

# CONHECIMENTO PEDAGÓGICO DO CONTEÚDO DE UM GRUPO DE PROFESSORES EM FORMAÇÃO INICIAL EM UMA AULA SOBRE FÍSICA DE PARTÍCULAS

## PEDAGOGICAL CONTENT KNOWLEDGE OF A GROUP OF TEACHERS IN INITIAL TRAINING IN A LESSON ON PARTICLE PHYSICS

Julien B. Minerbo<sup>1</sup>, Renan Milnitsky<sup>2</sup>, Sérgio Leal<sup>3</sup>, Ivã Gurgel<sup>4</sup>, Marcelo G. Munhoz<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Programa Interunidades de Ensino de Ciências da USP, [julienbminerbo@usp.br](mailto:julienbminerbo@usp.br)

<sup>2</sup>Programa Interunidades de Ensino de Ciências da USP, [renan.milnitsky@gmail.com](mailto:renan.milnitsky@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal do ABC, [sergio.henrique@ufabc.edu.br](mailto:sergio.henrique@ufabc.edu.br)

<sup>4</sup> Instituto de Física da Universidade de São Paulo, [gurgel@usp.br](mailto:gurgel@usp.br)

<sup>5</sup> Instituto de Física da Universidade de São Paulo, [munhoz@if.usp.br](mailto:munhoz@if.usp.br)

### Resumo

O presente trabalho é um estudo de caso que investiga o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK) de um grupo de licenciandos em física em último semestre de graduação para o ensino de Física de Partículas, utilizando o Modelo Consensual Refinado do PCK (MCR). O grupo elaborou, ministrou e avaliou uma aula com a temática de Partículas Virtuais e Detecção de Múons direcionada a alunos do Ensino Médio como parte final da componente de prática docente de uma disciplina de Física de Partículas. Como resultados, obteve-se que as bases de conhecimento docentes estão diretamente relacionadas com o currículo da licenciatura, destacando o ensino por investigação e baseado nos três momentos pedagógicos, relacionando os objetivos de ensino com a Base Nacional Comum Curricular. O PCK coletivo (cPCK) específico para o tópico de Física de Partículas está diretamente relacionado com a disciplina cursada, o PCK pessoal (pPCK) retira de suas bases de conhecimento e filtra na elaboração da aula, adaptando materiais e explicações da disciplina para um público diferente. O PCK em ação (ePCK) também é influenciado pela disciplina e pela formação anterior, fundado principalmente nos conhecimentos curricular, pedagógico e do conteúdo.

**Palavras-chave:** Conhecimento Pedagógico do Conteúdo; Ensino de Física; Física Moderna e Contemporânea; Ensino de Ciências

### Abstract

This paper is a case study that investigates the Pedagogical Content Knowledge (PCK) of a group of physics undergraduates in their final semester of undergraduate studies for the teaching of particle physics, using the Refined Consensual Model of PCK (RCM). The group planned, taught and reflected on a lesson on Virtual Particles and Muon Detection aimed at secondary school students as the final part of the teaching

practice component of a Particle Physics discipline. The results showed that the teacher's knowledge bases are directly related to the undergraduate curriculum, especially teaching by investigation and based on the three pedagogical moments, relating the teaching objectives to the National Common Curricular Base. The specific collective PCK (cPCK) for the topic of particle physics is directly related to the discipline studied; the personal PCK (pPCK) draws from its knowledge base and filters it in the construction of the lesson, adapting materials and explanations from the discipline for a different audience. The enacted PCK (ePCK) is also influenced by the discipline and previous formation, based primarily on curricular, content, and pedagogical knowledge.

**Keywords:** Pedagogical Content Knowledge; Physics Teaching; Modern and Contemporary Physics; Science Teaching

### **Introdução**

A necessidade do ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) na educação básica não é novidade (Pietrocola, 2017; Siqueira, 2017), destacando-se a física de altas energias, que permite a abordagem de temas como as fronteiras da ciência, a construção do conhecimento, os limites da intuição e aspectos culturais e históricos. Para pensar sua inserção na sala de aula, é preciso debruçar-se sobre a formação docente para tal.

As dificuldades de ensinar FMC envolvem obstáculos como abstração e modelos não intuitivos, formalismo matemático não abordado no ensino médio, falta de materiais didáticos e preparo insuficiente dos professores para o ensino de desse tema (Siqueira, 2017), incluindo a falta de conhecimento do conteúdo, já que os currículos universitários para formação inicial se mostram insuficientes (Videira; Francisquini, 2018). Essas dificuldades não são individuais, mas reflexos de carências estruturais que afetam o desenvolvimento docente. Para endereçar essa problemática, pode-se aprimorar a formação de professores em dois níveis fundamentais: formação inicial e continuada. Atentar-se às disciplinas de FMC nos cursos de licenciatura poderia desenvolver o conhecimento necessário para o exercício profissional futuro.

O conceito de Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (do inglês *Pedagogical Content Knowledge*, ou PCK) vem crescendo desde a década de 1990 por trazer uma nova dimensão além dos conteúdos específicos da disciplina ministrada ou apenas uma pedagogia geral (Leal; Novais; Fernandez, 2015), compreendendo quais as partes de uma complexa base de conhecimentos são úteis e necessárias ao docente.

Este trabalho é um estudo de caso qualitativo (YIN, 2010) que busca investigar os conhecimentos docentes dos licenciandos para o ensino de FMC, avaliando como uma disciplina de Física de Partículas com atividades voltadas para o desenvolvimento docente contribui para o desenvolvimento do PCK de FMC dos professores em formação inicial. Os dados obtidos a partir dos instrumentos de coleta foram submetidos a uma análise de conteúdo (AC) considerando categorias *a priori* do Modelo Consensual Refinado (MCR) do PCK (Carlson et al., 2019).

### Modelo Consensual Refinado (MCR)

Shulman (1987, 1986) introduziu o PCK para destacar o conhecimento essencial do professor que une conteúdo e pedagogia. A evolução desse conceito resultou no Modelo Consensual Refinado (MCR)(Figura 1), proposto após debates em duas cúpulas (2012 e 2016) para unificar os diversos modelos de PCK da literatura (Carlson *et al.*, 2019).

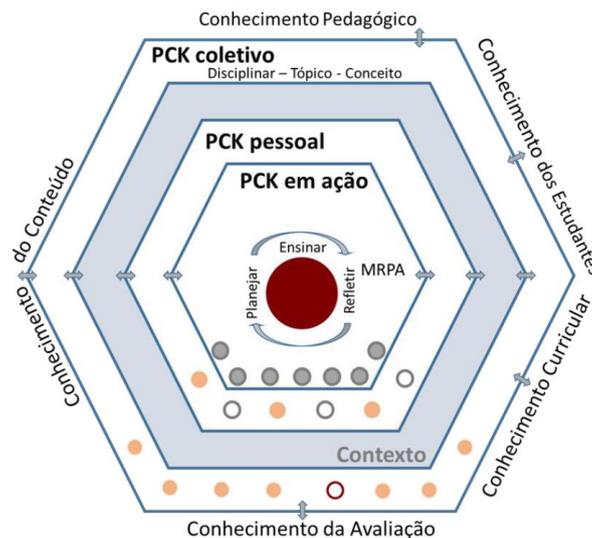


Figura 1 – Modelo Consensual Refinado do PCK adaptado, disponível em Silva e Fernandez (2021). Na camada mais externa apresentam-se os conhecimentos docentes (Conhecimento do Conteúdo, Pedagógico, dos Estudantes, Curricular e de Avaliação), que se relacionam com o PCK em diferentes domínios (Coletivo, Pessoal, Em Ação). As setas representam a dinamicidade dessas relações entre os conhecimentos. Os diferentes hexágonos representam o professor no centro (vinho), os resultados dos alunos (cinza preenchido), os alunos (cinza não preenchido), outras contribuições incluindo acadêmicas (laranja) e outros professores (vinho não preenchido).

No campo mais interno opera o ciclo **elaboração-implementação-reflexão** e seu **raciocínio pedagógico** (MRPA) (Shulman, 1987). Em volta, tem-se o **PCK em ação** (ePCK), “o PCK que expressa as motivações e habilidades para ensinar um conteúdo específico para um grupo de alunos específico num contexto específico com objetivos específicos”. O **PCK pessoal** (pPCK) pode ser definido como o conhecimento acumulado e dinâmico do PCK e das habilidades do professor, proveniente de experiências pessoais, pesquisas, conversas, entre outros, como um reservatório do qual o docente retira para a construção do ePCK. Em contato com o pPCK existe o **contexto de ensino**, tratando tanto de um contexto próximo (alunos, suas idades, interesses, dificuldades, experiências e culturas, sala de aula) quanto distante (país, diretrizes, currículo, estrutura). O **PCK coletivo** (cPCK) é um amálgama de diversos conhecimentos docentes aceitos por algum coletivo, seja um grupo específico de trabalho ou uma literatura canônica, variando de específico de disciplina (física), tópico (mecânica) e conceito (massa).

Na parte mais externa do modelo encontramos a base de conhecimentos docentes, que sustentam e passam pelos filtros das diferentes camadas do PCK: **Conhecimento do conteúdo**, que diz sobre o conhecimento do conteúdo específico a ser ensinado; **Conhecimento pedagógico**, que corresponde ao conhecimento pedagógico geral relacionado aos aspectos didáticos e referenciais teóricos do ensino; **Conhecimento curricular**, que envolve como sequenciar as aulas para um conteúdo específico e quais materiais e estratégias estão disponíveis; **Conhecimento dos estudantes**, por exemplo as dificuldades comuns em aprender algum conceito; **Conhecimento de avaliação** que envolve, além de métodos, pensar *o que e por que* avaliar um conteúdo ou tópico específico.

## **Metodologia**

Este trabalho é um recorte de uma pesquisa que tem como foco a análise do PCK de um grupo de licenciandos numa disciplina de Física de Partículas em último semestre da licenciatura em Física da Universidade de São Paulo em 2023. Partindo do processo de elaboração-implementação-reflexão, como parte final da disciplina, os licenciandos foram divididos em grupos e cada um elaborou, ministrou e avaliou uma aula que compôs um minicurso oferecido a alunos dos três anos do Ensino Médio de

escolas privadas e públicas da cidade de São Paulo. O grupo analisado neste trabalho abordou a proposta de Hideki Yukawa para partículas virtuais e o trabalho de Bruno Rossi para a detecção de Múons.

Os instrumentos de coleta de dados foram: (i) Plano de aula; (ii) Instrumento Representação de Conteúdo<sup>1</sup> (*CoRe*), canônico na investigação do PCK (Loughran; Berry; Pam, 2006); (iii) questionário inicial de mapeamento de perfil; (iv) registro audiovisual das aulas; e (v) reflexão dos licenciandos sobre as aulas ministradas.

### **Resultados e discussão**

O grupo de licenciandos analisado é composto por dois homens e quatro mulheres com idades entre 23 e 25 anos com formação diversa entre escola pública e privada, que majoritariamente já cursaram todas as disciplinas pedagógicas obrigatórias na licenciatura e ministraram de duas a dez aulas em estágios obrigatórios nessas disciplinas, além de terem atuado profissionalmente em cursinhos populares e monitorias de escola para Ensino Fundamental II e Ensino Médio. Apenas um dos licenciandos teve contato formal com Física de Partículas na graduação e nenhum dos licenciandos abordou a temática como docente.

No plano de aula, o grupo relacionou o tema com habilidades e competências específicas da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e planejou uma aula dividida em quatro momentos: (I) problematização inicial; (II) atividade de investigação; (III) apresentação expositiva-dialogada; e (IV) fechamento. Essa organização permite inferir um **Conhecimento do Currículo** fundamentado na BNCC e baseia a prática nos três momentos pedagógicos (Delizoicov e Angotti, 1990) e no ensino por investigação, ambos presentes no currículo das disciplinas da licenciatura..

O **Conhecimento do Conteúdo** dos licenciandos pode ser inferido a partir do *CoRe*, das atividades avaliativas realizadas durante a disciplina e das explicações realizadas durante a aula. Em momentos expositivos da aula ministrada e durante a

---

<sup>1</sup> O *CoRe* faz referência a uma sequência didática específica em vez de uma compreensão geral do ensino de um tópico. É esperado, por meio dele, extrair uma visão holística das compreensões e crenças dos licenciandos acerca da atividade preparada e ministrada aos seus colegas e será preenchido em grupo durante a preparação do plano de aula para incrementar a análise posterior.

atividade em grupos, os licenciandos demonstraram segurança na abordagem do conteúdo, mas insegurança ao responder algumas dúvidas dos alunos com relação ao conteúdo e a como explicá-lo. Além disso, os licenciandos trazem como ideias principais no *CoRe* “complementares para o desenvolvimento do projeto de aula” “Descoberta Científica” e “Paradigma”, revelando uma abordagem Kuhniana da produção do conhecimento científico, discutida na licenciatura.

O **Conhecimento Pedagógico** se revelou principalmente durante a prática docente quando, no início da aula, a licencianda questiona de forma descontraída os interesses dos alunos em física, de modo conhecê-los minimamente e estabelecer um ambiente no qual os alunos se sentissem à vontade. Destacamos que o grupo construiu sua abordagem do conteúdo a partir das respostas dos alunos, relacionando diretamente ao conteúdo específico abordado. A observação das aulas indica uma abordagem interativa e dialógica com foco nas contribuições dos alunos e em seu protagonismo nos diferentes momentos da aula ministrada.

O **Conhecimento dos Alunos** revela que os licenciandos consideram os conhecimentos prévios dos alunos a partir de uma perspectiva de ciência mecanicista e determinística sem articulações históricas e/ou epistemológicas, com “[n]oções básicas de Física Clássica e Eletromagnetismo” (Plano de aula, p. 1). Tais aspectos foram considerados no planejamento da aula, especialmente na tentativa de dirimir a dificuldade do formalismo matemático envolvido no conteúdo ministrado. Nos slides preparados, estão presentes elementos referentes à cultura próxima dos alunos, como o personagem Bob Esponja e a série *Breaking Bad*.

A abordagem do **Conhecimento da Avaliação** ocorre de forma expressa no plano de aula elaborado e mostra coerência com a aula ministrada pelos licenciandos, no qual assumem que

*“[A avaliação] será realizada com base nas respostas dos alunos no roteiro de investigação não se chegaram numa resposta correta, mas se desenvolveram um certo raciocínio e realizaram a atividade e a corrigiram eles mesmos. Também, avaliaremos pela comparação de respostas sobre o que é uma partícula virtual no início e fim da aula” (Plano de Aula).*

Sobre o **cPCK**, é possível compreender como a disciplina e as etapas de preparação foram importantes para a elaboração da aula ministrada. Os licenciandos foram capazes de adaptar atividades realizadas na disciplina para a aula ministrada,

exemplificada pela atividade investigativa. Além disso, considerando a estrutura disciplina-tópico-conceito do PCK, o grupo expressa um conhecimento do ensino de ciências baseado nos três momentos pedagógicos e ensino por investigação de física de partículas e seus conceitos baseados na disciplina.

Sobre o **Contexto** de ensino, a partir do plano de aula e do *CoRe* observamos que os licenciandos estabeleceram um perfil esperado de aluno “que possuem um interesse prévio em física”. Ressaltamos que os licenciandos declararam que não conhecer previamente os alunos foi uma dificuldade no preparo da aula, reconhecendo a importância do contexto para adequar a aula aos alunos.

Sobre o **pPCK**, foi possível observar que sua formação direcionou as escolhas (filtros) realizadas durante a preparação da aula, revelado por aspectos como a valorização do ensino por investigação e aprendizagem ativa, escolha da linguagem análoga à dos alunos e dos recursos didáticos que seriam implementados.

Finalmente, o **ePCK** trouxe motivações para ensino alinhadas às motivações históricas para a construção desse conhecimento a partir da narrativa epistemológica construída na disciplina cursada por eles, com as habilidades docentes baseadas nos referenciais educacionais estudados ao longo do curso de licenciatura.

### **Considerações finais**

A partir da análise da experiência didática de elaboração-implementação-reflexão dos licenciandos foi possível inferir que suas motivações e práticas foram baseadas principalmente nas dimensões do conhecimento do conteúdo, do currículo e pedagógico. As etapas preparatórias conduzidas pelos professores da disciplina foram fundamentais para o desenvolvimento da aula ministrada, estimulando-os a conectarem suas bases de conhecimento à situação de sala de aula. A experiência didática e a etapa de reflexão contribuíram para sua formação docente, ampliando sua experiência prática e articulando seus conhecimentos para ensino de temas de FMC. Assim, ressaltamos a importância da prática docente considerando os elementos do PCK na formação inicial, bem como a construção do currículo dos cursos de licenciatura que abordem de temas de FMC de maneira adequada no Ensino Básico.

## Referências

- CARLSON, J. *et al.* The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. *In*: HUME, Anne; COOPER, Rebecca; BOROWSKI, Andreas (org.). **Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science**. Singapore: Springer Singapore, 2019. p. 77–94.
- DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990.
- LEAL, S. H.; NOVAIS, R. M.; FERNANDEZ, C. Conhecimento pedagógico do conteúdo de “estrutura da matéria” de uma professora de química experiente em aulas de química geral. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 21, n. 3, p. 725–742, 2015.
- LOUGHRAN, J; BERRY, A.; MULHALL, P. **Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge**. Rotterdam: Sense Publishers, 2006.
- PIETROCOLA, M.. Curricular innovation and didactic-pedagogical risk management. *In*: **CROSSING THE BORDER OF THE TRADITIONAL SCIENCE CURRICULUM: INNOVATIVE TEACHING AND LEARNING IN BASIC SCIENCE EDUCATION**. 1. ed. The Netherlands: Sense Publishers, 2017. (Bold Visions in educational research). v. 56.
- SHULMAN, L. Knowledge and teaching: foundations of the new reform. **Harvard Educational Review**, [s. l.], v. 57(1), p. 1–22, 1987.
- SHULMAN, L. S. Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. **Educational Researcher**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 4–14, 1986.
- SILVA, A. N.; FERNANDEZ, Carmen. Um professor de química, um conteúdo e dois contextos escolares: do PCK pessoal para o PCK em ação. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 23, p. e26404, 2021.
- SIQUEIRA, M. R. P.. Elementary particle physics for high schools. *In*: **CROSSING THE BORDER OF THE TRADITIONAL SCIENCE CURRICULUM: INNOVATIVE TEACHING AND LEARNING IN BASIC SCIENCE EDUCATION**. 1. ed. The Netherlands: Sense Publishers, 2017. (Bold Visions in educational research). v. 56.
- VIDEIRA, A. A. P.; FRANCISQUINI, Mariana Faria Brito. A instituição da “Física de Partículas Elementares” como disciplina científica e sua relação com a formação de professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 81–96, 2018.
- YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Bookman, Porto Alegre, Brasil, 2010.