



Computação Criativa na Educação Básica: uma proposta para promover a Ciência da Computação na formação de professores

Cris Elena Padilha da Silva¹, Tiago Thompsen Primo¹



<https://doi.org/10.36557/2009-3578.2025v11n2p6915-6932>

Artigo recebido em 7 de Setembro e publicado em 7 de Novembro de 2025

ARTIGO ORIGINAL

RESUMO

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) insere a Computação como componente essencial na Educação Básica, exigindo novas abordagens pedagógicas e a formação de professores capazes de integrar seus conceitos de forma significativa. Este artigo apresenta a metodologia MERCI, uma proposta de formação continuada para professores atuarem nos Clubes de Robótica e Computação Criativa (CRCC). A proposta foi desenvolvida e aplicada na rede (oculto para revisão). Fundamentada nos princípios do Construcionismo, Pensamento Computacional e Aprendizagem Criativa, a formação foi organizada em oito workshops que aliam teoria e prática. Os resultados indicam que os professores participantes desenvolveram habilidades da BNCC relacionadas à Computação e demonstraram maior confiança e engajamento na implementação dos CRCC. Observou-se ainda impacto positivo no ambiente escolar, maior valorização docente e percepção de interdisciplinaridade nas atividades. A metodologia utilizada para análise dos dados baseia-se na análise de conteúdo conforme os princípios propostos por Bardin.

Palavras-chave: aprendizagem criativa, formação de professores, computação, educação básica



A proposal for training in Computing aimed at Basic Education teachers

ABSTRACT

The National Common Curricular Base (BNCC) includes Computing as an essential component of Basic Education, requiring new pedagogical approaches and the training of teachers capable of integrating its concepts meaningfully. This article presents the MERCI methodology, a continuing education proposal for teachers working in Robotics and Creative Computing Clubs (CRCC). The proposal was developed and implemented online (hidden for review). Based on the principles of Constructionism, Computational Thinking, and Creative Learning, the training was organized into eight workshops that combine theory and practice. The results indicate that participating teachers developed BNCC-related Computing skills and demonstrated greater confidence and engagement in implementing CRCC. A positive impact on the school environment was also observed, with increased teacher appreciation and a perception of interdisciplinarity in the activities. The methodology used for data analysis is based on content analysis according to the principles proposed by Bardin.

Keywords: creative learning, teacher training, computing, basic education

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



INTRODUÇÃO

Na era digital, as Ciências da Computação não se limitam a ser uma ferramenta, mas se tornam um componente essencial para formar cidadãos com pensamento crítico, criativo e colaborativo. Sua aplicação vai além da programação, sendo uma abordagem para resolver problemas complexos e desenvolver habilidades fundamentais que permitem enfrentar os desafios contemporâneos. No entanto, para que essas competências sejam efetivamente desenvolvidas desde a Educação Básica, é indispensável que o ensino da Computação seja integrado aos currículos escolares de forma estruturada e interdisciplinar.

As novas diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o ensino de Computação exigem mais do que uma atualização dos currículos. Elas demandam a formação de professores capacitados para ensinar os conceitos de Computação, conectando diferentes áreas do conhecimento e tornando o aprendizado mais relevante para os alunos. Nesse cenário, o desafio de preparar educadores para lidar com esses novos conteúdos se torna fundamental, especialmente em um país onde muitas regiões ainda carecem de recursos educacionais adequados (MEC, 2024a, 2024b).

De acordo com dados do Censo Escolar 2023, apenas 37,4% das escolas públicas do Brasil possuem laboratório de informática. A situação ainda é mais desigual quando analisamos por regiões: no sudeste, 50% das escolas contam com este recurso, enquanto no norte essa proporção cai para 18,7%. Além disso, 40% dos professores relatam nunca ter recebido nenhuma formação para integrar tecnologia em suas práticas pedagógicas (INEP, 2023). A infraestrutura tecnológica apresenta ainda grandes desigualdades entre as regiões do Brasil. Somada a isso, a falta de formação continuada para os professores representa uma barreira significativa à implantação equitativa da computação no currículo da Educação Básica.

Diante dessa realidade, foi elaborada a MERCI, com objetivo de desenvolver uma metodologia de formação de professores para atuarem nos Clubes de Robótica e Computação Criativa (CRCC), com ênfase na implantação e no acompanhamento das atividades durante o primeiro ano de funcionamento. Baseia-se nos referenciais teóricos do Construcionismo (PAPERT, 1985), Pensamento Computacional (WING, 2006)

e Aprendizagem Criativa (RESNICK, 2020).

Iniciativas semelhantes vêm sendo desenvolvidas em diferentes contextos educacionais, como relatam Pereira, Portella e Ferri (2023) destacando o potencial dos clubes escolares para o desenvolvimento do pensamento computacional a partir de projetos colaborativos e interdisciplinares, promovendo a cultura *maker* no ambiente escolar. Outro exemplo é o trabalho de Gondim, Silva, Vasconcelos, Santana e Blikstein (2023) no qual investigam a implementação dos laboratórios FabLearn na rede municipal de Sobral utilizados nas aulas de ciências, seguindo a aprendizagem “mão-na-massa” com uma abordagem construcionista.

A metodologia MERCI foi desenvolvida visando integrar a Computação de forma criativa e significativa no cotidiano escolar, por meio da formação continuada de professores da Educação Básica para atuarem nos CRCC. Ela contribui com a integração da Computação no contexto escolar formando professores de diversas áreas do conhecimento, como Linguagens, Matemática, Ciências da Natureza, Ciências Humanas e Ensino Religioso, que já atuam na Educação Básica. Esta metodologia foi aplicada junto às escolas da rede (oculto para revisão). Este trabalho garantiu todos os cuidados éticos necessários para sua realização e contou com a autorização de todos os envolvidos na pesquisa.

Este trabalho está estruturado em 4 seções. A Seção 1 apresenta a Introdução. A seção 2 detalha o desenvolvimento da metodologia MERCI, destacando seus fundamentos teóricos, os desafios enfrentados na formação docente e a estrutura dos workshops realizados. A Seção 3 expõe os resultados da aplicação da metodologia, com base na análise dos dados coletados junto aos professores participantes, evidenciando impactos na prática pedagógica, no engajamento dos alunos e na valorização docente.

Por fim, a Seção 4 traz as considerações finais, apontando contribuições da proposta para a integração da Computação no currículo da Educação Básica e sugerindo possibilidades de continuidade e ampliação da metodologia em outros contextos educacionais.

METODOLOGIA

A proposta MERCI é caracterizada como uma metodologia por reunir um

conjunto estruturado de princípios, etapas e procedimentos sistemáticos voltados à formação de professores e à inserção da Computação no ambiente escolar. De acordo com Lakatos e Marconi (2003), uma metodologia consiste em um "conjunto de processos sistemáticos utilizados na busca de conhecimento ou na aplicação prática de conhecimentos já adquiridos, voltados para a solução de problemas específicos". Neste sentido, MERCI atende a esses critérios ao ser planejada para atender os seguintes desafios:

1. Como estruturar uma metodologia de formação de professores, para a inserção da Computação na Educação Básica, que seja flexível e acessível aos professores das escolas?

2. Como sensibilizar a secretaria municipal de educação para apoiar a proposta?

3. Que grupo de professores poderia realizar a formação, sendo que muitos estão trabalhando com sua carga horária de trabalho completa?

4. Como motivar estes professores a participarem em um projeto que envolve conteúdos que não fizeram parte de sua formação?

5. Como orientar estes professores para a implantação do projeto?

6. Quais alternativas seriam necessárias para manter estes professores motivados e darem continuidade ao trabalho?

7. O projeto desenvolve novas habilidades e competências com um olhar alinhado à BNCC?

A partir destes questionamentos iniciais foram elaboradas etapas específicas para a construção da metodologia para a formação e acompanhamento dos professores no funcionamento dos clubes, apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Etapas para formação dos professores para atuarem nos CRCC.



Fonte: autor

A primeira etapa da metodologia MERCI consistiu na definição do universo de participantes e na formalização do convite. Após a apresentação da proposta à Secretaria Municipal de Educação, o critério de inclusão para a formação foi estabelecido: professores que já atuam nos Laboratórios de Informática Educacional. A escolha se deu por estes professores já possuírem carga horária específica neste espaço e terem a opção de adaptar agendas. Não ocasionando nenhuma demanda de professores dispensada da sala de aula.

Na segunda etapa foi realizado o workshop de sensibilização, delineado para abordar o desafio central de motivação dos professores a participarem da formação para os CRCC utilizando conceitos diferentes da área de formação de cada professor. Durante o workshop foi apresentada a proposta de forma clara, os conceitos da computação envolvidos e a abordagem criativa das atividades realizadas no clube.

Na terceira etapa foram organizados os workshops para a formação dos professores para atuarem nos CRCC. Foram organizados em módulos, cada um elaborado para abranger diferentes conceitos da Computação na Educação Básica. Estes conceitos estão previstos na BNCC, e seguem a abordagem da Aprendizagem Criativa, por meio de atividades práticas e lúdicas. Os professores participam de encontros de formação e, posteriormente, aplicam às atividades nos CRCC com seus alunos. Os workshops

elaborados estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Workshops para a formação de professores atuarem nos CRCC.

Etapas	Atividade	Descrição
1ºWorkshop	Inspirar professores com atividades de imersão na metodologia.	Inspirar professores dos laboratórios de informática a formar um CRCC na escola, apresentando a metodologia e conceitos da Ciência da Computação propostos na BNCC. Formação de um grupo de WhatsApp para suporte contínuo, com um supervisor responsável por esclarecer dúvidas, motivar os professores com dicas e projetos.
2ºWorkshop	Passo a passo para começar.	Apresentação de um E-book, elaborado para esta formação com todos os passos para começar um CRCC na escola e projetos orientadores para serem desenvolvidos e servirem de motivação para os professores. o Ebook foi distribuído sem custo para o município.
3ºWorkshop	Projetos com Scratch e Aprendizagem Criativa.	Preparar os professores para atividades no Scratch, abordando Aprendizagem Criativa e conceitos de Ciência da Computação.
4ºWorkshop 5ºWorkshop	Compartilhamento das atividades e participação em eventos. Robótica com Sucata e	Professores compartilham atividades realizadas, pontos positivos, dificuldades e sugestões. Também analisam a participação em eventos. Apresentação de projetos de robótica com sucata e introdução ao pensamento computacional com conceitos de Ciência da

	Pensamento Computacional.	Computação.
6°Workshop	Atividades com Micro Bit.	Propostas de atividades utilizando a placa Micro Bit, distribuídas a cada professor para desenvolvimento prático. A placa foi doada pela empresa (oculto para revisão).

7°Workshop	Introdução ao Tinkercad e Arduino.	Apresentação da plataforma Tinkercad e introdução às simulações com a placa Arduino para desenvolvimento de projetos. Cada professor recebeu um kit com a placa arduíno e materiais para desenvolver projetos de computação criativa. O kit foi criado para a formação e financiado pela Secretaria de Educação do Município, assim pertence a escola de atuação do professor.
8°Workshop	Encontro de Encerramento.	Apresentação e avaliação final das atividades realizadas ao longo do ano. O encontro acontece com apresentação de trabalhos realizados pelos alunos e compartilhamento de experiências.

Para a etapa 4 foi organizado o grupo de WhatsApp, funcionando como uma rede de apoio e compartilhamento das atividades, O grupo foi formado no primeiro workshop, para manter os professores conectados com a proposta.

A etapa 5 foi organizada nos 8 workshops, garantindo o alinhamento da proposta em desenvolver habilidades e competências descritas no complemento da BNCC computação.

Esta metodologia foi elaborada para formar professores de diversas áreas do conhecimento para implantar clubes de CRCC em suas escolas de atuação e orientar a dinâmica de funcionamento dos clubes. A abordagem foi pensada para proporcionar aos professores a confiança necessária para aplicar as atividades. A metodologia foi estruturada para ser realizada ao longo de um ano letivo, em formato de formação continuada, incluindo a elaboração de um Ebook com orientações para criação do CRCC na escola e um Kit de computação criativa para desenvolver projetos durante um ano de funcionamento.

Os CRCC são organizados nas escolas, que possuem a liberdade em decidir pela sua implementação, e conta com a presença de um professor responsável para formar e atuar no clube. Esse professor participa da formação MERCI. As atividades ocorrem no contraturno, não interferindo no horário das aulas. Os alunos interessados em participar realizam sua inscrição. Quando o número de inscritos é superior ao número de vagas, a escola realiza o sorteio das vagas seguindo com uma lista de espera.

A duração dos encontros nos clubes varia de uma a duas aulas semanais, com a participação aproximada de 15 alunos. Este número pode ser ajustado conforme a realidade de cada escola. Participam do clube alunos com idade a partir de 8 anos.

O projeto contou com o apoio institucional da Secretaria Municipal de Educação do Município, que reconheceu o potencial da iniciativa para a inovação pedagógica e para a inserção da Computação na Educação Básica. A secretaria viabilizou a participação dos professores, liberando-os dentro de sua carga horária para a formação, além de disponibilizar o uso dos laboratórios de informática das escolas, permitindo a organização da agenda para o funcionamento do CRCC. Também financiou a aquisição do kit de computação criativa para as escolas com professores participantes da formação, mostrados na figura 2.

Figura 2 - Ebook e kit de computação criativa criados para a formação dos professores para atuarem nos CRCC.



a) Ebook



b) Componentes do Kit



c) Kit de computação criativa

Fonte: autor

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A formação MERCI foi implantada no ano de 2022, e contou com a participação de 18 professores da rede (oculto para revisão). A metodologia utilizada para análise dos dados baseia-se na análise de conteúdo conforme os princípios propostos por Bardin (2016).

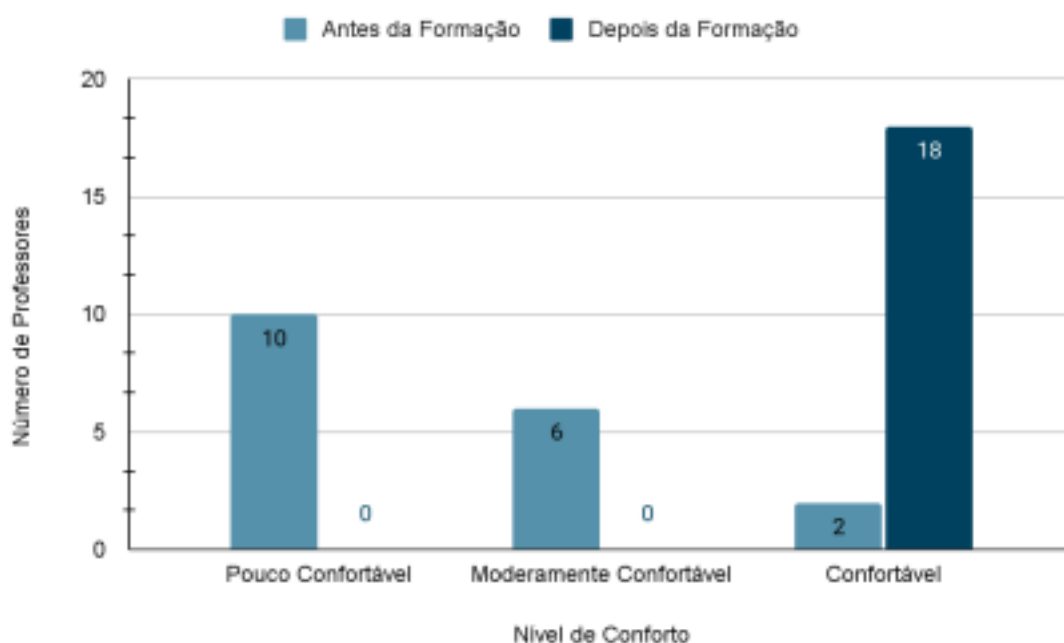
Para a análise do impacto desta formação ao longo do período, foram realizados questionários com os professores durante e ao final da formação. Os professores participaram da formação e implementaram os CRCC nas suas escolas de atuação. Os dados encontrados nos questionários foram organizados seguindo os indicadores de:

formações, engajamento, interdisciplinaridade, impacto no ambiente escolar, sustentabilidade e ampliação do número dos clubes.

Considerando um total de 18 professores que responderam este questionário, temos professores com formação em Pedagogia (6), Matemática (5), Artes (1), Estudos Sociais (2), Física (1), Letras (1) e Educação Física (1). Todos com licenciatura, atuando como professores nas disciplinas de Matemática (5), Introdução à Computação (5), Séries Iniciais (3), Linguagens (2), Ciências da Natureza (2) e Ciências Humanas (2).

O Gráfico 1 mostra o impacto positivo no indicador formação, observando o nível de conforto dos professores em formar um CRCC, antes e depois da formação. Antes da formação, 10 professores indicaram sentir-se pouco confortáveis, 6 professores moderadamente confortáveis e 2 professores confortáveis, para trabalhar com o CRCC. Sendo importante destacar que os 2 professores que se mostraram confortáveis já trabalhavam nesta área. Após as formações todos os professores indicaram estar confortáveis em trabalhar com o CRCC.

Gráfico 1 - Nível de conforto dos professores em formar um CRCC.



Fonte: autor

A formação permitiu que os professores desenvolvessem habilidades descritas na BNCC Computação, apresentadas no Quadro 1. Além de explorar a abordagem da

Aprendizagem Criativa com plataformas como Scratch, Arduino, MicroBit e Eletrônica Básica.

Quadro 1 - Habilidades da BNCC em Computação desenvolvidas pelos professores a partir da formação MERCI.

Eixos	Objeto de Conhecimento	Habilidades
Pensamento Computacional	Algoritmos Estratégias de solução de problemas	<p>(EF15CO02) Construir e simular algoritmos, de forma independente ou em colaboração, que resolvam problemas simples e do cotidiano com uso de sequências, seleções condicionais e repetições de instruções.</p> <p>(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.</p> <p>(EF06CO02) Elaborar algoritmos que envolvam instruções sequenciais, de repetição e de seleção usando uma linguagem de programação.</p> <p>(EF07CO03) Construir soluções computacionais de problemas de diferentes áreas do conhecimento, de forma individual e colaborativa, selecionando as estruturas de dados e técnicas adequadas, aperfeiçoando e articulando saberes escolares.</p> <p>(EF09CO03) Usar autômatos para descrever comportamentos de forma abstrata automatizando-os através de uma linguagem de programação baseada em eventos.</p>

Cultura Digital	Uso de tecnologias computacionais Uso de artefatos computacionais	(EF05CO011) Identificar a adequação de diferentes tecnologias computacionais na resolução de problemas. (EF07CO10) Identificar os impactos ambientais do descarte de peças de computadores e eletrônicos, bem como sua relação com a sustentabilidade. (EF07CO11) Criar, documentar e publicar, de forma individual ou colaborativa, produtos (vídeos, podcasts, websites) usando recursos de tecnologia. (EF06CO10) Analisar o consumo de tecnologia na sociedade, compreendendo criticamente o caminho da produção dos recursos bem como aspectos ligados à obsolescência e à sustentabilidade. (EF15CO08) Reconhecer e utilizar tecnologias computacionais para pesquisar e acessar informações, expressar-se crítica e criativamente e resolver problemas.
Mundo Digital	Funcionamento de dispositivos computacionais	(EF15CO06) Conhecer os componentes básicos de dispositivos computacionais, entendendo os princípios de seu funcionamento.

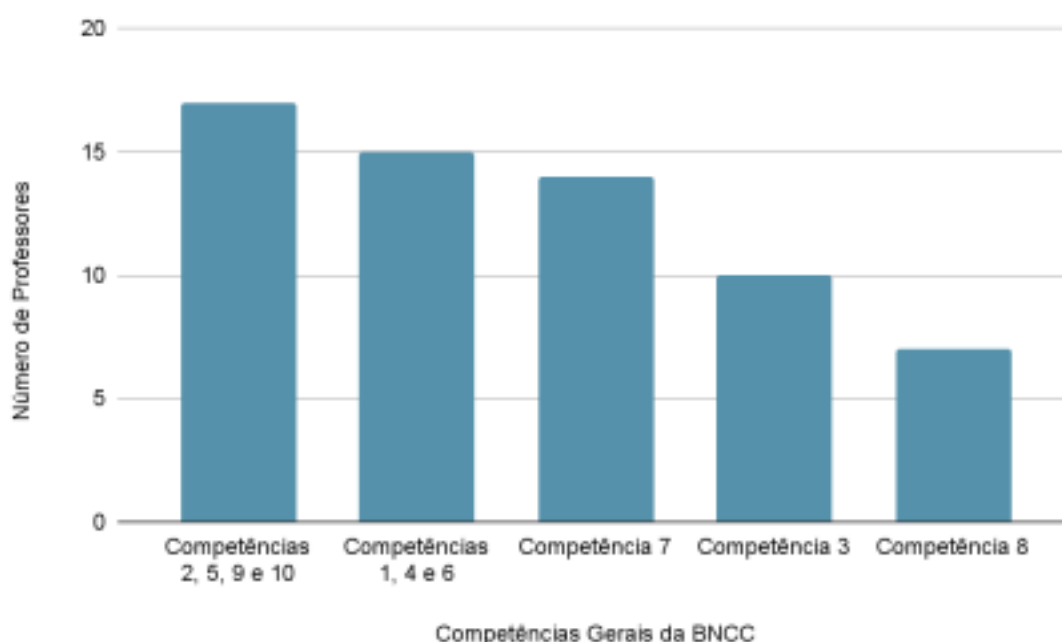
O indicador engajamento foi observado nos alunos quando todos professores consideram que seus alunos estavam muito interessados ou interessados nas atividades do CRCC. O interesse por atividades como programação, criação de jogos e montagem de robôs revelou o potencial dos CRCC como espaços de aprendizagem lúdica, significativa e autêntica.

Observamos um grande engajamento dos professores que participaram da formação. Todos os 18 educadores que iniciaram a formação, concluíram o percurso e implementaram os CRCC em suas escolas, demonstrando comprometimento e interesse em inovar suas práticas pedagógicas.

A interdisciplinaridade foi um dos elementos destacados nos relatos dos professores participantes da formação MERCI. As atividades desenvolvidas nos CRCC demonstraram um potencial positivo para integrar conteúdos de diferentes áreas do conhecimento, como Matemática, Ciências, Artes, Linguagens e Geografia. Temos que

17 professores perceberam que seus alunos apresentam um melhor desempenho em outras disciplinas e desenvolvem habilidades gerais descritas na BNCC, como mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2 - Competências Gerais da BNCC observadas pelos professores nas atividades do CRCC.

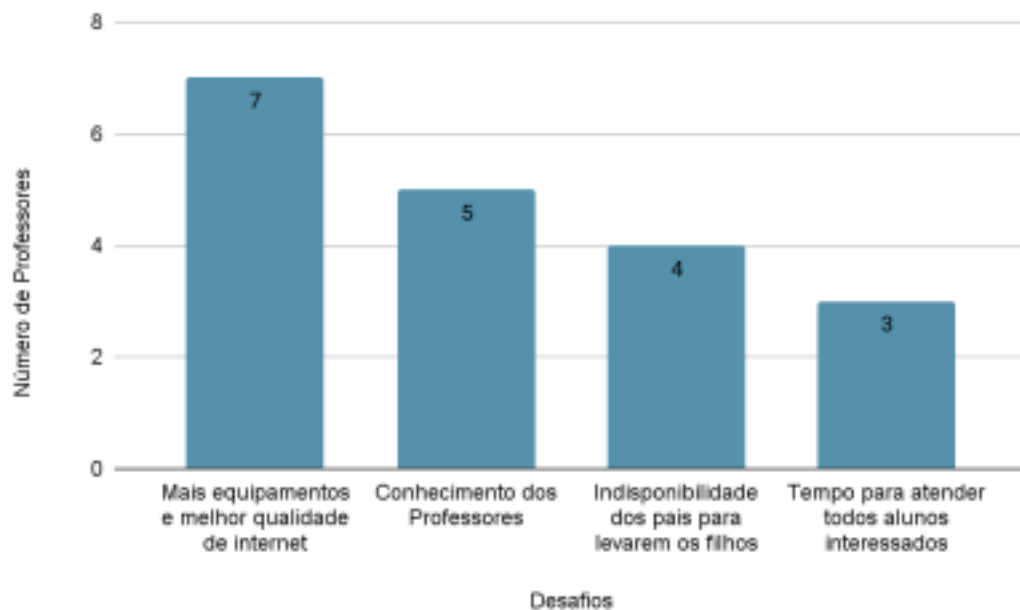


Fonte: autor

O impacto no ambiente escolar pode ser percebido quando 15 professores destacam que ser líder de um CRCC os fez sentir-se mais valorizados na escola. Isso sugere um reconhecimento e valorização do professor na comunidade escolar, que desenvolve projetos que são aplicados para resolver problemas reais na escola. E 17 professores destacam que os alunos desenvolvem um sentimento de pertencimento ao ambiente escolar, desenvolvendo projetos que são apresentados para a comunidade escolar.

Pensando na sustentabilidade e ampliação do projeto nas escolas, os professores responderam a questões sobre desafios e soluções propostas. No Gráfico 3, temos os desafios encontrados pelos professores para ampliação do projeto.

Gráfico 3 - Desafios encontrados pelos professores para ampliação do projeto.



Fonte: autor

Isso reflete uma limitação comum nas escolas, a dificuldade de infra estrutura, e destaca a necessidade de políticas públicas para trazer mais investimentos em formações e infra estrutura, podendo assim aumentar o número de CRCC nas escolas e ter acesso a mais ferramentas para novas atividades dos clubes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta de metodologia MERCI pode contribuir para formar professores da Educação Básica, que estão nas escolas, para atuarem com conceitos da Computação, de forma interdisciplinar e significativa, por meio da criação e acompanhamento dos Clubes de Robótica e Computação Criativa (CRCC). Ao estruturar uma metodologia formativa contínua, alinhada à BNCC e fundamentada nos princípios da Aprendizagem Criativa, foi possível não apenas formar os professores de diversas áreas, mas também transformar suas práticas pedagógicas e ampliar a presença da Computação nas escolas públicas.

Os dados obtidos após a formação revelam avanços significativos no nível de confiança dos professores, na adesão dos alunos, no fortalecimento do sentimento de pertencimento à escola, na valorização docente e no desenvolvimento de conhecimentos na área da Ciência da Computação. A alta taxa de conclusão da formação (100%) e a implementação efetiva dos CRCC em todas as escolas participantes demonstram o engajamento dos educadores e a viabilidade da proposta mesmo em contextos com limitações estruturais.

Além disso, a formação MERCI pode contribuir para o cumprimento de metas estratégicas da educação pública, como aquelas exigidas para o acesso aos recursos do VAAR (Valor Aluno Ano por Resultados), componente do novo Fundeb. A adesão a programas estruturados de formação continuada e o fortalecimento das competências gerais da BNCC, especialmente as ligadas à cultura digital, à resolução de problemas e à inovação pedagógica, são critérios relevantes para que os municípios se qualifiquem para o recebimento desses recursos.

A metodologia MERCI pode colaborar para a integração da Computação no currículo da Educação Básica, especialmente em redes públicas com baixa oferta de recursos tecnológicos. Sua aplicação em (oculto para revisão) serve como modelo para outros municípios, demonstrando que, com formação adequada e suporte contínuo, é possível democratizar o acesso à Computação e preparar professores e alunos para os desafios do século XXI.

Como encaminhamento para trabalhos futuros, destaca-se a necessidade de ampliar a metodologia MERCI, respondendo à demanda dos próprios professores por formações complementares e contínuas. Como desdobramento dessas ações, pretende-se desenvolver um segundo volume do e-book formativo, incluindo novos projetos.

REFERÊNCIAS

BARDIN, L. (2016). *Análise de Conteúdo* (1ª ed.). Edições 70.

GONDIM, R.; SILVA, D.; VASCONCELOS, F.; SANTANA, J.; BLIKSTEIN, P. *A implementação do laboratório Fablearn no município de Sobral: um estudo de caso sobre o uso da cultura maker no ensino de ciências no ensino fundamental*. Encontro de Ciência e Tecnologia, v. 1, p. 1–15, 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP). *Resumo técnico: Censo Escolar da Educação Básica 2023*. Brasília: INEP, nov. 2023. Disponível em: https://download.inep.gov.br/censo_escolar/resultados/2023/apresentacao_coletiva.pdf. Acesso em: nov. 2024.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Fundamentos de metodologia científica*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). *Estudo sobre o processo de implementação de tecnologias digitais*. 2024a. Disponível em: <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/implementacao/praticas/caderno-de-praticas/aprofundamentos/193-tecnologias-digitais-da-informacao-e-comunicacao-no-contexto-escolar-possibilidades>. Acesso em: nov. 2024.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). *MEC aprova parecer que define normas sobre o ensino de computação na educação básica*. 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/assuntos/noticias/2022/mec-aprova-parecer-que-define-normas-sobre-o-ensino-de-computacao-na-educacao-basica>. Acesso em: nov. 2024.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Secretaria de Educação Básica. *Resolução nº 3, de 1º de julho de 2024*. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-3-de-1-de-julho-de-2024-569627632>. Acesso em: nov. 2024.

PAPERT, S. *Logo: computadores e educação*. São Paulo: Brasiliense, 1985.

PEREIRA, R.; PORTELLA, F. O.; FERRI, M. *O desenvolvimento do pensamento computacional por meio do clube de inovadores*. In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA (WIE), 2023, João Pessoa. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023.

RESNICK, M. *Jardim de infância para a vida toda*. Porto Alegre: Penso, 2020.

WING, J. M. *Computational thinking*. *Communications of the ACM*, v. 49, n. 3, p. 33–35, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>.