (Barela, 2018; Kurniawan, 2017; O’Sullivan e Igoe, 2004).

- **Transdução:** para O’Sullivan e Igoe (2004), um dos principais fundamentos por trás da Computação Física é a transdução, ou seja, a conversão de uma forma de energia em outra. Transdutores de entrada (sensores), como interruptores e resistores variáveis, convertem calor, luz, movimento e som em energia elétrica. Transdutores de saída (atuadores), como motores e campainhas, convertem energia elétrica em várias formas de energia que o corpo pode perceber.
- **Analogico e Digital:** um *sinale analógico* é contínuo e pode ter qualquer valor dentro de um intervalo específico. Em sistemas de Computação Física, ele é frequentemente usado para representar variáveis físicas que podem variar suavemente, como temperatura, luz ou som. Esses sinais são tipicamente capturados por sensores analógicos, que transformam uma variável física em uma tensão variável correspondente (Blum, 2019). O’Sullivan e Igoe (2004) explicam que um sinal analógico poderia ser, por exemplo, a saída de um sensor de temperatura que varia continuamente com as mudanças na temperatura ambiente. Por outro lado, um *sinale digital* é discreto e pode ter apenas dois estados, geralmente representados como 0 (baixo) e 1 (alto) (Blum, 2019). Sinais digitais são usados em sistemas digitais e eletrônicos, nos quais as variáveis são representadas por estados binários, como ligado ou desligado, verdadeiro ou falso. O’Sullivan e Igoe (2004) exemplificam com a leitura de um botão, que pode estar em um estado pressionado (1) ou não pressionado (0).
- **Paralelo e Serial (1E):** na *comunicação serial*, os dados são transmitidos um bit por vez, em uma sequência de bits ao longo de um único canal de comunicação. Isso significa que cada bit é enviado em um momento separado, sendo necessário um tempo maior para transmitir todos os bits que compõem uma palavra ou pacote de dados (Margolis et al., 2020; O’Sullivan e Igoe, 2004). Por sua vez, na *comunicação paralela*, os dados são transmitidos simultaneamente por meio de múltiplos canais ou fios. Cada bit é enviado por um canal separado ao mesmo tempo, o que permite a transmissão de vários bits em paralelo (Margolis et al., 2020; O’Sullivan e Igoe, 2004).

Diante dessas características, e por estar baseada na utilização de conceitos abstratos (programação) e concretos (tangíveis), a CF pode favorecer a interatividade e a compreensão de vários conceitos da Computação (Barros et al., 2021; Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2024c; Flores et al., 2024; Maximova, 2024; Zanetti et al., 2023). Como exemplo, os indivíduos que a utilizam podem desenvolver uma compreensão mínima sobre o processamento de informações físicas, coletadas por meio de sensores e da ação de atuadores (Cavalcante e Santos, 2021). Além disso, ela pode auxiliar no engajamento e na motivação; no desenvolvimento de habilidades interdisciplinares; na melhoria da compreensão de conceitos abstratos; no desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas concretos; no estímulo à criatividade e inovação; e no desenvolvimento do trabalho em equipe e colaboração (Hodges et al., 2020; Maximova, 2024).

Alguns estudos reiteram que uma das principais características da CF, a tangibilidade, pode ser considerada um aspecto extremamente importante, já que ela pode auxiliar na compreensão

e na relação entre o código-fonte e sua aplicação (Panaggio et al., 2019; Przybylla e Romeike, 2017; Santos et al., 2019). Nesse sentido, algumas experiências têm corroborado com a ideia de que plataformas *open-source*, como o Arduino, podem propiciar ambientes de experimentação de baixo custo, envolvendo a programação e a prototipagem de componentes eletrônicos, sem a complexidade e/ou os níveis abstratos de compreensão (Cavalcante e Santos, 2021; DesPortes, 2018; Zanetti et al., 2023).

Diante dessas características, o Teste de Pensamento Computacional com Computação Física (TPC-CF) apresentado neste artigo considera como definição operacional que a *Computação Física é um ambiente de aprendizagem em que são utilizadas estratégias e recursos da Ciência da Computação para resolver problemas práticos por meio da interação entre o mundo real e o virtual* (Bentes et al., 2024; Flores et al., 2024; Freitas et al., 2024; Guedes et al., 2025).

3 A Proposta de Teste

A seguir, são apresentados o contexto de elaboração do TPC-CF (Subseção 3.1), o objetivo (Subseção 3.2), bem como sua estrutura e organização (Subseção 3.3).

3.1 Contexto da Proposta

O Teste de Pensamento Computacional com Computação Física (TPC-CF) foi inicialmente concebido para o contexto do processo de ensino e aprendizagem de acadêmicos de licenciatura. Sua concepção foi fundamentada essencialmente em duas perspectivas principais: 1) um instrumento para ser utilizado na identificação de evidências do desenvolvimento de habilidades do PC nos acadêmicos de licenciatura; e 2) um modelo de instrumento (com as devidas adaptações) que poderá ser utilizado pelos acadêmicos em suas futuras práticas docentes com seus alunos da Educação Básica. Sobre este último aspecto, é importante considerar que os acadêmicos de licenciatura vivenciem durante a graduação, experiências concretas de como eles podem desenvolver e validar instrumentos de avaliação da aprendizagem dos seus futuros alunos.

O TPC-CF foi concebido com inspiração na proposta do Teste de Pensamento Computacional (TPC) de Román-Gonzalez, que propõe um instrumento para medir o nível de aptidão para o desenvolvimento do PC nos indivíduos (Román-Gonzalez et al., 2015). Nele, Román-Gonzalez propõe um teste composto de 28 questões, que visam abordar 7 conceitos computacionais: direções básicas (4 itens); Loops – ‘repetir x vezes’ (4 itens); Loops – ‘repetir até’ (4 itens); Condicional simples – ‘se’ (4 itens); Condicional composta – ‘se/senão’ (4 itens); Enquanto – ‘enquanto’ (4 itens) e Funções simples (4 itens) (Román-Gonzalez et al., 2015). No caso deste teste, observa-se que os conceitos envolvidos nas questões foram definidos com base nos direcionamentos curriculares para o ensino de Computação da CSTA (Seehorn et al., 2011), voltados para um público de 12 a 13 anos (Román-Gonzalez et al., 2015).

As questões do TPC de Román-Gonzalez são contextualizadas em duas perspectivas de ambientes gráficos (ou interfaces): 1 - O Labirinto (23 questões) e 2 - A Tela (5 questões). Em relação as alternativas de respostas, elas são apresentadas em um destes dois estilos: 1 - Visual por setas (8 questões) ou 2 - Visual por blocos (20 questões) (Román-Gonzalez et al., 2015). Ou seja, observa-se que o teste considera apenas representações visuais abstratas dos problemas lógicos

que devem ser resolvidos.

No TPC-CF, consideramos, além das representações visuais, os equipamentos de *hardware* que auxiliam na “visualização” das entradas e saídas de dados dos problemas lógicos propostos. Dessa forma, o teste é composto por 34 questões que envolvem representações de algoritmos, elaborados com o ambiente de programação em blocos PictoBlox e as prototipagens de circuitos eletrônicos com o Arduino, construídas a partir de modelagens no *software* Fritzing.

Nesse contexto, as questões do TPC-CF abordam prioritariamente (mas não limitado à) os seguintes conceitos: *C1* - algoritmos – sequência de passos; *C2* - estruturas de repetição (sempre e repita); *C3* - estruturas de seleção simples (SE) e composta (SE/SENÃO); *C4* - entrada, processamento e saída de dados; *C5* - funções simples; *C6* - variáveis; *C7* - lógica computacional; *C8* - portas digitais/analógicas e *C9* - prototipagem de circuitos. No caso do TPC-CF, esses conceitos foram definidos com base nos principais objetos de conhecimento e habilidades do eixo Pensamento Computacional da BNCC Computação (Brasil, 2022a), conforme pondera o estudo de Costa-Junior e Anglada-Rivera (2024a).

3.2 Objetivo e Fundamento do Teste

De maneira geral, o TPC-CF tem como objetivo auxiliar na identificação do nível de desenvolvimento de habilidades do Pensamento Computacional por meio de atividades que envolvam a Computação Física. Nessa perspectiva, o teste considera como definição mais ampla, que: *O Pensamento Computacional é a capacidade de formular e resolver problemas utilizando Conceitos e/ou Recursos Tecnológicos da Computação* (Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2024c). Nessa perspectiva, o TPC-CF considera que:

- Os **Conceitos** podem estar fundamentados na utilização da sintaxe lógica das linguagens de programação, tais como: sequência de passos, estruturas de repetição, iterações, condicionais (estruturas de seleção), funções e variáveis (Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2024c).
- Os **Recursos Tecnológicos** podem envolver, mas não estão limitados a estes, as linguagens e ambientes de programação – *Softwares* e equipamentos de *Hardware* (Ex. Microcontroladores, sensores, atuadores, etc.) (Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2024c).

Dessa maneira, o TPC-CF propõe uma abordagem para mensurar as habilidades do PC por meio do desenvolvimento de atividades práticas que envolvam a criação de algoritmos utilizando uma linguagem de programação visual (em blocos, pictográfica etc.), com o objetivo de manipular as interfaces de entrada e saída de dados de equipamentos de *hardware*, como o Arduino, sensores, atuadores etc. Em síntese, o TPC-CF considera como definição operacional que o *Pensamento Computacional é a capacidade de formular e resolver problemas por meio da utilização da Computação Física* (Costa-Junior e Anglada-Rivera, 2024c).

Essa abordagem se baseia na ideia de que, por meio do desenvolvimento de atividades práticas que envolvam artefatos tangíveis, como na Computação Física, é possível vivenciar e demonstrar de maneira mais efetiva as habilidades cognitivas relacionadas ao Pensamento Computacional. Em outras palavras, ao utilizar equipamentos de *hardware* como microcontroladores, sensores e atuadores, a compreensão das etapas de entrada, processamento e saída de dados torna-se essencial para o entendimento prático da aplicação da lógica por trás das linguagens de programação.

De certo modo, essa abordagem do TPC-CF apresenta consonância com algumas das principais ideias da Máquina de Turing Universal (MTU). Para Turing, a MTU capta completamente o que significa realizar uma tarefa por meios algorítmicos. Isto é, se um algoritmo pode ser executado em qualquer peça de *hardware* (digamos, um computador pessoal moderno), então existe um algoritmo equivalente para uma Máquina de Turing Universal que executa exatamente a mesma tarefa que o algoritmo executado no computador pessoal (Bernhardt, 2016; Nielsen e Chuang, 2010; Sipser, 2012). Essa afirmação, conhecida como Tese de Church-Turing em homenagem a Turing e outro pioneiro da Ciência da Computação, Alonzo Church, afirma a equivalência entre o conceito físico de qual classe de algoritmos pode ser executada em algum dispositivo físico com o conceito matemático rigoroso de uma MTU.

Do ponto de vista prático em um cenário educacional, acreditamos que essa abordagem também apresenta singularidades com as pesquisas de Seymour Papert. Embora ele não tenha definido claramente o que seria o Pensamento Computacional (*Computational Thinking*) em sua obra “*Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*” (Papert, 1980), Papert defendia claramente o uso efetivo do computador, não apenas as atividades cognitivas necessárias para resolver problemas concretos. Nesse sentido, isso pode claramente ser observado por meio do seu Ambiente LOGO, onde algoritmos deveriam ser elaborados para atingir um objetivo, cujo resultado poderia ser visualizado em forma de saída de dados, representada graficamente. Mais tarde, esse ambiente disponibilizaria uma maneira de se comunicar com o mundo físico por meio de artefatos robóticos. Para Papert, esses artefatos concretos se constituiriam como “*objetos com os quais raciocinar*” (Papert, 1980; Papert e Harel, 1991; Resnick et al., 1998). Os fundamentos de utilização de artefatos dessa natureza na educação baseiam-se justamente nas relações entre sujeito e instrumento físico (Piro, 2017).

Em síntese, Papert acreditava que as experiências de utilização da linguagem LOGO poderiam estimular os indivíduos a inverter a ordem e o sentido lógico do uso dos computadores. Ou seja, em vez de os computadores ensinarem os indivíduos, Papert (1980) defendia que os indivíduos ensinassem os computadores a pensar. Nesse processo, ele acreditava que os indivíduos poderiam se tornar epistemólogos, em razão da exploração e imersão em como eles próprios pensam (Papert, 1980).

3.3 Estrutura e Organização do Teste

De maneira geral, as questões do TPC-CF compartilham de uma estrutura básica composta de: 1 - Enunciado, 2 - Prototipagem do circuito eletrônico e 3 - Código básico de instruções. Em alguns casos, há questões que apresentam ainda interfaces de entrada e saída de dados. Além disso, as alternativas das respostas apresentam no máximo 4 opções. Em relação ao tipo de questão, elas foram elaboradas considerando 4 objetivos principais: Sequência de Passos, Conclusão, Depuração e Análise. A Tabela 1 apresenta um resumo da estrutura organizacional de cada uma das questões e a Tabela 2 apresenta o quantitativo de questões por tipo.

- **Sequência de Passos:** Estabelecer um conjunto ordenado e lógico de instruções para que o circuito execute o seu objetivo.
- **Conclusão:** Completar um conjunto incompleto de instruções, para permitir sua efetiva execução com base na modelagem do circuito.

Tabela 1: Estrutura das questões do TPC-CF

Estrutura da Questão	Questões	Total
Enunciado textual + Prototipagem do Circuito + Código Básico; Objetivo: Completar com a instrução que falta no código básico.	3, 4, 17, 18, 24, 28, 29	7
Enunciado textual + Prototipagem do Circuito; Objetivo: Indicar o código básico.	1, 14, 15, 25, 26	5
Enunciado textual + Código Básico; Objetivo: Indicar o erro na prototipagem do circuito.	7, 8, 9, 10, 19, 20, 21, 22, 32, 33, 34	11
Enunciado textual + Prototipagem do circuito + Interface de entrada; Objetivo: Indicar o código básico ou a instrução errada no código básico.	5, 6	2
Enunciado textual + Prototipagem do circuito; Objetivo: Indicar a instrução errada no código básico.	2, 16, 23, 27	4
Enunciado textual + Prototipagem do circuito + Interface de entrada; Objetivo: Indicar o código básico.	30	1
Enunciado textual + Prototipagem do circuito + Código Básico + Interface de entrada; Objetivo: Indicar a(s) função(s).	11	1
Enunciado textual + Prototipagem do circuito + Funções básicas; Objetivo: Indicar o código básico.	12	1
Enunciado textual + Prototipagem do circuito + Interface de saída ou entrada + Código básico; Objetivo: Indicar a saída.	13, 31	2

- **Depuração:** Identificar instruções incorretas, bem como, erros na prototipagem do circuito.
- **Análise:** Realizar a análise do código e da prototipagem do circuito para identificar a saída de dados.

Tabela 2: Distribuição das questões por tipo

Tipo	Questões	Total
Sequência de Passos	1, 5, 14, 15, 25, 26, 30	7
Conclusão	3, 4, 11, 17, 18, 24, 28, 29	8
Depuração	2, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 32, 33, 34	17
Análise	13, 31	2

A Tabela 3 apresenta um detalhamento dos conceitos primários e secundários abordados em cada uma das questões do TPC-CF. No contexto do teste, compreende-se por conceitos primários aqueles que estão em maior evidência no objetivo de cada uma das questões. Os conceitos secundários estão relacionados àqueles que aparecem em segundo plano e que não representam necessariamente o objetivo principal da questão, mas que, de alguma forma, precisam ser conhecidos pelos indivíduos que respondem ao TPC-CF.

Além disso, a Tabela 3 ainda lista as principais habilidades do eixo PC da BNCC Computação (Brasil, 2022b) que podem ser evidenciadas por meio de cada uma delas. Em relação aos conceitos de C1 a C9 e às habilidades, eles foram definidos com base nos resultados das análises realizadas por Costa-Junior e Anglada-Rivera (2024a) em sua pesquisa.

Considerando as limitações de espaço neste artigo, apresentamos a seguir dois exemplos de questões do TPC-CF. Nesse sentido, utilizaremos como exemplo as questões 3 e 13 para ilustrar

Tabela 3: Conceitos e habilidades da Computação envolvidas nas questões do TPC-CF

Questão	Conceito(s) primário(s)	Conceito(s) secundário(s)	Habilidade(s) BNCC Computação
1	C1	C2, C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF06CO05
2	C2	C1, C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO02, EF07CO05
3 e 4	C1, C2	C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO05
5	C2, C3, C4, C6, C7	C1, C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF06CO05, EF07CO05, EF09CO03
6	C2, C3, C4, C6, C7	C1, C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF06CO05, EF07CO02, EF07CO05, EF09CO03
7, 8, 9 e 10	C9	C1, C2, C4, C8	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO05
11	C5	C1, C2, C3, C4, C6, C7, C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO05
12	C1, C5	C2, C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO05
13	C4	C1, C2, C7, C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF06CO05, EF07CO05, EF09CO03
14 e 15	C1, C2, C3, C4	C7, C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO05, EF09CO03
16	C1, C2, C3, C4	C7, C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO02, EF07CO05, EF09CO03
17 e 18	C1, C2, C3, C4	C7, C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO05, EF09CO03
19, 20, 21 e 22	C9	C1, C2, C3, C4, C7, C8	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO05, EF09CO03
23	C1, C2, C3, C4, C5, C7	C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO02, EF07CO05, EF09CO03
24	C1, C2, C3, C4, C5, C7	C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO05, EF09CO03
25 e 26	C1, C2, C4	C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO05
27	C1, C2, C4	C8, C9	EF06CO02, EF07CO02, EF07CO05
28 e 29	C1, C2, C4	C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO05
30	C1, C2, C3, C4, C6, C7	C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF06CO05, EF07CO05, EF09CO03
31	C1, C2, C3, C4, C6	C8, C9	EF06CO02, EF06CO03, EF06CO05, EF07CO05, EF09CO03
32, 33 e 34	C9	C1, C2, C4, C8	EF06CO02, EF06CO03, EF07CO05
C1 - algoritmos – sequência de passos; C2 - estruturas de repetição (sempre e repita); C3 - estruturas de seleção simples (SE) e composta (SE/SENÃO); C4 - entrada, pro cessamento e saída de dados; C5 - funções simples; C6 - variáveis; C7 - lógica computacional; C8 - portas digitais/analógicas e C9 - prototipagem de circuitos.			

os objetivos, a estrutura organizacional das questões, os recursos utilizados, os conceitos e habilidades do eixo PC da BNCC Computação. A Figura 2 apresenta o contexto do enunciado das questões 3 e 13, bem como, as alternativas com as opções de respostas para cada uma delas. Além disso, a Tabela 4 apresenta uma descrição mais detalhada sobre essas questões. O teste completo pode ser acessado através deste link: www.computacaofisica.com.br/tpc-cf/.

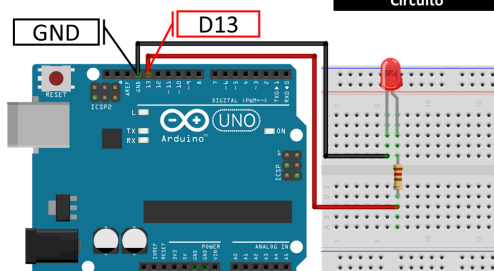
Tabela 4: Descrição das questões 3 e 13 do TPC-CF

Questão	Objetivo	Conceitos da Computação	Outros Conceitos	Tipo	Resposta
3	Identificar a instrução que está faltando, para permitir que o LED seja ligado e desligado a cada intervalo de 1 segundo, por tempo indeterminado.	Algoritmos – sequência de passos; Estruturas de repetição; Lógica Computacional: Verdadeiro (Alto) ou Falso (Baixo); Hardware - Portas Digitais; Processamento e Saída de Dados.	Eletrônica básica; Prototipagem de circuitos; Resistores; LEDs; Corrente Contínua (CC).	Conclusão	Alternativa C
13	Identificar a saída de dados por meio da análise do código básico e da prototipagem do circuito.	Algoritmos – sequência de passos; Estruturas de repetição; Lógica Computacional: Verdadeiro (1) ou Falso (0); Hardware - Portas Digitais; Entrada, Processamento e Saída de Dados.	Eletrônica básica; Prototipagem de circuitos; Sensor de toque; Corrente Contínua (CC).	Análise	Alternativa B

- **Sobre a questão 3 (Figura 2):** Observa-se que seu objetivo principal é identificar a instrução que está faltando no código básico. Ou seja, é preciso sinalizar, dentre as opções disponíveis, qual instrução deve ser acrescentada para que o código e a prototipagem do circuito executem o seu objetivo. Neste caso, o conjunto básico necessita de uma instrução que possibilite a execução do código por tempo indeterminado (Bloco Sempre - Alternativa C), ou até que uma condição de parada seja acionada (Bloco Bandeira Verde ou Stop). Diante disso, essa questão poderá auxiliar prioritariamente na identificação de evidências sobre a compreensão e o uso de estruturas de repetição. Além disso, ela também possibilita identificar se os indivíduos conseguem estabelecer uma sequência lógica e ordenada de passos para que o código e o circuito executem seu objetivo. Em geral, essa questão apresenta características e elementos que poderiam auxiliar na mensuração das habilidades EF06CO02, EF06CO03, EF07CO05 (Tabela 5) da BNCC Computação (Brasil, 2022b).
- **Sobre a questão 13 (Figura 2):** Nesta questão, é possível verificar que o objetivo principal é identificar qual informação será apresentada na saída de dados (Palco do PictoBlox). Ou seja, o indivíduo precisa selecionar, dentre as alternativas disponíveis, aquela que apresenta a informação correta que será exibida toda vez que o sensor identificar um toque em sua área. O valor correto a ser reportado corresponde à alternativa B (valor 1), uma vez que o sensor de toque altera o status do seu pino de saída (SIG-DO) para verdadeiro (1) sempre que identifica um toque. No contexto dessa questão, observa-se que ela pode ser utilizada

QUESTÃO 3

Circuito



Código Básico

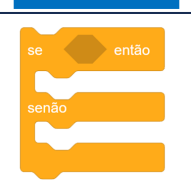
```

quando [ ] for clicado
  Definir pino digital 13 saída como ALTO
  espere 1 seg
  Definir pino digital 13 saída como BAIXO
  espere 1 seg


```

Alternativas


OPÇÃO A




OPÇÃO B



OPÇÃO C

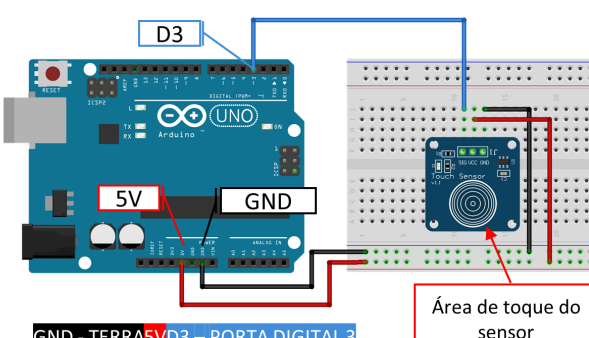


OPÇÃO D




QUESTÃO 13


Circuito



Interface de Saída



Sem toque



Com toque

Código Básico

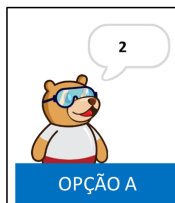
```

quando [ ] for clicado
  sempre
    diga ler sensor digital toque no pino 3

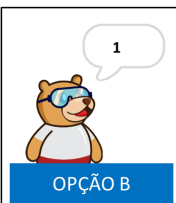
```

Alternativas


OPÇÃO A



OPÇÃO B



OPÇÃO C



OPÇÃO D




Figura 2: Exemplos de questões do TPC-CF - 3 e 13

prioritariamente para avaliar a compreensão do indivíduo sobre conceitos básicos da lógica computacional (Verdadeiro - 1 e Falso - 0). Além disso, ela também permite verificar se o indivíduo possui uma compreensão mínima sobre sequência de passos e estruturas de repetição, bem como uma compreensão clara da estrutura básica de funcionamento de um computador (Entrada-Processamento-Saída). Nesse sentido, essa questão pode auxiliar na identificação de evidências do desenvolvimento das habilidades EF06CO02, EF06CO03, EF06CO05, EF07CO05 e EF09CO03 (Tabela 5) da BNCC Computação (Brasil, 2022b).

A Tabela 5 apresenta um detalhamento do conjunto de habilidades do eixo de Pensamento Computacional (PC) da BNCC Computação, que podem estar parcialmente ou totalmente envolvidas nessas duas questões. Embora o TPC-CF tenha sido validado com acadêmicos de Licenciatura em Computação (Seção 4), entendemos que essa correlação com a BNCC Computação reforça a necessidade de proporcionar a este futuro profissional uma formação adequada e alinhada com aquilo que ele deverá auxiliar a desenvolver em seus futuros alunos da Educação Básica.

Tabela 5: Habilidades associadas ao eixo PC da BNCC Computação - Questões 3 e 13

Questão	Nível de Ensino	Código	Habilidade
3	6º ano	EF06CO02	Elaborar algoritmos que envolvam instruções sequenciais, de repetição e de seleção usando uma linguagem de programação.
	6º ano	EF06CO03	Descrever com precisão a solução de um problema, construindo o programa que implementa a solução descrita.
	7º ano	EF07CO05	Criar algoritmos fazendo uso da decomposição e do reúso no processo de solução de forma colaborativa e cooperativa e automatizá-los usando uma linguagem de programação.
13	6º ano	EF06CO02	Elaborar algoritmos que envolvam instruções sequenciais, de repetição e de seleção usando uma linguagem de programação.
	6º ano	EF06CO03	Descrever com precisão a solução de um problema, construindo o programa que implementa a solução descrita.
	6º ano	EF06CO05	Identificar os recursos ou insumos necessários (entradas) para a resolução de problemas, bem como os resultados esperados (saídas), determinando os respectivos tipos de dados, e estabelecendo a definição de problema como uma relação entre entrada e saída.
	7º ano	EF07CO05	Criar algoritmos fazendo uso da decomposição e do reúso no processo de solução de forma colaborativa e cooperativa e automatizá-los usando uma linguagem de programação.
	9º ano	EF09CO03	Usar autômatos para descrever comportamentos de forma abstrata automatizando-os através de uma linguagem de programação baseada em eventos.

Ainda que o TPC-CF tenha como principal objetivo identificar evidências do desenvolvimento de habilidades do PC, acreditamos que ele também poderá se constituir como instrumento para auxiliar a avaliar o desenvolvimento da habilidade EM13CO16 da BNCC Computação (Brasil, 2022a). Sugerida no contexto do Ensino Médio, essa habilidade endossa que os alunos desse nível de ensino sejam estimulados ao “*Desenvolvimento de projetos com robótica, utilizando artefatos físicos ou simuladores*” (Brasil, 2022a). Do ponto de vista dessa habilidade, acreditamos que o TPC-CF pode se constituir como um instrumento de suporte por dois motivos:

1. Acreditamos que a Computação Física está estritamente relacionada aos artefatos físicos sugeridos pela habilidade, bem como a possibilidade de desenvolver experimentos e simulações com a coleta e análise de dados reais.
2. Considerando que se trata de uma habilidade mais abrangente, espera-se que, para o seu desenvolvimento adequado, os alunos do Ensino Médio já tenham vivenciado experiências relacionadas às habilidades do eixo PC nos anos anteriores. Por exemplo, no processo de desenvolvimento de projetos com Robótica e Computação Física, é necessário que os alunos do Ensino Médio demonstrem por exemplo, evidências do domínio da habilidade EF06CO02, adquirida no 6º ano.

4 A Validação

Nesta seção, são apresentados os principais resultados encontrados no processo de validação do TPC-CF. Para isso, inicialmente são descritas as principais características da metodologia da pesquisa, o contexto, os procedimentos metodológicos, os instrumentos utilizados e, por fim, são destacados os principais resultados encontrados em cada uma das etapas de validação.

4.1 Metodologia de Pesquisa

No que diz respeito à sua abordagem, consideramos que ela se caracteriza como uma pesquisa exploratória, tendo em vista que busca encontrar evidências para responder à seguinte questão de pesquisa: “*Quais as contribuições do TPC-CF na identificação de habilidades do PC em acadêmicos de licenciatura?*” Nesse sentido, a pesquisa exploratória é caracterizada como uma investigação inicial que visa proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Esse tipo de pesquisa é frequentemente utilizado quando o tema ou problema é pouco conhecido ou explorado, permitindo ao pesquisador desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, bem como formular problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos futuros (Gil, 2021; Lakatos e Marconi, 2017).

Em relação à sua natureza, a pesquisa utiliza uma perspectiva quanti-qualitativa, tendo em vista que a investigação se baseia na coleta, análise e integração de dados quantitativos (numéricos) e qualitativos (textuais ou visuais) para compreender melhor o problema de pesquisa (Creswell e Creswell, 2021; Lakatos e Marconi, 2017). Essa combinação permite que o pesquisador explore diferentes perspectivas, valide resultados e desenvolva uma compreensão mais profunda e completa do objeto de estudo (Creswell e Creswell, 2021; Lakatos e Marconi, 2017).

Por fim, em relação aos instrumentos de coleta de dados, foram utilizados essencialmente três questionários: 1 - TPC-CF, 2 - Questionário de Motivação e 3 - Questionário sobre o objetivo do TPC-CF. Em uma pesquisa exploratória, esse tipo de instrumento pode ser utilizado para realizar entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado, bem como a análise de exemplos que estimulem a compreensão. O objetivo principal é proporcionar uma visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato (Gil, 2021; Lakatos e Marconi, 2017). Os dados desses instrumentos, bem como suas análises, são descritos na Subseção 4.4.

4.2 Contexto da Validação

De maneira geral, o processo de validação foi conduzido por 5 acadêmicos (3 homens e 2 mulheres) do curso de Licenciatura em Computação da Universidade do Estado do Amazonas (EST/UEA). No período em que este processo foi executado, os avaliadores possuíam idade variando entre 22 a 25 anos (idade média de 23,6 anos). Além disso, destaca-se que esses avaliadores encontravam-se desperiodizados. Ou seja, já haviam ultrapassado o tempo mínimo para concluir todas as disciplinas da estrutura curricular do curso.

Contudo, eles já haviam cursado a maior parte das disciplinas relacionadas a conceitos da Computação, tais como: introdução a programação de computadores; introdução a Computação; Matemática discreta; programação de computadores e algoritmos; fundamentos teóricos da Computação; projeto de programas; algoritmos e estrutura de dados I e II; banco de dados I; modelagem e projetos de sistemas; projeto e análise de algoritmos; organização e arquitetura de computadores; engenharia de *software*; interação homem computador; sistemas operacionais e redes de computadores.

Considerando o contexto de validação do TPC-CF, cabe ainda destacar que os avaliadores já haviam cursado a disciplina de “Tópicos avançados em Informática e Educação”. Para o curso de Licenciatura em Computação, trata-se de uma disciplina com ementa “Aberta”, que possibilita ao professor ministrante abordar temáticas atuais e que corroboram com a formação deste futuro profissional. Nesse sentido, ao cursarem essa disciplina, os avaliadores puderam ter contato mais aprofundado com as habilidades do PC, fazendo o uso de atividades plugadas por meio da utilização do ambiente de programação visual (blocos/pictográfica) PictoBlox e o microcontrolador Arduino. Dessa maneira, por já possuírem experiência prévia com as ferramentas utilizadas no TPC-CF, eles foram convidados a participar de forma voluntária do processo de validação.

4.3 Considerações Éticas

Todos os participantes da pesquisa assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), concordando com a coleta e análise anônima dos dados. O TCLE, elaborado em conformidade com as diretrizes da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), garantiu que os participantes estivessem cientes dos objetivos da pesquisa e de seus direitos.

4.4 Procedimentos Metodológicos

De maneira geral, o processo de validação do TPC-CF foi conduzido em 3 etapas: 1 – responder às questões do TPC-CF (Subseção 4.4.1); 2 – responder a um questionário para identificar os níveis de motivação diante do teste (Subseção 4.4.2); e 3 – responder a um questionário para avaliar o objetivo e o propósito do TPC-CF (Subseção 4.4.3).

4.4.1 Aplicação do TPC-CF

Nessa etapa, os avaliadores deveriam responder às 34 questões do TPC-CF. Para facilitar o processo de leitura e identificação das informações de cada uma das questões, elas foram impressas em folhas A4 divididas em duas partes (páginas): i - Folha 1: o enunciado da questão e ii - Folha 2:

as alternativas de resposta. Além disso, o teste foi organizado em uma pasta catálogo, para que o material pudesse ser melhor conservado e reaproveitado em cada uma das aplicações. Destaca-se ainda que não foi estipulado um tempo mínimo ou máximo para que eles respondessem a todas as questões. A Figura 3 apresenta alguns avaliadores respondendo às questões do TPC-CF.

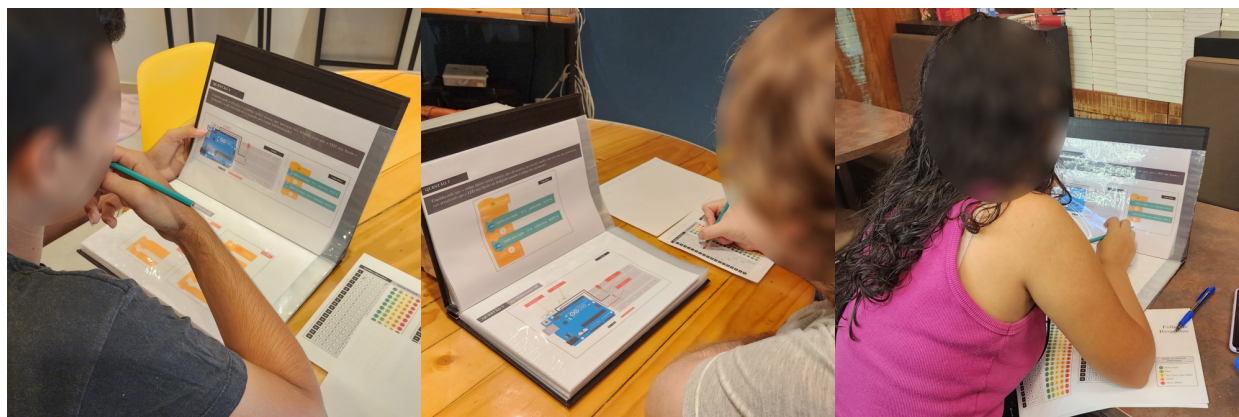


Figura 3: Avaliadores respondendo as questões do TPC-CF

Para responder, os avaliadores deveriam utilizar a folha de gabarito disponibilizada para essa finalidade. Nela, deveriam assinalar a alternativa que correspondesse à sua resposta para cada uma das questões do TPC-CF. Complementarmente, deveriam indicar o nível de dificuldade (escala de 1 - Muito fácil a 5 - Muito difícil) encontrado em cada uma das questões.

Em geral, os dados apontam para uma taxa média de aproveitamento de 95,29% no TPC-CF, considerando os resultados dos cinco avaliadores. Nesse contexto, na Tabela 6 é possível verificar um resumo dos acertos e erros dos avaliadores, bem como a taxa de aproveitamento de cada um deles no TPC-CF.

Tabela 6: Resultados dos avaliadores no TPC-CF

Avaliador	Acertos - Questões	Erros - Questões	% Aproveitamento
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34	13	97,06%
2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33	20, 34	94,12%
3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33	27, 34	94,12%
4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33	34	97,06%
5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34	24, 26	94,12%

De maneira geral, o tempo médio de execução do TPC-CF por cada um dos avaliadores foi de 35,2 minutos (total de 176 minutos - soma de todos os avaliadores). Além disso, observa-se ainda que o tempo mínimo de execução do teste foi de 30 minutos e o máximo de 40. A Tabela 7 apresenta uma síntese dos resultados, considerando a taxa de aproveitamento dos avaliadores por tipo de questão.

Tabela 7: Taxa de aproveitamento dos avaliadores por tipo de questão do TPC-CF

Avaliador	Sequência de Passos	Conclusão	Depuração	Análise
1	100%	100%	100%	50%
2	100%	100%	88,24%	100%
3	100%	100%	88,24%	100%
4	100%	100%	94,12%	100%
5	85,71%	87,50%	100%	100%

Em relação ao Avaliador 1, observa-se que ele obteve uma taxa de aproveitamento de 100% em três tipos de questões (sequência de passos, conclusão e depuração). Entretanto, nas questões de análise, sua taxa de aproveitamento foi de apenas 50%. Por outro lado, os Avaliadores 2, 3 e 4 alcançaram uma taxa de aproveitamento de 100% nas questões de sequência de passos, conclusão e análise. No entanto, a taxa de aproveitamento nas questões de depuração foi de 88,24% para os Avaliadores 2 e 3, e de 94,12% para o Avaliador 4. Quanto ao Avaliador 5, ele alcançou 100% de aproveitamento nas questões de depuração e análise. Entretanto, nas questões de sequência de passos e conclusão, suas taxas de aproveitamento foram de 85,71% e 87,50%, respectivamente. Observa-se que esse avaliador foi o único a apresentar taxas de aproveitamento menores em mais de um tipo de questão.

De forma geral, como indicado na Tabela 7, as maiores taxas de aproveitamento foram identificadas nas questões do tipo sequência de passos, conclusão e análise, com quatro avaliadores atingindo 100% de aproveitamento. Em contrapartida, as questões do tipo depuração apresentaram as menores taxas de aproveitamento.

Tabela 8: Taxa de aproveitamento dos avaliadores por conceitos

Conceito	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5
	<i>Conceitos primários</i>					<i>Conceitos secundários</i>				
C1	100%	100%	94,44%	100%	88,89%	93,75%	87,50%	93,75%	93,75%	100%
C2	100%	100%	94,74%	100%	89,47%	93,33%	86,67%	93,33%	93,33%	100%
C3	100%	100%	100%	100%	90,91%	100%	80%	100%	100%	100%
C4	94,12%	100%	94,12%	100%	88,24%	100%	83,33%	91,67%	91,67%	100%
C5	100%	100%	100%	100%	66,67%	-	-	-	-	-
C6	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
C7	100%	100%	100%	100%	80%	100%	85,71%	100%	100%	100%
C8	-	-	-	-	-	97,06%	94,12%	94,12%	97,06%	94,12%
C9	100%	90,91%	90,91%	90,91%	100%	96,65%	100%	95,65%	100%	91,30%
Legendas: A - Avaliador – C - Conceito										

A Tabela 8 apresenta uma síntese dos resultados encontrados, considerando a taxa de aproveitamento (acertos) dos avaliadores em relação aos conceitos abordados em cada uma das questões. A descrição desses conceitos é possível observar na Subseção 3.1 ou no final da Tabela 3.

As taxas descritas na Tabela 8 foram obtidas da seguinte forma: Considerando que o conceito primário C1 (Sequência de passos) estava presente em 18 questões (Tabela 3), o avaliador 3 por exemplo, não acertou a questão 27 (Tabela 6). Ou seja, ele obteve êxito em apenas 17

questões (18 - 1), o que corresponde a uma taxa de aproveitamento de 94,44% (Tabela 8) nesse grupo/conceito (C1) de questões. Esse processo foi realizado para cada um dos conceitos primários e secundários, bem como para cada um dos avaliadores.

Considerando a média das taxas dos 5 avaliadores, é possível verificar as seguintes taxas de aproveitamento dos conceitos primários: C1 - Sequência de passos - 97,67%, C2 - Estruturas de repetição (sempre e repita) - 96,84%, C3 - Estruturas de seleção simples (SE) e composta (SE/SENÃO) - 98,18%, C4 - Entrada, processamento e saída de dados - 95,30%, C5 - funções simples - 93,33%, C6 - Variáveis - 100%, C7 - Lógica computacional - 96%, C9 - Prototipagem de circuitos - 94,55%. Observa-se que neste caso, os três conceitos primários que obtiveram os menores índices foram: C5 (93,33%), C9 (94,55%) e C4 (95,30%). No caso do conceito C5, salienta-se que haviam apenas 3 questões que o abordavam de maneira prioritária e que apenas um avaliador não acertou uma das questões. Em contraponto, os conceitos C9 e C4 possuíam 11 e 17 questões respectivamente.

Em relação a média de aproveitamento dos conceitos secundários, é possível verificar as seguintes taxas: C1 - Sequência de passos - 93,75%, C2 - Estruturas de repetição (sempre e repita) - 93,33%, C3 - Estruturas de seleção simples (SE) e composta (SE/SENÃO) - 96%, C4 - Entrada, processamento e saída - 93,33%, C6 - Variáveis - 100%, C7 - Lógica computacional - 97,14%, C8 - portas digitais/analógicas - 95,30%, C9 - Prototipagem de circuitos - 96,52%. Neste caso, as menores taxas de aproveitamento estão relacionadas aos conceitos C2 e C4 (93,33% respectivamente), C1 (97,75%) e C8 (95,30%).

4.4.2 Avaliação da Motivação

Nesta etapa, os avaliadores foram convidados a responder um questionário contendo 36 perguntas, com o objetivo de identificar aspectos relacionados a sua motivação diante da realização do TPC-CF. Essas perguntas foram traduzidas e adaptadas do instrumento IMMS (*Instructional Materials Motivation Survey*) (Loorbach et al., 2015).

Em síntese, esse instrumento é baseado na utilização do modelo ARCS de Design Motivacional, cuja concepção é fundamentada em uma extensa revisão de literatura motivacional, que levou a um agrupamento de conceitos motivacionais organizados em quatro constructos: (A) atenção, (R) relevância, (C) confiança e (S) satisfação (Keller, 2009). Para Keller (2009), cada uma das quatro subescalas pode ser utilizada e pontuada de forma independente. Dessa maneira, a pontuação também poderá ser agrupada em uma escala total, o que poderia indicar o nível geral de motivação. O estudo ainda pondera que não existe uma escala predefinida para indicar um nível de pontuação baixa ou alta.

Embora o IMMS tenha sido concebido inicialmente para ser utilizado em ambientes que envolvam o uso de materiais instrucionais, as questões foram traduzidas e adaptadas para o contexto de aplicação do TPC-CF. Nesse sentido, na maioria das questões foram substituídos apenas o termo “Esta lição” por “O teste ou Este teste”. Dessa forma, o objetivo da questão e o constructo a ser mensurado em cada uma delas se mantiveram inalterados com as adaptações realizadas. O conjunto de questões adaptadas pode ser encontrado neste link: <http://tinyurl.com/4amty92n>.

Sobre a pontuação de cada uma das questões, as alternativas foram definidas utilizando uma escala de 1 a 5, onde cada item representa um nível de concordância que deveria ser escolhido

pelo avaliador, de acordo com sua percepção em relação à questão diante do processo de execução do TPC-CF. Nesse sentido, a escala representou respectivamente: 1 - Discordo Totalmente, 2 - Discordo Parcialmente, 3 - Nem Discordo, Nem Concordo, 4 - Concordo Parcialmente e 5 - Concordo Totalmente. Destaca-se ainda que a pontuação das questões 3, 7, 12, 15, 19, 22, 26, 29, 31 e 34, precisou ser recodificada antes da análise dos dados (Loorbach et al., 2015). Dessa maneira, a pontuação final dessas questões foi invertida e passou a representar respectivamente: 1 → 5, 2 → 4, 4 → 2 e 5 → 1.

Isso ocorre porque essas são questões formuladas negativamente dentro do instrumento. Elas têm sua escala invertida, ou seja, são redigidas de forma contrária ao constructo que está sendo medido. Para garantir a consistência na análise estatística, essas questões precisam ser recodificadas, com a inversão dos valores. Essa recodificação permite que todas as respostas sigam a mesma direção, ou seja, quanto maior o número, maior a motivação. Dessa forma, evita-se distorções na análise estatística (médias, somas, agrupamentos por fator) e preserva-se a validade do instrumento ao tratar as respostas de maneira coerente (Loorbach et al., 2015).

A análise dos resultados é baseada em uma perspectiva da descrição de variáveis ordinais, que foram organizadas e tabuladas em função da frequência de respostas para cada item das perguntas do questionário. A Tabela 9 apresenta a distribuição das questões em cada um dos 4 constructos do modelo ARCS.

Tabela 9: Distribuição das questões no Modelo ARCS

Constructo	Questões	Total de Questões
Atenção (A)	2, 8, 11, 12, 15, 17, 20, 22, 24, 28, 29, 31	12
Relevância (R)	6, 9, 10, 16, 18, 23, 26, 30, 33	9
Confiança (C)	1, 3, 4, 7, 13, 19, 25, 34, 35	9
Satisfação (S)	5, 14, 21, 27, 32, 36	6

Considerando que o questionário foi respondido por 5 avaliadores e que a pontuação máxima de uma questão seria 5 (Concordo totalmente), cada uma das questões poderia receber um total máximo de 25 pontos (5 x 5). Dessa forma, a quantidade total de questões para cada um dos constructos (conforme Tabela 9) foi multiplicada pelo total máximo de pontos em cada uma das questões. A Tabela 10 apresenta um resumo da pontuação máxima atingida em cada um dos constructos e a diferença em relação ao máximo de pontos que poderia ser alcançado. Além disso, são apresentadas as taxas de aproveitamento geral obtidos para cada um dos constructos.

Tabela 10: Resultados da aplicação do IMMS

	Atenção	Relevância	Confiança	Satisfação
<i>Total Alcançado</i>	287	223	211	149
<i>Total Ideal</i>	300	225	225	150
<i>Diferença</i>	13	2	14	1
<i>% aproveitamento</i>	95,67%	99,11%	93,78%	99,33%

4.4.3 Avaliação do Objetivo do TPC-CF

Nessa etapa, os avaliadores responderam um questionário contendo 35 perguntas, que foram elaboradas exclusivamente para o contexto de avaliação do TPC-CF. Diante disso, o instrumento tinha como objetivo principal coletar informações a respeito da percepção deles em relação ao objetivo, conceitos abordados, organização das questões, recursos textuais e visuais, bem como, a utilização do TPC-CF em outros contextos educacionais. Além disso, foram coletadas informações na perspectiva de caracterizar o perfil dos avaliadores (P1, P2, P3 e P4). O conjunto de questões utilizadas nesse questionário pode ser encontrado neste link: <http://tinyurl.com/4amty92n>.

Em relação aos tipos de questões, haviam questões discursivas (P2, P8, P18A, P19A, P20, P21, P27A, P28A, P34 e P35A), múltipla escolha (P1, P3, P5, P6, P7, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32, P33 e P35) - algumas com alternativas graduadas em uma escala *likert* de 5 pontos ou dois pontos (sim ou não) e caixas de seleção (P4) - onde eles poderiam assinalar mais de uma alternativa.

Inicialmente, questionamos os avaliadores se eles já haviam desenvolvido atividades em ambientes de programação em blocos (P5), com o microcontrolador Arduino (P6) e atividades de integração dessas duas ferramentas (P7). Em ambos os casos, todos os avaliadores (100%) afirmaram já terem desenvolvido algum tipo de atividade com esses recursos.

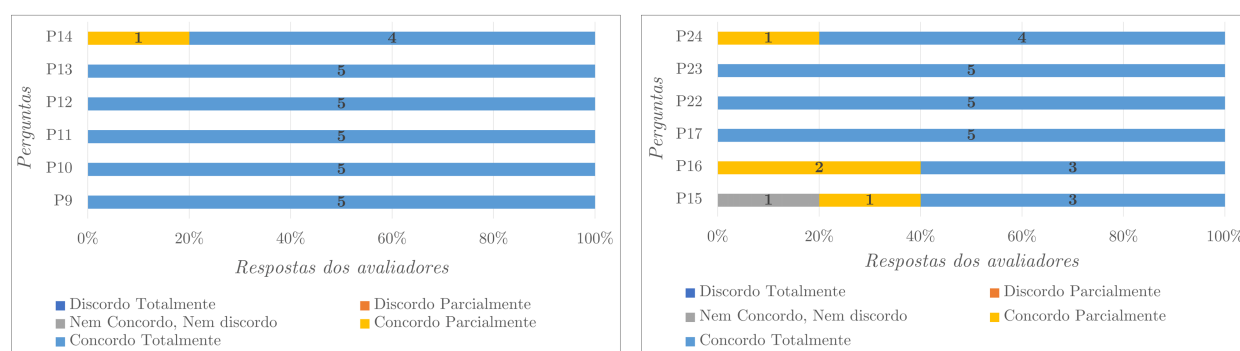
Na perspectiva de obter uma visão geral sobre a sua compreensão sobre o conceito de Pensamento Computacional (P8), solicitamos que os avaliadores escrevessem de forma clara e objetiva a definição deste conceito. Em geral, os dados apontam que a maioria deles relaciona o PC com habilidades da Computação para resolver problemas. A Tabela 11 apresenta uma síntese das definições apresentadas por cada um deles.

Tabela 11: Respostas dos avaliadores para a pergunta 8

Avaliador	Resposta
1	<i>Fazer o uso de técnicas e conceitos da área da Computação para a resolução de problemas.</i>
2	<i>Resolver problemas utilizando conceitos da Computação.</i>
3	<i>Pensamento Computacional é a maneira de integrar estratégias computacionais em atividades, sejam elas cotidianas ou mesmo educacionais. Através dessas estratégias que compõem os pilares, é possível desenvolver habilidades de abstração, raciocínio lógico e computacional nos alunos.</i>
4	<i>É saber lidar com as coisas de maneira mais eficaz, como por exemplo, caso tenhamos um determinado problema, podemos separá-lo em problemas menores para que a resolução do mesmo seja mais rápida e eficiente.</i>
5	<i>Uma metodologia para resolução de Problemas, utilizando os 4 pilares: algoritmo, decomposição, reconhecimento de padrões e abstração.</i>

Na perspectiva de ampliar o diagnóstico e confrontar com os resultados da pergunta anterior (P8), apresentamos aos avaliadores a seguinte definição do PC (P9) da autora Jeannette Wing: “O Pensamento Computacional é uma abordagem para solucionar problemas diversos utilizando conceitos da Ciência da Computação” (Wing, 2006). Os dados sinalizam que 100% dos avaliadores afirmaram concordar totalmente com esta definição (Figura 4a).

Na segunda parte do questionário, perguntamos aos avaliadores se eles acreditavam se atividades que envolvessem a criação de algoritmos em ambientes de programação em blocos (Ex. Scratch, PictoBlox), poderiam favorecer o desenvolvimento de habilidades da BNCC Computa-



a) Respostas P9, P10, P11, P12, P13 e P14.

b) Respostas P15, P16, P17, P22, P23 e P24.

Figura 4: Gráficos com os dados das respostas das perguntas P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P22, P23 e P24

ção (como por exemplo, as do Pensamento Computacional) nas escolas de Educação Básica no Brasil (P10). 100% dos avaliadores concordaram totalmente com essa questão (Figura 4a).

Na sequência, considerando que o Arduino é uma plataforma de prototipagem de circuitos acessível e de baixo custo, questionamos aos avaliadores se eles acreditavam que essa ferramenta poderia ser utilizada para auxiliar no desenvolvimento das habilidades da BNCC Computação (como por exemplo, as do Pensamento Computacional) na Educação Básica brasileira (P11). 100% dos avaliadores concordaram totalmente (Figura 4a).

Também perguntamos aos avaliadores se a utilização de atividades de ensino e aprendizagem na Educação Básica, envolvendo a construção de projetos utilizando Arduino, poderia facilitar a compreensão de conceitos abstratos da Computação, como, por exemplo, a programação (P12). Todos os avaliadores (100%) concordaram plenamente com essa afirmação (Figura 4a). Ainda nesse contexto, eles foram questionados se o desenvolvimento de atividades que envolvem a criação de algoritmos em ambientes de programação em blocos, para controlar saídas e entradas das portas digitais e analógicas de um microcontrolador, poderia auxiliar na compreensão e no desenvolvimento de habilidades de Pensamento Computacional (P13). Da mesma forma, 100% dos avaliadores também concordaram totalmente com essa questão (Figura 4a).

Perguntamos aos avaliadores se os objetivos das questões eram claros e precisos, possibilitando um entendimento do que deveria ser alcançando em cada uma das questões do TPC-CF (P14). 80% afirmaram concordar totalmente e 20% concordou parcialmente (Figura 4a). Além disso, questionamos se eles acreditavam que as informações contidas nos enunciados das questões eram suficientes para compreender o objetivo de cada uma delas (P15). 60% concordou totalmente, 20% concordou parcialmente e 20% não concordou e nem discordou de tal afirmação (Figura 4b).

Considerando que os avaliadores possuíam conhecimentos básicos relacionados aos conceitos abordados no TPC-CF, perguntamos se eles acreditavam que as questões poderiam se constituir como uma forma (não exclusiva) de identificar a compreensão do indivíduo sobre os conceitos abordados (P16). 60% concordaram totalmente e 40% concordaram parcialmente com essa questão (Figura 4b). Ainda nesse contexto, eles foram questionados se os tipos de questões e os recursos utilizados em cada uma delas permitiria verificar se os indivíduos apresentariam habilidades relacionadas aos conceitos abordados (P17). 100% dos avaliadores concordaram totalmente com

essa afirmação (Figura 4b).

No que diz respeito aos objetivos das questões, perguntamos aos avaliadores se eles haviam encontrado alguma dificuldade em relação a isso (P18). 80% deles afirmaram não ter encontrado nenhuma dificuldade e 20% disse que sim. Neste caso, solicitamos que eles apresentassem quais dificuldades foram estas (P18A). Um dos avaliadores ponderou que “*o enunciado de algumas questões poderiam ser reescritos para facilitar o entendimento da questão*”.

Em seguida, perguntamos se eles teriam alguma sugestão de melhoria em relação ao objetivo das questões ou em relação aos conceitos abordados (P19). 60% não reportaram nenhuma sugestão de melhoria. Outros 40% sugeriram “*Melhor contextualização dos problemas, destaque no que a questão quer (se deseja a opção correta ou incorreta)*” e “*Tornar as questões mais claras em relação ao que se pergunta*” (P19A).

Na sequência, resgatamos e apresentamos duas questões do TPC-CF (Nº 6 e 31) na perspectiva de que eles pudessem se posicionar e indicar que conceitos e habilidades da Computação ou não, estariam envolvidas em ambas as questões. As Tabelas 12 e 13 apresentam uma síntese do que foi informado pelos avaliadores nas perguntas 20 e 21, relacionadas respectivamente as questões Nº 6 e 31 do TPC-CF.

Tabela 12: Respostas dos avaliadores para a pergunta 20

Avaliador	Resposta
1	<i>Computação: Conceito: loop - Habilidade: saber como funciona um loop; Conceito: operadores lógicos - Habilidade: Como utilizar operações lógicas; Conceito: Condicionais - Habilidade: como utilizar estruturas condicionais; Conceito: Variável - Habilidade: como funciona uma variável. Física: Conceito: circuito eletrônico - Habilidade: saber como funciona um circuito simples de um LED.</i>
2	<i>Computação: Conceito de reconhecimento de padrões, sincronização entre parte física e lógica.</i>
3	<i>Computação: Lógica de programação. Física: Circuito eletrônico.</i>
4	<i>Computação: os conceitos da linguagem de programação. Física: os conceitos de robótica.</i>
5	<i>Computação: Conceito: Pensamento computacional, Algoritmos. Física: Eletrônica básica.</i>

Tabela 13: Respostas dos avaliadores para a pergunta 21

Avaliador	Resposta
1	<i>Computação: Conceito: loop - Habilidade: saber como funciona um loop; Conceito: Variável - Habilidade: como manipular variáveis. Física: Conceito: Circuito eletrônico - Habilidade: como fazer a ligação de um servomotor; Conceito: ângulo - Habilidade: saber trabalhar com ângulos.</i>
2	<i>Física: Conceito de ângulos. Computação: Conceitos de lógica. Matemática: Operações básicas</i>
3	<i>Computação: lógica. Matemática: ângulo, operações básicas).</i>
4	<i>Computação: programação em blocos. Física: aplicações do uso de motores, montagem do circuitos eletrônicos com Arduino e servomotor.</i>
5	<i>Computação: Pensamento Computacional, Algoritmos. Física: Noção Espacial.</i>

Apresentamos novamente a questão Nº 5 do TPC-CF e perguntamos aos avaliadores se por meio dessa questão seria possível verificar/mapear o desenvolvimento da seguinte habilidade (P22): “*EF06CO02 - Elaborar algoritmos que envolvam instruções sequenciais, de repetição e de seleção usando uma linguagem de programação*” (Brasil, 2022a). 100% dos avaliadores concordaram totalmente com essa afirmação (Figura 4b). Ainda nesse contexto, perguntamos aos

avaliadores se por meio dessa mesma questão seria possível verificar/mapear o desenvolvimento da seguinte habilidade (P23): “*EF06CO05 - Identificar os recursos ou insumos necessários (entradas) para a resolução de problemas, bem como os resultados esperados (saídas), determinando os respectivos tipos de dados, e estabelecendo a definição de problema como uma relação entre entrada e saída*” (Brasil, 2022a). Da mesma forma que na pergunta anterior, 100% dos avaliadores concordaram totalmente com essa afirmação (Figura 4b).

No terceiro bloco de perguntas, os avaliadores foram questionados se a organização do conteúdo de cada uma das questões estava cuidadosamente organizado, permitindo uma leitura fluída e objetiva (P24). 80% concordaram totalmente e 20% concordou parcialmente (Figura 4b). Ainda nesse contexto, eles foram questionados se a formatação dos textos, o tamanho e a disposição das imagens, possibilitaram um entendimento rápido e preciso (P25). 80% concordaram totalmente e 20% concordou parcialmente (Figura 5).

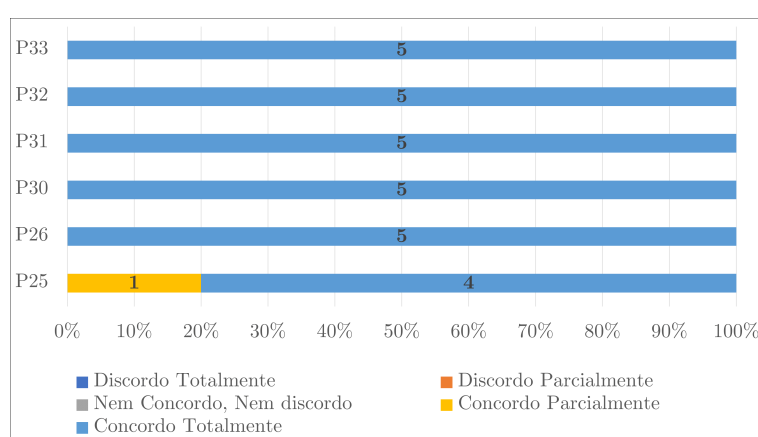


Figura 5: Gráfico com os dados das respostas das perguntas P25, P26, P30, P31, P32 e P33

Além disso, considerando os recursos (textos e imagens) disponíveis em cada uma das questões, questionamos os avaliadores se esses eram suficientes para compreender a questão e atingir o objetivo (P26). Todos (100%) concordaram totalmente com essa afirmação (Figura 5). Nesse contexto, também foram questionados se, durante a realização do teste, haviam encontrado alguma dificuldade em relação à organização do conteúdo, bem como dos recursos (textos e imagens) disponíveis em cada uma das questões (P27). 60% afirmaram não ter encontrado nenhuma dificuldade, enquanto 40% disseram que sim. Nesse último caso, dois avaliadores mencionaram dificuldades relacionadas à “*Fonte utilizada nas perguntas*” (P27A).

Na pergunta 28, os avaliadores foram solicitados a informar se gostariam de sugerir alguma melhoria em relação a organização do conteúdo, bem como, dos recursos (textos e imagens) disponíveis em cada uma das questões. 60% afirmou não ter nenhuma sugestão de melhoria e 40% disseram que sim. Nesse último caso, um dos avaliadores apontou “*Outra fonte para as questões*” e o segundo avaliador sugeriu “*Alterar o fundo e a cor dos caracteres das questões, para uma fácil visualização e alinhar melhor as imagens de algumas alternativas das questões*” (P28A).

No quarto e último bloco de questões, os avaliadores foram questionados se o tipo de questões do TPC-CF poderia ser replicado em outros contextos educacionais, envolvendo públicos diversificados (P29). 100% afirmaram que sim, desde que os indivíduos a serem avaliados tenham participado de atividades com estes recursos antes da aplicação do teste. Além disso, perguntamos

se esse mesmo tipo de questões do TCP-CF poderia ser adaptado para aplicações de experiências que envolvessem alunos da Educação Básica (Ensino Fundamental e Ensino Médio) (P30). 100% dos avaliadores concordaram totalmente com essa afirmação (Figura 5). Ainda nesse contexto, questionamos os avaliadores se eles acreditavam que o TPC-CF poderia ser utilizado para identificar o desenvolvimento de habilidades do PC em acadêmicos de outros cursos de licenciatura (P31), como por exemplo Lic. em Física, Lic. Matemática, etc. 100% dos avaliadores concordaram totalmente com essa questão (Figura 5).

Considerando que o TPC-CF tem como objetivo identificar habilidades que podem ser desenvolvidas em atividades de ensino e aprendizagem que envolvam a construção de algoritmos em ambientes de programação em blocos, e sua devida relação com microcontroladores, perguntamos aos avaliadores se eles acreditavam que este teste poderia se constituir como um exemplo de instrumento avaliativo a ser utilizado pelos futuros professores em suas práticas em sala de aula (P32). Todos os avaliadores (100%) concordaram plenamente com essa afirmação (Figura 5). Do ponto de vista da formação inicial dos avaliadores, perguntamos ainda se eles consideravam que este tipo de teste poderia ser utilizado em suas futuras práticas docentes (P33). 100% dos avaliadores concordaram totalmente com essa questão (Figura 5).

Tabela 14: Respostas dos avaliadores para a pergunta 34

Avaliador	Resposta
1	<i>Etapa 1 - Apresentar os conceitos da Computação. Etapa 2 - Fazer atividades básicas que utilizem os conceitos da Computação. Etapa 3 - Realizar atividades que relacionem os conceitos apresentados com seu respectivo curso. Etapa 4. Fazer o teste.</i>
2	<i>Etapa 1 - Introdução à lógica da programação. Etapa 2 - Primeiro contato com o Scratch/Pictoblox. Etapa 3 - Conhecimento sobre o Arduino e seus componentes. Etapa 4 - Realizar o teste</i>
3	<i>Etapa 01 - Apresentar o PC e a programação. Etapa 02 - Apresentar o ambiente de programação. Etapa 03: funcionamento do Arduino. Etapa 04 - Fazer o teste.</i>
4	<i>Etapa 1: Avaliação diagnóstica. Etapa 2: preparar a aula de acordo com o resultado da avaliação dos alunos. Etapa 3: Apresentar os conceitos e ensinar a parte prática. Etapa 4: Aplicar o teste.</i>
5	<i>Etapa 1 - Apresentar os conceitos de programação. Etapa 2 - Ensinar sobre as ferramentas. Etapa 3 - Aplicar o teste.</i>

Com o intuito de entender como os avaliadores imaginariam a replicação do TPC-CF, solicitamos que considerassem a aplicação desse instrumento com acadêmicos de outros cursos de licenciatura, como, por exemplo, a Licenciatura em Física. Em seguida, perguntamos quais requisitos ou etapas eles acreditavam ser necessárias para que o teste pudesse ser aplicado a esse público (P34). A Tabela 14 apresenta uma síntese das respostas fornecidas pelos avaliadores para essa questão.

Por fim, perguntamos se de maneira geral eles teriam sugestões de adaptações e/ou melhorias para serem realizadas no TPC-CF (P35). 80% não apresentaram nenhuma sugestão e 20% disseram que sim. Neste último caso, um dos avaliadores sugeriu “*melhorar a visibilidade e divisão das questões no gabarito*” (P35A).

4.5 Resultados e Discussões do Processo de Validação

4.5.1 Sobre a aplicação do TPC-CF

De maneira geral, observa-se que os avaliadores obtiveram uma média geral de 32,2 acertos no TPC-CF. Ou seja, isso reflete em uma taxa global de 94,71% de aproveitamento diante das questões do teste. De certo modo, essa alta taxa de acertos já poderia ser esperada, considerando que os avaliadores já haviam participado de atividades envolvendo os principais recursos tecnológicos (PictoBlox e Arduino) utilizados nas questões do TPC-CF. Além disso, há que se considerar que eles já haviam cursado diversas disciplinas da Computação, o que poderia ajudá-los a superar com maior facilidade cada um dos desafios propostos. Ou seja, suas aprendizagens anteriores, no que diz respeito às sintaxes e à lógica das linguagens de programação, podem ter influenciado fortemente para o sucesso diante do teste.

Em relação aos erros cometidos, não foi possível observar uma diversidade de padrões nas questões envolvidas, com exceção da questão 34, na qual três avaliadores não conseguiram indicar a alternativa correta. Diante disso, revisamos a questão com o objetivo de mapear possíveis problemas no enunciado ou nas alternativas, mas não foram identificados aspectos que pudessem ter levado os avaliadores ao erro. Além disso, é importante destacar que a questão 34 do TPC-CF apresentava muitos aspectos e características similares a outras questões, como, por exemplo, as questões 32 e 33, conforme ilustra a Tabela 3. No caso específico dessas duas questões, todos os avaliadores obtiveram êxito ao atingir seus objetivos e identificar a alternativa correta. Ou seja, é possível concluir que eles possuíam conhecimentos e habilidades suficientes para responder à questão 34. Dessa forma, acreditamos que tal padrão pode estar associado a uma falta de atenção e ao cansaço, já que se tratava da última questão do teste. Por fim, em relação às questões 13, 20, 24, 26 e 27, onde foram identificados 1 erro em cada uma delas, também revisamos as questões e não foram identificados problemas em sua estrutura e objetivo.

Considerando a média das taxas dos cinco avaliadores, apresentada na Tabela 8, é possível verificar que o único conceito primário e secundário que apresentou uma taxa de aproveitamento de 100% foi o conceito de variáveis. Nos demais casos, observa-se claramente uma diversidade nos padrões das taxas de aproveitamento. Dessa forma, não foi possível encontrar uma correlação direta entre os erros e acertos obtidos por cada um dos avaliadores. Nesse contexto, é possível verificar que:

- O Avaliador 1 apresentou uma taxa de aproveitamento inferior a 100% no *Conceito primário*: C4 - entrada, processamento e saída de dados (94,12% - Tabela 8) e nos *Conceitos secundários*: C1 (93,75%) - algoritmos – sequência de passos; C2 (93,33%) - estruturas de repetição (sempre e repita); C8 (97,12%) - portas digitais/analógicas e C9 (96,65%) - prototipagem de circuitos;
- O Avaliador 2 apresentou uma taxa de aproveitamento inferior a 100% no *Conceito primário*: C9 - prototipagem de circuitos (90,91% - Tabela 8) e nos *Conceitos secundários*: C1 (87,50%) - algoritmos – sequência de passos; C2 (86,67%) - estruturas de repetição (sempre e repita); C3 (80%) - estruturas de seleção simples (SE) e composta (SE/SENÃO); C4 (83,33%) - entrada, processamento e saída de dados; C7 (85,71%) - lógica computacional e C8 (94,12%) - portas digitais/analógicas;

- O Avaliador 3 apresentou uma taxa de aproveitamento inferior a 100% nos *Conceitos primários*: C1 (94,74%) - algoritmos – sequência de passos; C2 (94,74%) - estruturas de repetição (sempre e repita); C4 (94,12%) - entrada, processamento e saída de dados e C9 - prototipagem de circuitos (90,91% - Tabela 8) e nos *Conceitos secundários*: C1 (93,75%) - algoritmos – sequência de passos; C2 (93,33%) - estruturas de repetição (sempre e repita); C4 (91,67%) - entrada, processamento e saída de dados; C8 (94,12%) - portas digitais/analógicas e C9 (95,65%) - prototipagem de circuitos.
- O Avaliador 4 apresentou uma taxa de aproveitamento inferior a 100% no *Conceito primário*: C9 (90,91%) - prototipagem de circuitos e nos *Conceitos secundários*: C1 (93,75%) - algoritmos – sequência de passos; C2 (93,33%) - estruturas de repetição (sempre e repita); C4 (91,67%) - entrada, processamento e saída de dados; C8 (97,06%) - portas digitais/analógicas.
- O Avaliador 5 apresentou uma taxa de aproveitamento inferior a 100% nos *Conceitos primários*: C1 (88,89%) - algoritmos – sequência de passos; C2 (89,47%) - estruturas de repetição (sempre e repita); C3 (90,91%) - estruturas de seleção simples (SE) e composta (SE/SENÃO); C4 (88,24%) - entrada, processamento e saída de dados; C5 (66,67%) - funções simples e C7 (80%) - lógica computacional e nos *Conceitos secundários*: C8 (94,12%) - portas digitais/analógicas e C9 (91,30%) - prototipagem de circuitos.

Há de se considerar que inúmeros fatores podem ter contribuído para essa diversidade de padrões e, por consequência, para a alta taxa de aproveitamento dos acadêmicos de Licenciatura em Computação. Sobre este último aspecto, é preciso destacar que as questões do TPC-CF apresentam algumas características que podem ter influenciado esse resultado, como, por exemplo: o uso de algoritmos simples — com poucas instruções (blocos) — e o uso de apenas um ator na programação, o que diminui a complexidade de rastreamento do código. Dessa forma, do ponto de vista da aprendizagem dos acadêmicos de Licenciatura em Computação, as questões do TPC-CF podem se apresentar como desafios “fáceis” de serem superados.

Em contrapartida, essa compreensão, em tese, pode não se constituir como razoável se considerarmos a aplicação do TPC-CF em contextos educacionais que envolvam outros acadêmicos de licenciatura, como, por exemplo, os de Física. De certo modo, esses acadêmicos podem não apresentar conhecimentos e habilidades suficientes para obter taxas de aproveitamento equiparáveis às dos acadêmicos de Licenciatura em Computação, que, ao longo de sua graduação, vivenciam diversas disciplinas focadas nos conceitos e habilidades abordados no teste. Contudo, acreditamos que, ainda assim, as questões do teste podem se constituir como uma estratégia viável e válida para auxiliar na mensuração do desenvolvimento das habilidades de Pensamento Computacional (PC), desde que sejam feitas as devidas alterações e adaptações para o contexto de aplicação.

Por fim, é importante considerar que o TPC-CF precisa ser visto pelos acadêmicos de Licenciatura em Computação como uma alternativa ou forma de instrumento que eles poderão utilizar com seus futuros alunos da Educação Básica. Ou seja, compreende-se que, nesse processo de ensino e aprendizagem no contexto desse curso de graduação, esses futuros professores devem receber uma formação que contemple, obrigatoriamente, aspectos dos conhecimentos disciplinares — aqueles relacionados aos conceitos e habilidades envolvidas na área de conhecimento — e dos conhecimentos pedagógicos do conteúdo, que dizem respeito a como ensinar (Libâneo, 2012).

4.5.2 *Sobre o Teste de Motivação*

De maneira geral, o instrumento utilizado evidenciou uma motivação total de 96,97% (Tabela 10). Observa-se que o construto “Satisfação” foi o que obteve o maior índice registrado, com um total de 99,33%. Em contrapartida, o construto “Confiança” apresentou uma taxa de apenas 93,78%, sendo este o menor índice mensurado entre os construtos do teste de motivação.

Embora o IMMS tenha sido concebido para ser utilizado em aplicações práticas que envolvem um tipo específico de material educacional, acreditamos que os dados obtidos corroboram a ideia de que as adaptações realizadas para mensurar o nível de motivação dos avaliadores durante o teste conseguiram capturar a essência de cada um dos construtos envolvidos. Nesse sentido, não foram identificadas dificuldades quanto ao seu objetivo, à operacionalização do instrumento ou aos resultados encontrados.

Contudo, embora não tenham sido identificados problemas na aplicação desse instrumento, consideramos que ele precisa ser utilizado com cautela, uma vez que a coleta de dados é baseada na percepção momentânea do avaliador. Ou seja, o uso de métodos de autorrelato para medir a motivação é limitado, pois tais métodos exigem que os indivíduos avaliados indiquem seu nível de motivação percebido, que pode diferir da quantidade real de esforço — uma medida mais precisa do comportamento motivacional (Song e Keller, 2001).

4.5.3 *Sobre o Objetivo do Teste*

De maneira geral, os dados coletados por meio do questionário de avaliação do objetivo do TPC-CF auxiliaram na identificação de evidências de que ele pode se constituir como um exemplo de instrumento capaz de mapear o desenvolvimento de habilidades do Pensamento Computacional, mediadas pela utilização de artefatos da Computação Física.

Embora o TPC-CF tenha sido validado inicialmente em um contexto de aprendizagem com apenas cinco acadêmicos de Licenciatura em Computação — um número relativamente baixo na amostragem de indivíduos, com pouca ou nenhuma experiência prática em seu futuro local de atuação (a escola) —, observa-se que a maioria dos avaliadores destacou, em suas respostas no questionário de avaliação do objetivo do TPC-CF, que o instrumento apresenta inúmeros pontos positivos em relação ao seu propósito geral.

Apesar de os acadêmicos de Licenciatura em Computação não possuírem experiência profissional, eles se configuraram, no contexto da validação do TPC-CF, como os indivíduos mais qualificados para executar o teste e fornecer percepções e sugestões de melhorias. Isso pode ser justificado, em parte, pela experiência prévia com os recursos tecnológicos abordados no TPC-CF (Arduino e PictoBlox) e pelo fato de já terem concluído a maior parte das disciplinas do curso de graduação que envolvem os conceitos e habilidades contemplados pelo instrumento de avaliação.

Nesse sentido, as respostas dos avaliadores sugerem que os tipos de questões e os recursos utilizados possibilitariam identificar o desenvolvimento de habilidades relacionadas aos conceitos abordados. Além disso, não foram observados problemas significativos que pudessem comprometer o objetivo das questões ou os recursos utilizados no contexto do TPC-CF.

Sobre este último aspecto, alguns avaliadores sugeriram que as questões fossem melhor contextualizadas e mais explícitas quanto ao que era solicitado. Além disso, alguns relataram

dificuldade em realizar a leitura dos enunciados e sugeriram a alteração da fonte utilizada. Essa dificuldade foi causada, em grande parte, pela qualidade da impressão das questões, já que, no arquivo digital, não foi possível identificar esse problema com o estilo da fonte.

Por fim, os dados revelam ainda que os avaliadores acreditam que o TPC-CF pode ser utilizado em outros cursos de licenciatura, desde que haja um contato prévio com as ferramentas abordadas. Além disso, eles também sinalizam que o tipo de questão utilizado no teste poderia ser facilmente adaptado para contextos envolvendo alunos da Educação Básica.

5 Considerações Finais

Com base nos dados obtidos nas análises preliminares da validação do TPC-CF, acreditamos que esse instrumento se apresenta como uma alternativa eficaz e objetiva para mensurar habilidades do Pensamento Computacional por meio de atividades que envolvam a Computação Física. Nesse sentido, ainda que tenha sido validado em um contexto de ensino e aprendizagem de acadêmicos de Licenciatura em Computação, acreditamos que ele também poderá ser adaptado para ser utilizado em atividades com acadêmicos de licenciatura de outras áreas do conhecimento. Ou seja, o TPC-CF se apresenta como um dos instrumentos que poderá mediar o processo de desenvolvimento das habilidades do PC nos futuros professores. Por estar baseado na utilização de recursos gratuitos e/ou de baixo custo, ele poderá ser facilmente adaptado para atender os diferentes contextos formativos dos cursos de licenciatura.

Do ponto de vista da formação continuada, acreditamos que o TPC-CF também possa constituir-se como um instrumento necessário para os professores já graduados que atuam no contexto da Educação Básica. Afinal, eles também precisam apropriar-se de novas estratégias, recursos tecnológicos e instrumentos avaliativos que os auxiliem a colocar em prática o que é estabelecido sobre o PC na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), na BNCC Computação e na Política Nacional de Educação Digital (PNED).

Tratando-se especificamente da BNCC Computação, acreditamos que o TPC-CF se apresenta como um instrumento adequado para ajudar a consolidar o desenvolvimento das habilidades do PC nas escolas de Educação Básica no Brasil, considerando que seu processo de concepção foi inteiramente fundamentado na perspectiva de auxiliar os professores a operacionalizar as diretrizes curriculares estabelecidas por essa normativa.

Além disso, o TPC-CF não deve ser visto como a única forma de mensurar o desenvolvimento das habilidades do PC nos indivíduos. Trata-se de uma estratégia que utiliza uma abordagem plugada, podendo ser empregada de maneira exclusiva ou em conjunto com atividades desplugadas. Ou seja, o TPC-CF amplia as possibilidades, sob outra perspectiva, contribuindo significativamente para suprir a carência de instrumentos com essa finalidade e para ampliar os espaços de discussão na comunidade científica que trata desse tema.

Como trabalhos futuros, espera-se utilizar os aprendizados deste processo de elaboração e validação para aperfeiçoar o TPC-CF. Nesse sentido, pretende-se, prioritariamente: i) estabelecer uma escala de pontuação dos conceitos e habilidades com base em fundamentos da psicometria; ii) realizar uma validação com professores de Computação já graduados que atuam na Educação Básica; iii) realizar avaliação do TPC-CF com professores de outras áreas do conhecimento que

apresentem conhecimentos sobre os conceitos e habilidades envolvidas; iv) adaptar o TPC-CF para ser validado com alunos da Educação Básica e v) realizar intervenções formativas com os recursos utilizados no teste, envolvendo acadêmicos de licenciatura de outros cursos, como, por exemplo, Licenciatura em Física, a fim de aplicar e revalidar o TPC-CF em outros contextos de ensino e aprendizagem.

Agradecimentos

Aos acadêmicos de Licenciatura em Computação da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) que contribuíram significativamente no processo de validação e avaliação do TPC-CF, e ao Programa de Pós-Graduação em Ensino Tecnológico (PPGET) do Instituto Federal do Amazonas (CMC/IFAM).

Artigo Premiado Estendido

Esta publicação é uma versão estendida de artigo premiado no IV Simpósio Brasileiro de Educação em Computação (EduComp 2024), intitulado “Uma Proposta de Instrumento Avaliativo para Identificar Habilidades do Pensamento Computacional por meio da Computação Física”, DOI: <https://doi.org/10.5753/educomp.2024.237350>.

Referências

- ArmEducation. (2024). *Teaching with Physical Computing: Introduction to Project-Based Learning*. [Disponível em: <https://tinyurl.com/4752y973>].
- Barela, M. (2018). *Getting Started With Adafruit Circuit Playground Express: The Multipurpose Learning and Development Board with Built-In LEDs, Sensors, and Accelerometer*. Maker Média, Inc. [GS Search].
- Barros, T. T. T., Reategui, E. B., & Teixeira, A. C. (2021). Avaliando Uma Formação Em Pensamento Computacional Com Atividades Plugadas Criadas No Scratch. *Revista Tecnologias Educacionais em Rede (ReTER)*, e2–01. [GS Search].
- BBC, L. (2014). Introduction to Computational Thinking. [Disponível em: <https://bit.ly/42IqCJr>].
- Bentes, J., Flores, E., Guedes, A., Freitas, M. L., Costa-Junior, A. d. O., & Anglada-Rivera, J. (2024). Computação Física e Pensamento Computacional - Cidades Automatizadas: Uma Proposta de Livro Didático para o 7º Ano. *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 3222–3233. <https://doi.org/10.5753/sbie.2024.244810> [GS Search].
- Bernhardt, C. (2016). *Turing's vision: the birth of computer science*. MIT Press. [GS Search].
- Blum, J. (2019). *Exploring Arduino: tools and techniques for engineering wizardry*. John Wiley & Sons. [GS Search].
- Brackmann, C. P. (2017). *Desenvolvimento do Pensamento Computacional através de atividades desplugadas na Educação Básica. 2017. 226 f* [tese de dout., Tese (Doutorado em Informática na Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. [GS Search].

- Brasil. (2018). Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Ministério da Educação. [Disponível em: <https://tinyurl.com/ytakapk9>].
- Brasil. (2019). Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial de Professores para a Educação Básica. Resolução CNE/CP Nº 2, de 20 de dezembro de 2019. [Disponível em: <https://bit.ly/3ij42Ci>].
- Brasil. (2022a). Normas sobre Computação na Educação Básica – BNCC Computação. Conselho Nacional de Educação. [Disponível em: <https://bit.ly/3H2pIU7>].
- Brasil. (2022b). Parecer CNE/CEB nº 2/2022, aprovado em 17 de fevereiro de 2022. [Disponível em: <https://bit.ly/3Zy154o>].
- Brasil. (2023). Política Nacional de Educação Digital (PNED). Lei Nº 14.533, de 11 de janeiro de 2023. [Disponível em: <https://bit.ly/3kEmfis>].
- Brasil. (2024a). Despacho de 23 de Maio de 2024. Ministério da Educação/Gabinete do Ministro. [Disponível em: <https://tinyurl.com/397h8jf8>].
- Brasil. (2024b). Parecer CNE/CP Nº: 4/2024. Conselho Nacional de Educação/Conselho Pleno. Ministério da Educação. [Disponível em: <https://tinyurl.com/yh5s6axf>].
- Brasil. (2024c). Resolução CNE/CP Nº 4, de 29 de maio DE 2024. Ministério da Educação. [Disponível em: <https://tinyurl.com/yc68nnus>].
- Cavalcante, M. A., & Santos, E. M. F. (2021). Eletrônica Criativa: Uma estratégia metodológica para o Ensino e Aprendizagem de conceitos de eletricidade e/ou eletrônica na modalidade Híbrida de Ensino: Introdução. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0188> [GS Search].
- Code.Org. (2018). Curriculum Guide - 2018-2019. Computer Science Fundamentals. [Disponível em: <https://tinyurl.com/5xy2jhc2>].
- Costa-Junior, A. d. O., Guedes, E. B., Lima e Silva, J. P. F., & Anglada-Rivera, J. (2024). Developing Computational Thinking in Middle School with an Educational Robotics Resource. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 110(2), 49. <https://doi.org/10.1007/s10846-024-02082-7> [GS Search].
- Costa-Junior, A. d. O., & Anglada-Rivera, J. (2022a). O Pensamento Computacional como Objeto de Estudo na Formação Inicial de Professores em Pesquisas de Doutorado: uma Revisão Sistemática. *Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica*, 2(22), e13692–e13692. <https://doi.org/10.15628/rbept.2022.13692> [GS Search].
- Costa-Junior, A. d. O., & Anglada-Rivera, J. (2022b). *Pensamento Computacional: Uma revisão sistemática da literatura sobre a formação inicial de professores*. (In: Cristiana Barcelos da Silva, Glaucio Martins da Silva Bandeira, Patrícia Gonçalves de Freitas (Org.). Diálogos em educação: olhares multidisciplinares sobre a aprendizagem., Vol. 2). e-Publicar. <https://doi.org/10.47402/ed.ep.c2022217824440>
- Costa-Junior, A. d. O., & Anglada-Rivera, J. (2022c). Pensamiento Computacional: Reflexiones sobre la Formación Inicial Docente en Brasil. *Memorias del Seminario Iberoamericano de Pensamiento Computacional*. México: Xalapa – Veracruz. [<https://tinyurl.com/ye25yx23>].
- Costa-Junior, A. d. O., & Anglada-Rivera, J. (2023a). *Pensamento Computacional: O que os acadêmicos de licenciatura sabem?* (In: Ana Cláudia R. de Souza; Iandra M. W. da Silva Coelho (Orgs.). Práticas de formação docente e alternativas mediadoras para o ensino-aprendizagem no contexto tecnológico). Pontes Editores. [<https://tinyurl.com/2j8x6bu3>].
- Costa-Junior, A. d. O., & Anglada-Rivera, J. (2023b). Pensamiento Computacional: Reflexiones sobre la formación inicial docente en Brasil. Em AmexComp (Ed.), *Pensamiento*

- Computacional en Iberoamérica*. Academia Mexicana de Computación. [Disponível em: <https://tinyurl.com/4aj7z3e4>].
- Costa-Junior, A. d. O., & Anglada-Rivera, J. (2024a). BNCC Computação: O que os acadêmicos de licenciatura precisam saber sobre o Pensamento Computacional? *Anais do XXXII Workshop sobre Educação em Computação*, 878–891. <https://doi.org/10.5753/wei.2024.2327> [GS Search].
- Costa-Junior, A. d. O., & Anglada-Rivera, J. (2024b). O Pensamento Computacional no Processo de Ensino e Aprendizagem da Física: Uma Revisão Sistemática. *Anais do XXXII Workshop sobre Educação em Computação*, 525–540. <https://doi.org/10.5753/wei.2024.2273> [GS Search].
- Costa-Junior, A. d. O., & Anglada-Rivera, J. (2024c). Uma Proposta de Instrumento Avaliativo para Identificar Habilidades do Pensamento Computacional por meio da Computação Física. *Anais do IV Simpósio Brasileiro de Educação em Computação*, 314–324. <https://doi.org/10.5753/educomp.2024.237350> [GS Search].
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2021). *Projeto de pesquisa-: Métodos qualitativo, quantitativo e misto* (5ª ed.). Penso Editora. [GS Search].
- Csizmadia, A., Curzon, P., Dorling, M., Humphreys, S., Ng, T., Selby, C., & Woollard, J. (2015). Computational thinking - A guide for teachers. [GS Search].
- CSTA-ISTE. (2011). Computational Thinking - Teacher resources. 2a. ed. Computer Science Teachers Association (CSTA) and the International Society for Technology in Education (ISTE). [Disponível em: <https://bit.ly/3qsKmDo>].
- Culkin, J., & Hagan, E. (2019). *Aprenda eletrônica com Arduino: Um guia ilustrado de eletrônica para iniciantes*. Novatec Editora. [GS Search].
- Cutumisu, M., Adams, C., & Lu, C. (2019). A scoping review of empirical research on recent computational thinking assessments. *Journal of Science Education and Technology*, 28(6), 651–676. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09799-3> [GS Search].
- DesPortes, K. S. (2018). *Physical computing education: Designing for student authorship of values-based learning experiences* [tese de dout., Georgia Institute of Technology]. [GS Search].
- Dos Santos, B. B., & Falcão, T. P. (2024). Pensamento computacional na formação inicial de professores. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, 22(1), 196–206. <https://doi.org/10.22456/1679-1916.141547> [GS Search].
- FieldsOfCS. (2023). *Physical Computing - Robotics - Processors and Chips*. CSforALL. [Disponível em: <https://tinyurl.com/yjee3vjh>].
- Flores, E., Guedes, A., Bentes, J., Freitas, M. L., Costa-Junior, A. d. O., & Anglada-Rivera, J. (2024). Computação Física e Pensamento Computacional - Minha Casa Automatizada: Uma Proposta de Livro Didático para o 6º Ano. *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 3160–3172. <https://doi.org/10.5753/sbie.2024.244657> [GS Search].
- Foundation, R. P. (2021). *The Big Book of Computing Pedagogy*. Raspberry Pi Foundation. [Disponível em: <https://tinyurl.com/6pps72vf>].
- França, R. S. (2020). *Uma abordagem pedagógica incorporada para o desenvolvimento do pensamento computacional no ensino fundamental*. [tese de dout., Ciência da Computação) – Universidade Federal de Pernambuco]. [GS Search].

- França, R. S., & Tedesco, P. (2019). Sertão.Bit: Um livro-jogo de difusão do pensamento computacional. *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, 278–287. <https://doi.org/10.5753/cbie.webie.2019.278> [GS Search].
- Freitas, M. L., Flores, E., Guedes, A., Bentes, J., Costa-Junior, A., & Anglada-Rivera, J. (2024). Computação Física e Pensamento Computacional - Sociedade Sustentável: Uma Proposta de Livro Didático para o 8º Ano. *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 3234–3245. <https://doi.org/10.5753/sbie.2024.244813> [GS Search].
- Geddes, M. (2017). *Arduino Project Handbook, Volume 2: 25 Simple Electronics Projects for Beginners*. No Starch Press. [GS Search].
- Gil, A. C. (2021). *Métodos e técnicas de pesquisas social*. 7. ed. [3. reimpressão] São Paulo: Atlas.
- Gorgônio, F. L., & Vale, K. M. (2023). Introdução ao Pensamento Computacional no Ensino Fundamental: Um Relato de Experiência em Escolas Distritais. *Anais do VIII Congresso sobre Tecnologias na Educação*, 463–466. <https://doi.org/10.5753/ctrle.2023.232962> [GS Search].
- Gouws, L. A., Bradshaw, K., & Wentworth, P. (2013). Computational thinking in educational activities: an evaluation of the educational game light-bot. *Proceedings of the 18th ACM conference on Innovation and technology in computer science education*, 10–15. <https://doi.org/10.1145/2462476.2466518> [GS Search].
- Grover, S., & Pea, R. (2013). Computational thinking in K–12: A review of the state of the field. *Educational researcher*, 42(1), 38–43. <https://doi.org/10.3102/0013189X12463051> [GS Search].
- Grover, S., Pea, R., & Cooper, S. (2015). Designing for deeper learning in a blended computer science course for middle school students. *Computer science education*, 25(2), 199–237. <https://doi.org/10.1080/08993408.2015.1033142> [GS Search].
- Guedes, A. d. J., Flores, E., Bentes, J., Freitas, M., Costa-Junior, A. d. O., & Anglada-Rivera, J. (2025). Computação Física e Pensamento Computacional - Indústria 4.0: Uma Proposta de Livro Didático para o 9º Ano. *Anais do V Simpósio Brasileiro de Educação em Computação*, 624–638. <https://doi.org/10.5753/educomp.2025.4900> [GS Search].
- Hodges, S., Sentance, S., Finney, J., & Ball, T. (2020). Physical computing: A key element of modern computer science education. *Computer*, 53(4), 20–30. <https://doi.org/10.1109/MC.2019.2935058> [GS Search].
- Keller, J. M. (2009). *Motivational design for learning and performance: The ARCS model approach*. Springer Science & Business Media. [GS Search].
- Kendall, K. E., & Kendall, J. E. (2019). *Systems Analysis and Design*. 3th ed. Pearson. [GS Search].
- Kurniawan, A. (2017). *Arduino Programming with .NET and Sketch*. Apress. [GS Search].
- Lakatos, E. M., & Marconi, M. d. A. (2017). *Fundamentos de metodologia científica*. 8. ed. São Paulo: Atlas.
- Libâneo, J. C. (2012). A persistente dissociação entre o conhecimento pedagógico e o conhecimento disciplinar na formação de professores: problemas e perspectivas. *Anais da 35ª Reunião da ANPED*. [GS Search].
- Liukas, L. (2015). *Hello Ruby: adventures in coding* (Vol. 1). Macmillan. [GS Search].
- Loorbach, N., Peters, O., Karreman, J., & Steehouder, M. (2015). Validation of the Instructional Materials Motivation Survey (IMMS) in a self-directed instructional setting aimed at wor-

- king with technology. *British journal of educational technology*, 46(1), 204–218. <https://doi.org/10.1111/bjet.12138> [GS Search].
- Margolis, M., Jepson, B., & Weldin, N. R. (2020). *Arduino cookbook: recipes to begin, expand, and enhance your projects*. O'Reilly Media. [GS Search].
- Maximova, A. (2024). Teaching Programming through Multi-Context Physical Computing. Em *Proceedings of the 2024 on Innovation and Technology in Computer Science Education V. 2* (pp. 850–851). ITiCSE 2024. <https://doi.org/10.1145/3649405.3659482> [GS Search].
- Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). *Quantum computation and quantum information*. Cambridge University Press. [GS Search].
- O'Sullivan, D., & Igoe, T. (2004). *Physical computing: sensing and controlling the physical world with computers*. Course Technology Press. [GS Search].
- Panaggio, B. Z., Carbajal, M. L., & Baranauskas, M. C. C. (2019). Programação Tangível no Mundo Físico: TaPrEC + Sphero. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 27(3), 32–51. <https://doi.org/10.5753/rbie.2019.27.03.32> [GS Search].
- Papert, S. A. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic books. [GS Search].
- Papert, S. A., & Harel, I. (1991). Situating constructionism. *constructionism*, 36(2), 1–11. [GS Search].
- Papert, S. A., & Solomon, C. (1971). Twenty Things to Do With a Computer. Artificial Intelligence Memo Number 248. ERIC. [GS Search].
- Piro, G. (2017). La robotica educativa: luci e ombre nel panorama europeo e italiano. *Pedagogika*, 11(1), 8–18. [GS Search].
- Przybylla, M., & Romeike, R. (2017). The nature of physical computing in schools: Findings from three years of practical experience. *Proceedings of the 17th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*, 98–107. <https://doi.org/10.1145/3141880.3141889> [GS Search].
- Raabe, A., & Cavalcante, E. d. A. (2024). Revisão sistemática sobre a formação professores da educação básica para ensinar Computação. *Informática na educação: teoria & prática*, 27(2). <https://doi.org/10.22491/1982-1654.140269> [GS Search].
- Raabe, A., Viana, C., & Calbusch, L. (2020). CT Puzzle Test: Em direção a uma avaliação interativa do pensamento computacional. *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, 1683–1692. <https://doi.org/10.5753/cbie.sbie.2020.1683> [GS Search].
- Resnick, M., Martin, F., Berg, R., Borovoy, R., Colella, V., Kramer, K., & Silverman, B. (1998). Digital manipulatives: new toys to think with. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, 281–287. <https://doi.org/10.1145/274644.274684> [GS Search].
- Román-Gonzalez, M., Pérez-González, J. C., & Jiménez-Fernández, C. (2015). Test de Pensamiento Computacional: diseño y psicometría general. *III Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Competitividad (CINAIC 2015)*, 1–6. [GS Search].
- Santana, B. L., Chavez, C. v. F. G., & Bittencourt, R. A. (2021). Uma Definição Operacional para Pensamento Computacional. *Anais do Simpósio Brasileiro de Educação em Computação*, 93–103. <https://doi.org/10.5753/educomp.2021.14475> [GS Search].
- Santos, C., Volz, R., & Silva, D. (2019). Explorando a Tangibilidade como Estímulo ao Desenvolvimento do Pensamento Computacional. *Anais do XXV Workshop de Informática na Escola*, 39–48. <https://doi.org/10.5753/cbie.wie.2019.39> [GS Search].

- Seehorn, D., Carey, S., Fuschetto, B., Lee, I., Moix, D., O’Grady-Cunniff, D., Owens, B. B., Stephenson, C., & Verno, A. (2011). *CSTA K–12 Computer Science Standards: Revised 2011*. ACM. [GS Search].
- Selby, C., & Woollard, J. (2013). Computational thinking: the developing definition. [GS Search].
- Silva, I., França, R., & Pontual Falcão, T. (2021). Recursos para o Desenvolvimento do Pensamento Computacional: da Identificação à Avaliação. *Revista Tecnologias na Educação*, 13(35). [GS Search].
- Sipser, M. (2012). *Introduction to the Theory of Computation. Third Edition*. Cengage Learning. [GS Search].
- Song, S. H., & Keller, J. M. (2001). Effectiveness of motivationally adaptive computer-assisted instruction on the dynamic aspects of motivation. *Educational technology research and development*, 49(2), 5–22. [GS Search].
- Tanenbaum, A. S. (2016). *Structured computer organization. 6th ed*. Pearson India. [GS Search].
- Wing, J. M. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215> [GS Search].
- Wing, J. M. (2017). Computational Thinking’s influence on research and education for all. *Italian Journal of Educational Technology*, 25(2), 7–14. <https://doi.org/10.17471/2499-4324/922> [GS Search].
- Zanetti, H. A. P., Borges, M. A. F., & Ricarte, I. L. M. (2023). ComFAPOO: Método de Ensino de Programação Orientada à Objetos Baseado em Aprendizagem Significativa e Computação Física. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 31, 01–30. <https://doi.org/10.5753/rbie.2023.2851> [GS Search].
- Zhong, B., Wang, Q., Chen, J., & Li, Y. (2016). An exploration of three-dimensional integrated assessment for computational thinking. *Journal of Educational Computing Research*, 53(4), 562–590. <https://doi.org/10.1177/0735633115608444> [GS Search].