

MAPEAMENTO DAS PESQUISAS SOBRE O MODELO TPACK NA ÁREA DE QUÍMICA: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

MAPPING RESEARCH ON THE TPACK MODEL IN CHEMISTRY: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

MAPEO DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE EL MODELO TPACK EN EL ÁREA DE QUÍMICA: UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

Everton Bedin*, Carla Morais**

Bedin, E., Morais, C. (2026). Mapeamento das pesquisas sobre o modelo TPACK na área de química: uma análise bibliométrica. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 21(3) e-24123.

<https://doi.org/10.14483/23464712.24123>

Resumo

Este artigo objetivou mapear e analisar a produção científica sobre a utilização do modelo TPACK na área de química, por meio de uma revisão bibliométrica, buscando caracterizar a estrutura intelectual desse campo de investigação. Para isso, adotou-se uma revisão bibliométrica de natureza exploratória-descritiva, com coleta de dados realizada em duas bases de dados: Scopus e Web of Science (WoS), utilizando os descritores “*technological pedagogical content knowledge*” e “*chemistry*”. A análise foi conduzida com o software VOSviewer (versão 1.6.20), que possibilitou a constituição e a interpretação de mapas de coautoria, coocorrência, co-citação de autores e documentos, bem como a identificação de palavras-chave emergentes. Os resultados evidenciaram a centralidade de Mishra e Koehler como referências fundacionais, além da predominância de países asiáticos, especialmente a Indonésia, na produção recente sobre TPACK em química. Também se observou o fortalecimento de redes internacionais, embora o Brasil ainda ocupe posição periférica. A discussão apontou a necessidade de maior diversidade epistemológica e de aprofundamento em dimensões específicas da disciplina, como os níveis de representação química. Conclui-se que o campo se encontra em consolidação, demandando a ampliação de estudos empíricos, instrumentos avaliativos contextualizados e diálogos críticos com teorias atuais de aprendizagem e tecnologias emergentes.

Palavras-Chave: formação docente; tecnologias digitais; Conhecimento Tecnológico Pedagógico do Conteúdo.

Abstract

This study aimed to map and analyze the scientific production on the use of the Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) model in chemistry through a bibliometric review, with the purpose of characterizing the intellectual structure of this research field. To this end, a bibliometric

* Doutor em Educação em Ciências: química da vida e saúde. Universidade Federal do Paraná. Brasil. bedin.everton@gmail.com – ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5636-0908>

** Doutora e Agregada em Ensino e Divulgação das Ciências. Universidade do Porto, Portugal. cmorais@fc.up.pt – ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2136-0019>

review of an exploratory-descriptive nature was conducted, with data collected from the Scopus and Web of Science (WoS) databases using the descriptors “technological pedagogical content knowledge” and “chemistry.” The analysis was carried out with the VOSviewer software (version 1.6.20), which enabled the construction and interpretation of co-authorship, co-occurrence, and co-citation maps of authors and documents, as well as the identification of emerging keywords. The results highlighted the centrality of Mishra and Koehler as foundational references, along with the predominance of Asian countries – particularly Indonesia – in recent TPACK research in chemistry. Strengthened international networks were also observed, although Brazil still occupies a peripheral position. The discussion emphasized the need for greater epistemological diversity and deeper exploration of discipline-specific dimensions, such as the levels of chemical representation. It is concluded that the field is still in consolidation, requiring the expansion of empirical studies, the development of contextualized assessment instruments, and critical dialogue with contemporary learning theories and emerging technologies.

Keywords: teacher education; digital technologies; Pedagogical and Technological Content Knowledge.

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo mapear y analizar la producción científica sobre el uso del modelo TPACK en el ámbito de la química mediante una revisión bibliométrica, con el fin de caracterizar la estructura intelectual de este campo de investigación. Para ello, se adoptó una revisión bibliométrica de carácter exploratorio-descriptivo, con recolección de datos realizada en dos bases de datos, Scopus y Web of Science (WoS), utilizando los descriptores “*technological pedagogical content knowledge*” y “*chemistry*”. El análisis fue conducido con el software VOSviewer (versión 1.6.20), lo que permitió la construcción e interpretación de mapas de coautoría, coocurrencia, co-citación de autores y documentos, así como la identificación de palabras clave emergentes. Los resultados evidenciaron la centralidad de Mishra y Koehler como referencias fundacionales, además del predominio de países asiáticos, especialmente Indonesia, en la producción reciente sobre TPACK en química. También se observó el fortalecimiento de redes internacionales, aunque Brasil aún ocupa una posición periférica. La discusión señaló la necesidad de una mayor diversidad epistemológica y de un mayor enfoque en dimensiones específicas de la disciplina, como los niveles de representación química. Se concluye que el campo se encuentra en consolidación, demandando la ampliación de estudios empíricos, instrumentos evaluativos contextualizados y diálogos críticos con teorías actuales de aprendizaje y tecnologías emergentes.

Palabras Clave: formación docente; tecnologías digitales; Conocimiento Didáctico y Tecnológico del Contenido.

1. Introdução

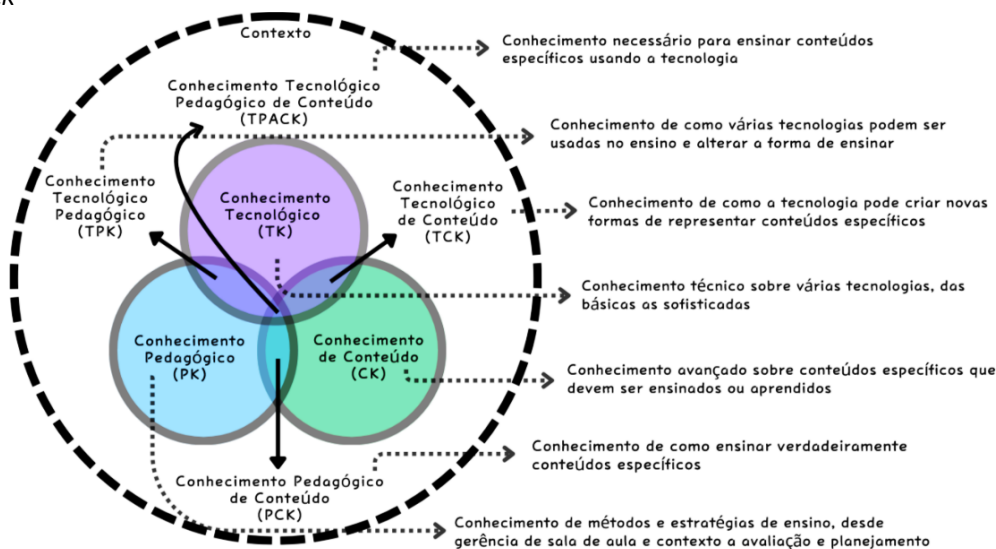
A formação de professores em química no cenário atual enfrenta diversos desafios, demandando um aprimoramento contínuo que transcende o domínio do conteúdo específico. A apropriação crítica das Tecnologias Digitais (TD) emerge como um pilar fundamental para essa evolução, capacitando os futuros e atuais educadores a navegar em um ambiente educacional cada vez mais digitalizado (Guaita & Gonçalves, 2022; Bedin & Morais, 2024; Orel et al., 2024). Essa necessidade é impulsionada pela crescente ubiquidade das TD e seu potencial transformador na mediação pedagógica, exigindo que os professores de química desenvolvam competências para integrá-las de forma eficaz e didática em suas práticas (Leite, 2021; Walan, 2020; Bedin, 2026). Assim, a formação docente em química deve priorizar o desenvolvimento de habilidades que

permitam a utilização estratégica dessas ferramentas, visando aprimorar os processos de ensino e aprendizagem e preparar os estudantes para os desafios do século XXI (Cetin-Dindar et al., 2018; López et al., 2025).

Nesse contexto, a mera inclusão de tecnologias em sala de aula não garante a efetividade pedagógica; é imperativo que a sua apropriação ocorra por meio de processos formativos que integrem de forma coesa os conhecimentos tecnológico, pedagógico e de conteúdo (Corrêa, 2015; Siqueira & Bedin, 2024; Jammeh et al., 2024). É neste contexto que o *framework* TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) surge como uma possibilidade teórico-metodológica relevante para guiar essa integração, oferecendo um modelo para a compreensão e o desenvolvimento das competências docentes necessárias (Mishra; Koehler, 2006; Chittleborough, 2014). O TPACK propõe uma visão holística da formação, onde a tecnologia não é um fim em si mesma, mas um meio para enriquecer as práticas de ensino e promover uma aprendizagem mais contextualizada (Godoy, 2021; Bedin et al., 2025). A adoção do TPACK permite que os educadores reflitam sobre como as ferramentas digitais podem ser utilizadas para transformar o conteúdo e as estratégias pedagógicas, superando a visão instrumental da tecnologia na educação (Townsend, 2025; Karpudewan, 2024).

O modelo TPACK é um arcabouço teórico que descreve os diferentes tipos de conhecimento que um professor precisa dominar para integrar efetivamente a tecnologia em sua prática pedagógica (Mishra & Koehler, 2006; Godoy, 2021); ele é composto por sete domínios de conhecimento inter-relacionados: Conhecimento do Conteúdo (CK), Conhecimento Pedagógico (PK), Conhecimento Tecnológico (TK), Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK), Conhecimento Tecnológico do Conteúdo (TCK), Conhecimento Tecnológico Pedagógico (TPK) e o próprio TPACK (Townsend, 2025; Zimmermann et al., 2021). A Figura 1 representa a estrutura conceitual do modelo TPACK e evidencia que o conhecimento docente não resulta da soma independente de seus componentes, mas da interação contínua entre conhecimentos pedagógicos, tecnológicos e disciplinares, cuja integração possibilita o planejamento e o desenvolvimento de práticas pedagógicas contextualizadas e pedagogicamente significativas.

Figura 1
Modelo TPACK



Fonte: os autores (2026).

Conforme ilustrado na Figura 1, o núcleo central do modelo corresponde ao TPACK, representando o conhecimento integrado necessário para que o professor mobilize, simultaneamente, conhecimentos tecnológicos, pedagógicos e específicos do conteúdo. As interseções entre os domínios evidenciam que a qualidade da integração tecnológica não depende exclusivamente do domínio das ferramentas digitais, mas da capacidade de articulá-las às estratégias pedagógicas e às características epistemológicas da área de conhecimento. Portanto, a inserção do TPACK na formação docente implica

em reconhecer que a simples familiaridade com a tecnologia não é suficiente, sendo preciso compreender como ela se articula com o conteúdo a ser ensinado e com as melhores práticas pedagógicas para otimizar os processos de ensino e aprendizagem (Yamtinah et al., 2024; Hadas et al., 2023). Assim, o TPACK oferece um guia para o desenvolvimento profissional contínuo, capacitando os professores a tomar decisões informadas sobre o uso da tecnologia em sala de aula (Cetin-Dindar et al., 2018; Chakawodza et al., 2024).

Desde sua proposição inicial, o modelo TPACK tem sido ampliado e reinterpretado em diferentes contextos educacionais, acompanhando as transformações tecnológicas e pedagógicas das últimas duas décadas. Estudos recentes têm discutido adaptações do *framework* para contemplar tecnologias emergentes, como inteligência artificial generativa, metacognição, análise de dados educacionais e ambientes digitais mais complexos, reforçando o caráter dinâmico e evolutivo do conhecimento docente necessário à integração significativa das tecnologias no ensino (Deng et al., 2023; Raihanah et al., 2024; Bedin, 2025). Apesar dessas atualizações conceituais, os sete domínios originalmente propostos por Mishra e Koehler (2006) permanecem como a principal referência para a compreensão das relações entre conhecimento tecnológico, pedagógico e de conteúdo, constituindo o referencial adotado neste estudo.

Nesta perspectiva, a investigação do uso do TPACK na formação de professores de química é de suma importância, pois permite identificar como os educadores estão desenvolvendo as competências necessárias para integrar as TD de forma eficaz no ensino de um determinado conteúdo. Afinal, pesquisas recentes indicam que ainda há desafios para consolidar o TPACK na formação inicial, sobretudo na área de Ciências, exigindo aprofundamento conceitual e metodológico (Gottardo & Bervian, 2024). A química, com sua natureza experimental e conceitual, pode ser significativamente enriquecida pela aplicação de ferramentas tecnológicas, como simulações, laboratórios virtuais e recursos multimídia (Assai et al., 2025); logo, compreender como o TPACK está sendo mobilizado nesse contexto específico é uma forma de revelar tendências, lacunas e boas práticas na formação docente, contribuindo para o aprimoramento de currículos e programas de desenvolvimento profissional. Além disso, esse viés de investigação pode fornecer subsídios para a criação de estratégias pedagógicas inovadoras que promovam uma aprendizagem mais engajadora e contextualizada para os estudantes de química, preparando-os para os desafios científicos e tecnológicos do futuro (Bedin et al., 2025).

Para mapear e analisar o panorama das pesquisas sobre o modelo TPACK na área de química, é indicada a adoção da análise bibliométrica, visto ser uma abordagem consolidada para examinar quantitativamente a produção científica e identificar padrões de publicação, redes de colaboração, estruturas intelectuais, tendências temáticas e lacunas de investigação em determinado campo do conhecimento (Donthu et al., 2021). Ao integrar indicadores quantitativos e ferramentas de visualização científica, a bibliometria possibilita compreender a configuração e a evolução de uma área de pesquisa, evidenciando autores de referência, relações de cocitação, redes de coautoria, agrupamentos temáticos e temas emergentes (Aria & Cuccurullo, 2017). Dessa forma, essa abordagem oferece uma visão abrangente da estrutura científica do campo investigado, subsidiando a identificação de tendências, oportunidades de investigação e perspectivas para o avanço das pesquisas sobre o modelo TPACK na área de química (Assai et al., 2025).

Nessa perspectiva, a bibliometria constitui um recurso metodológico capaz de revelar a dinâmica da produção científica, permitindo identificar autores influentes, redes de colaboração, temas emergentes e lacunas de investigação, aspectos fundamentais para compreender a evolução das pesquisas em investigação. Na pesquisa educacional, sua aplicação permite quantificar e qualificar a produção acadêmica, identificar os autores mais influentes, as instituições de maior destaque e as redes de colaboração entre pesquisadores (Assai et al., 2025). Além disso, a bibliometria auxilia na identificação de lacunas de pesquisa, temas emergentes e a evolução de conceitos ao longo do tempo, fornecendo um panorama detalhado do desenvolvimento de uma área específica. Essa ferramenta metodológica é crucial para compreender a dinâmica da pesquisa, orientar futuras investigações e subsidiar políticas educacionais baseadas em evidências, contribuindo para o avanço do conhecimento e da prática pedagógica.

No entanto, apesar do crescente número de pesquisas sobre o modelo TPACK e de revisões voltadas à integração de TD na formação docente, observa-se que os estudos dedicados especificamente ao ensino de química permanecem dispersos e ainda carecem de uma síntese capaz de evidenciar sua configuração científica. Embora existam revisões de literatura e

investigações bibliométricas relacionadas ao TPACK em contextos educacionais mais amplos, ainda são limitados os trabalhos que analisam, de forma sistemática, a estrutura intelectual, as redes de colaboração, a evolução temática e as tendências emergentes das pesquisas voltadas exclusivamente à educação química. Essa lacuna dificulta a compreensão do estágio de desenvolvimento do campo, das principais agendas de investigação e das oportunidades para o avanço teórico e metodológico das pesquisas que articulam o TPACK às especificidades do ensino de Química.

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo mapear e analisar a produção científica internacional sobre a utilização do modelo TPACK na área de química, por meio de uma revisão bibliométrica, buscando caracterizar a estrutura intelectual desse campo de investigação. Para tanto, busca responder ao seguinte problema de pesquisa: o que a produção científica internacional sobre o modelo TPACK aplicada ao ensino de química revela acerca das redes de colaboração entre pesquisadores, da estrutura intelectual do campo, das tendências temáticas e das perspectivas de desenvolvimento da área? Esta investigação visa contribuir para a compreensão do estado da arte das pesquisas sobre o TPACK na área de química, fornecendo subsídios para identificar tendências de investigação, lacunas científicas e possibilidades de avanço do campo, tanto no contexto nacional quanto internacional.

2. Metodologia da pesquisa

Este estudo é de natureza básica, com objetivo exploratório-descritivo, desenvolvido por meio de uma revisão bibliométrica. A bibliometria constitui uma abordagem consolidada para analisar quantitativamente a produção científica, permitindo identificar padrões de publicação, redes de colaboração, estruturas intelectuais e tendências emergentes de um determinado campo de conhecimento (Donthu et al., 2021). Além de sintetizar a evolução de uma área, esse tipo de investigação favorece a identificação de lacunas científicas e oportunidades para pesquisas futuras, subsidiando a construção de agendas de investigação e o avanço do conhecimento (Aria & Cuccurullo, 2017; Donthu et al., 2021).

A constituição do *corpus* ocorreu por meio de buscas nas bases de dados Scopus e Web of Science (WoS), reconhecidas internacionalmente pela abrangência, qualidade dos metadados e ampla utilização em estudos bibliométricos (Donthu et al., 2021). Em ambas as bases foi empregado o mesmo protocolo de busca, utilizando os descritores em língua inglesa "*technological pedagogical content knowledge*" AND "*chemistry*", pesquisados simultaneamente nos campos de título, resumo e palavras-chave, sem delimitação temporal e restringindo-se aos documentos classificados como artigos científicos. A estratégia adotada objetivou recuperar toda a produção indexada relacionada ao tema investigado. Assim, não foram estabelecidos critérios adicionais de inclusão ou exclusão, uma vez que todos os registros recuperados pela estratégia de busca foram incorporados ao *corpus* da pesquisa. Como resultado, a WoS não apresentou registros compatíveis com os descritores empregados até o primeiro semestre de 2025, enquanto a Scopus retornou 46 artigos científicos, que constituíram integralmente o conjunto documental analisado. Em consonância com a natureza bibliométrica da investigação, o *corpus* corresponde integralmente aos registros recuperados pela estratégia de busca, sem filtragem temática posterior, permitindo representar de forma abrangente a configuração científica do campo delimitado pelos descritores utilizados.

A análise bibliométrica foi organizada em duas abordagens complementares, conforme proposto por Donthu et al. (2021): *performance analysis* e *science mapping*. A *performance analysis* permitiu caracterizar a produção científica recuperada, enquanto o *science mapping* possibilitou investigar a estrutura intelectual e relacional do campo por meio da construção de redes bibliométricas, evidenciando conexões entre autores, documentos e conceitos. Para essa etapa foi utilizado o *software* VOSviewer (versão 1.6.20), amplamente empregado em pesquisas bibliométricas devido à sua capacidade de construir e visualizar mapas de redes científicas de forma consistente e intuitiva (Van Eck & Waltman, 2010). Foram realizadas análises de coautoria, coocorrência de termos, cocitação de autores e agrupamentos temáticos (clusters), permitindo identificar padrões de colaboração científica, proximidade conceitual, autores de maior influência e a organização temática das pesquisas sobre o modelo TPACK na área de química.

A interpretação dos resultados não se restringiu aos indicadores produzidos pelo *software*. Após a geração dos mapas bibliométricos, realizou-se a leitura integral dos 46 artigos que compuseram o *corpus* da investigação, articulando as evidências quantitativas provenientes do VOSviewer com a análise do conteúdo dos estudos e com a literatura nacional e

internacional pertinente ao modelo TPACK. A interpretação considerou aspectos como densidade dos nós, intensidade dos vínculos, proximidade entre os elementos e composição dos clusters, possibilitando compreender a configuração científica do campo, identificar tendências de investigação, convergências temáticas, redes de colaboração e lacunas ainda existentes na produção científica sobre o TPACK aplicado ao ensino de química. A relação completa dos 46 artigos que compõem o *corpus* desta investigação é apresentada no Material Suplementar (Tabela 1).

Tabela 1

Relação dos artigos que compõem o corpus da pesquisa, contendo autores, ano de publicação, periódico e DOI.

Autor	Título	Ano	Periódico	DOI
Khan, S.	New pedagogies on teaching science with computer simulations	2011	Journal of Science Education and Technology	10.1007/s10956-010-9247-2
Blonder, R.; Jonatan, M.; Bar-Dov, Z.; Benny, N.; Rap, S.; Sakhnini, S.	Can you tube it? Providing chemistry teachers with technological tools and enhancing their self-efficacy beliefs	2013	Chemistry Education Research and Practice	10.1039/c3rp00001j
Chittleborough, G.	Learning how to teach chemistry with technology: pre-service teachers' experiences with integrating technology into their learning and teaching	2014	Journal of Science Teacher Education	10.1007/s10972-014-9387-y
Çalik M; Özseveç T; Ebenezzer J; Artun H; Küçük, Z.	Effects of 'environmental chemistry' elective course via technology-embedded scientific inquiry model on some variables	2014	Journal of Science Education and Technology	10.1007/s10956-013-9473-5
Kafyulilo, A.; Fisser, P.; Voogt, J.	Teacher design in teams as a professional development arrangement for developing technology integration knowledge and skills of science teachers in tanzania	2016	Education and Information Technologies	10.1007/s10639-014-9321-0
Blonder, R.; Rap, S.	I like facebook: exploring israeli high school chemistry teachers' TPACK and self-efficacy beliefs	2017	Education and Information Technologies	10.1007/s10639-015-9384-6
Yeh, Y-F.; Hsu, Y-S.; Wu, H-K.; Chien, S-P.	Exploring the structure of TPACK with video-embedded and discipline-focused assessments	2017	Computers and Education	10.1016/j.compedu.2016.10.006
Deng, F.; Chai, C. S.; So, H-J.; Qian, Y.; Chen, L.	Examining the validity of the Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) framework for preservice chemistry teachers	2017	Australasian Journal of Educational Technology	10.14742/ajet.3508
Cetin-Dindar, A.; Boz, Y.; Yildiran Sonmez, D.; Demirci Celep, N.	Development of pre-service chemistry teachers' technological Pedagogical Content Knowledge	2018	Chemistry Education Research and Practice	10.1039/C7RP00175D
Bohloko, M.; Makatjane, T. J.; George, M. J.; Mokuku, T.	Assessing the effectiveness of using youtube videos in teaching the chemistry of group i and vii elements in a high school in lesotho	2019	African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education	10.1080/18117295.2019.1593610
Zimmermann, F.; Melle, I.	Designing a university seminar to professionalize prospective teachers for digitization in chemistry education	2019	Chemistry Teacher International	10.1515/cti-2018-0025
Dorfman, B-S.; Terrill, B.; Patterson, K.; Yarden, A.; Blonder, R.	Teachers personalize videos and animations of biochemical processes: results from a professional development workshop	2019	Chemistry Education Research and Practice	10.1039/c9rp00057g
Dekorver, B.; Chaney, A.; Herrington, D.	Strategies for teaching chemistry online: a content analysis of a chemistry instruction online learning community during the time of covid-19	2020	Journal of Chemical Education	10.1021/acs.jchemed.0c00783

Walan, S.	Embracing digital technology in science classrooms—secondary school teachers’ enacted teaching and reflections on practice	2020	Journal of Science Education and Technology	10.1007/s10956-020-09828-6
Carpendale, J.; Delaney, S.; Rochette, E.	Modeling meaningful chemistry teacher education online: reflections from chemistry preservice teacher educators in australia	2020	Journal of Chemical Education	10.1021/acs.jchemed.0c00718
Rap, S.; Feldman-Maggor, Y.; Aviran, E.; Shvarts-Serebro, I.; Easa, E.; Yonai, E.; Waldman, R.; Blonder, R.	An applied research-based approach to support chemistry teachers during the covid-19 pandemic	2020	Journal of Chemical Education	10.1021/acs.jchemed.0c00687
Hidayah, F. F.; Imaduddin, M.; Praptaningrum, D. N. W.; Ristanti, D. A.	Cogenerative dialogue of cross-generation educators to improve chemistry teaching quality through technology	2020	Journal for the Education of Gifted Young Scientists	10.17478/jegys.654941
Zimmermann, F.; Melle, I.; Huwer, J.	Developing prospective chemistry teachers’ TPACK-A comparison between students of two different universities and expertise levels regarding their TPACK self-efficacy, attitude, and lesson planning competence	2021	Journal of Chemical Education	10.1021/acs.jchemed.0c01296
Kartimi Gloria, R. Y.; Anugrah, I. R.	Chemistry online distance learning during the covid-19 outbreak: do TPACK and teachers’ attitude matter?	2021	Jurnal Pendidikan IPA Indonesia	10.15294/jpii.v10i2.28468
Şen, Ş.	Modelling the relations between turkish chemistry teachers’ sense of efficacy and Technological Pedagogical Content Knowledge in context	2022	Interactive Learning Environments	10.1080/10494820.2020.1712430
Susanti, N.; Hadiyanto Mukminin, A.	The effects of TPACK instrument variables on teacher candidates in higher education	2022	Journal of Higher Education Theory and Practice	10.33423/jhetp.v22i2.5041
Widyasari, F.; Masykuri, M.; Mahardiani, L.; Saputro S.; Yaminah, S.	Measuring the effect of subject-specific pedagogy on TPACK through flipped learning in e-learning classroom	2022	International Journal of Instruction	10.29333/iji.2022.15354a
Jung, M. S.; Paik, S-H.	The effect and disturbance factors of practical-based teacher education program for the development of TPACK in pre-service chemistry teachers;	2022	Journal of the Korean Chemical Society	10.5012/jkcs.2022.66.4.305
Hadas, B.; Herscovitz, O.; Dori, Y. J.	Analysis of online assignments designed by chemistry teachers based on their knowledge and self-regulation	2023	Chemistry Teacher International	10.1515/cti-2022-0037
Prodanov, T. S.; Andrade Neto, A. S.	Pre-service chemistry teachers’ Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): findings from a teacher training program design	2023	Investigacoes em Ensino de Ciencias	10.22600/1518-8795.ienci2023v28n2p122
Deng, F.; Lan, W.; Sun, D.; Zheng, Z.	Examining pre-service chemistry teachers’ Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) of using data-logging in the chemistry classroom	2023	Sustainability (Switzerland)	10.3390/su152115441
Henne, A.; Möhrke, P.; Huwer, J.; Thoms, L-J.	Learning science at university in times of covid-19 crises from the perspective of lecturers—an interview study	2023	Education Sciences	10.3390/educsci13030319
Czok, V.; Krug, M.; Müller, S.; Huwer, J.; Weitzel, H.	Learning effects of augmented reality and game-based learning for science teaching in higher education in the context of education for sustainable development	2023	Sustainability (Switzerland)	10.3390/su152115313

Bedin, E.; Marques, M. S.; Cleophas, M. G.	Research on the content, technological, and pedagogical knowledge (TPACK) of chemistry teachers during remote teaching in the pandemic in the light of students' perceptions	2023	Journal of Information Technology Education: Research	10.28945/5063
Marlina Rahim, A.; Ria, R. R. P.; Hadi, H. S.	Technological Pedagogical Content Knowledge in chemistry education: a review and bibliometric analysis using vosviewer and rstudio applications	2023	Moroccan Journal of Chemistry	10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v11i3.39572
Gong, X.; Wei, B.; Bergey, B. W.; Shockley, E. T.	Unpacking chemistry teachers' pedagogical reasoning and decisions for a phet simulation: a TPACK perspective	2023	Journal of Chemical Education	10.1021/acs.jchemed.2c00397
Chakawodza, J. M.; Mushayikwa, E.; Stephen, M.	Exploring challenges influencing the discontinued utilisation of the flipped classroom pedagogy: a case of south africa underprivileged high school and organic chemistry	2024	International Journal of Learning, Teaching and Educational Research	10.26803/ijlter.23.10.14
Karpudewan, M.	Augmented reality as a platform to present green sustainable chemistry to improve preservice teachers' competency on Technological Pedagogical Content Knowledge	2024	Sustainable Chemistry And Pharmacy	10.1016/j.scp.2024.101582
Orel, M.; Peklaj, C.; Savec, V. F.	Exploring teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge as an indicator for the planning of in-service teacher training in chemistry education	2024	Acta Chimica Slovenica	10.17344/acsi.2024.8783
Yamtinah, S.; Astari, M. A.; Masykuri, M.; Susilowati, E.	Development of web-based TPACK scaffolding for online learning to enhance TPACK skills of preservice chemistry teachers	2024	Journal of Educators Online	10.9743/JEO.2024.21.3.21
Lee, G-G.; Zhai, X.	Using chatgpt for science learning: a study on pre-service teachers' lesson planning	2024	IEEE Transactions on Learning Technologies	10.1109/TLT.2024.3401457
Jammeh, A. L. J.; Karegeya, C.; Ladage, S.	Application of Technological Pedagogical Content Knowledge in smart classrooms: views and its effect on students' performance in chemistry	2024	Education and Information Technologies	10.1007/s10639-023-12158-w
Pernaa, J.; Ikävalko, T.; Takala, A.; Vuorio, E.; Pesonen R.; Haatainen, O.	Artificial Intelligence chatbots in chemical information seeking: narrative educational insights via a swot analysis	2024	Informatics	10.3390/informatics11020020
Nugraheni, A. R. E.; Srisawasdi, N.	Development of pre-service chemistry teachers' knowledge of technological integration in inquiry-based learning to promote chemistry core competencies	2024	Chemistry Education Research and Practice	10.1039/d4rp00160e
Abouelenein, Y. A. M.; Selim, S. A. S.	Impact of digital interventions on the development of TPACK: interviews, reports, and video simulation among pre-service teachers	2024	Education and Information Technologies	10.1007/s10639-023-12422-z
Aroch, I.; Katchevich, D.; Blonder, R.	Modes of technology integration in chemistry teaching: theory and practice	2024	Chemistry Education Research and Practice	10.1039/d3rp00307h
López, A.; Meneses, A.; Montenegro, M.	Pre-service teachers' TPACK and its relationship to technology integration in science learning activities	2025	Journal of Science Education and Technology	10.1007/s10956-025-10201-8
Akaygun, S.; Kilic, I.	Generative artificial intelligence (genai) as the artist of chemistry visuals: chemistry preservice teachers' reflections on visuals created by genai	2025	Journal of Chemical Education	10.1021/acs.jchemed.4c00775

Feldman-Maggor, Y.; Blonder, R.; Alexandron, G.	Perspectives of generative ai in chemistry education within the TPACK framework	2025	Journal of Science Education and Technology	10.1007/s10956-024-10147-3
Hussain, H. O.; Ahmed, B. M.; Ayash, L. M.	Teaching competencies according to the TPACK model for chemistry teachers in Iraq	2025	International Journal of Innovative Research and Scientific Studies	10.53894/ijirss.v8i2.6071
Cavassani, T. B.; Jesus de Andrade, J.; Marques, R. N.	A new perspective on the screen: the construction of chemistry teachers' professional knowledge (TPACK) through video analysis as a digital pedagogical resource	2025	Revista Virtual de Química	10.21577/1984-6835.20250008

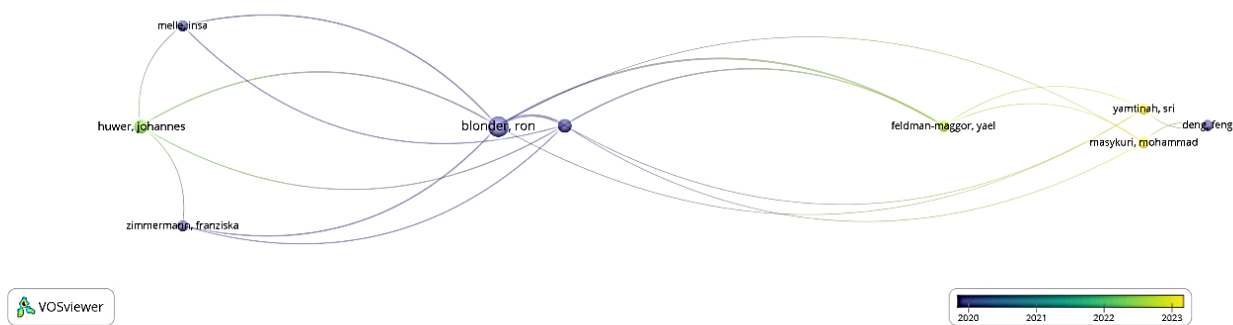
Fonte: os autores (2025)

3. Resultados e discussão

O corpus analisado foi composto por 46 artigos científicos indexados na Scopus, publicados, entre os anos 2011 e 2025, em periódicos internacionais da área de Educação em Ciências, Educação Química e Tecnologias Educacionais. Os metadados recuperados incluíram informações referentes aos autores, ano de publicação, periódico, resumo, palavras-chave, afiliações institucionais e referências bibliográficas, constituindo a base para as análises de desempenho da produção científica (*performance analysis*) e de mapeamento científico (*science mapping*).

No que tange à análise de autores citados juntos (Figura 2), em pelo menos três trabalhos distintos, observa-se a centralidade de Blonder na rede, com forte conexão com autores como Feldman-Maggor, Huwer e Zimmermann. Isso evidencia a relevância de Blonder como uma das principais articuladoras do debate sobre o TPACK na química, especialmente no que se refere à formação inicial de professores e à integração crítica de TD nos processos educativos. Autores emergentes, como Masykuri, Marlina e Yamtniah, despontam em anos mais recentes (2022 - 2023), indicando uma renovação nas abordagens e uma possível transição de foco, da fundamentação conceitual para a aplicação prática do TPACK em contextos escolares específicos. Esta dinâmica permite inferir que há um amadurecimento teórico na área, com um movimento crescente em direção à problematização da prática pedagógica e à inovação metodológica mediada por tecnologias.

Figura 2
Análise de autores citados junto de autores



Fonte: dados da pesquisa (2025)

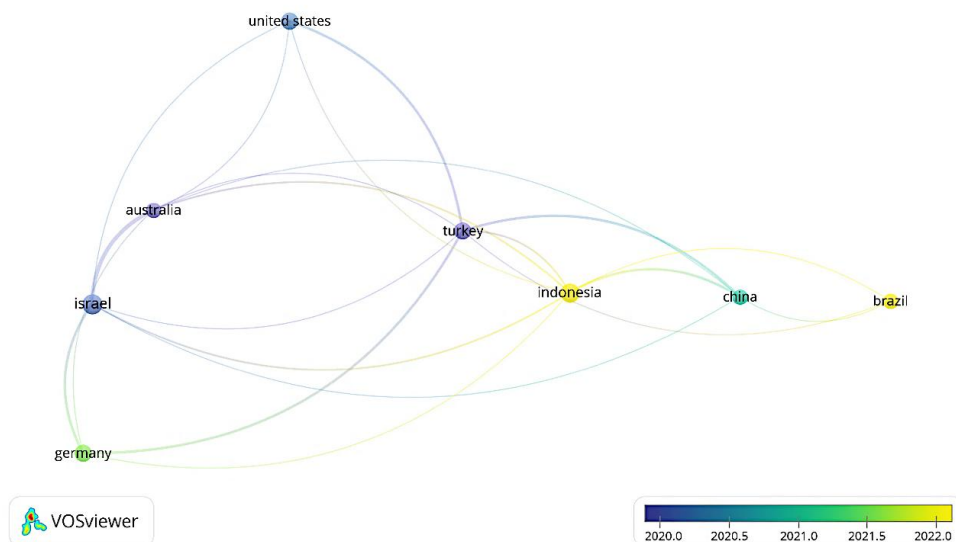
Todavia, embora a centralidade de Blonder e de seus colaboradores diretos evidencie a importância de núcleos consolidados de pesquisa, a predominância de poucos autores pode indicar uma dependência excessiva de perspectivas já estabelecidas, limitando a diversidade epistemológica do campo. A emergência de novos nomes é promissora, mas ainda carece de maior inserção em redes amplas de colaboração para provocar

renovação teórica consistente. Um desafio para o avanço das pesquisas é incorporar vozes de diferentes contextos socioculturais, capazes de tensionar e expandir o debate sobre o TPACK na química, evitando a cristalização de abordagens e abrindo espaço para interpretações críticas e inovadoras.

A análise de coautoria por países (Figura 3) revela um panorama geopolítico relevante. Países como Indonésia, China e Turquia demonstram intensa produção e colaboração internacional recente, situando-se como polos emergentes na pesquisa sobre TPACK e química. A Indonésia, em especial, aparece como protagonista nos últimos anos, o que pode estar relacionado ao incentivo governamental à modernização da educação científica naquele país. Em contraste, o Brasil figura de maneira periférica na rede, ainda que apresente conexões com alguns países asiáticos. Essa posição sugere desafios e, ao mesmo tempo, oportunidades para pesquisadores brasileiros: a ampliação de parcerias internacionais pode ser estratégica para o fortalecimento da produção nacional na área e para a diversificação epistemológica das abordagens sobre TPACK e química. Nesse sentido, fomentar colaborações com centros de pesquisa indonésios, israelenses ou turcos pode contribuir para a construção de diálogos mais plurais e intercontextuais.

Figura 3

Análise de coautoria por países



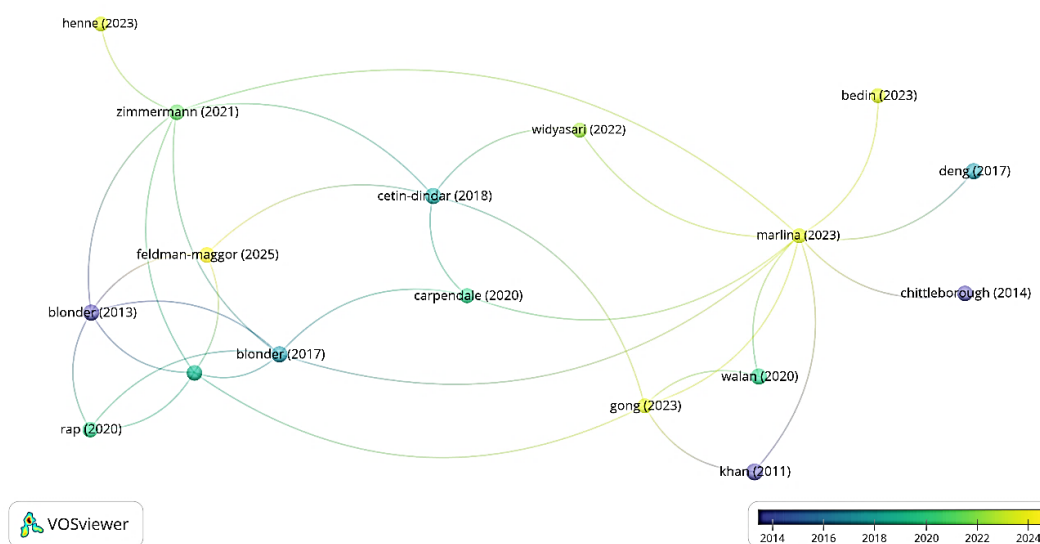
Fonte: dados da pesquisa (2025)

De outra forma, a configuração geopolítica observada na análise da Figura 3 sugere um deslocamento do eixo de produção para países asiáticos, o que reflete políticas de incentivo à ciência e à modernização da educação. Contudo, a presença periférica do Brasil evidencia barreiras estruturais e institucionais que limitam a participação em redes internacionais de maior densidade. Logo, é preciso considerar, além do volume de produção, os canais de circulação e o idioma como fatores de visibilidade científica. Avançar nesse cenário requer estratégias intencionais de internacionalização, investimento em parcerias estratégicas e valorização de agendas de pesquisa que dialoguem com demandas globais, sem perder a especificidade do contexto local. Esse cenário também evidencia que a internacionalização das pesquisas sobre o TPACK na área de química depende, para além do aumento da produção científica, da inserção em redes colaborativas capazes de promover intercâmbio metodológico e teórico, podendo favorecer a promoção de estudos multicêntricos e comparativos, contribuindo para uma compreensão mais abrangente da formação docente em diferentes contextos educacionais.

A análise de coocorrência de documentos (Figura 4), com os parâmetros de pelo menos cinco citações por trabalho (podendo ser qualquer tipo de produção científica), indica que a produção científica está ancorada em referências clássicas, como Blonder (2013; 2017), mas também incorpora estudos mais recentes e aplicados, como Marlina (2023) e Gong (2023). Percebe-se que a presença de Blonder (2013; 2017), articulando-se com autores como Rap (2020) e Carpendale (2020), revela a consolidação de um núcleo de pesquisa em TPACK na química. Essa centralidade sugere que estes trabalhos funcionam como referências estruturantes na área, sendo amplamente utilizados como base teórica por estudos posteriores. Nesse sentido, a análise permite compreender as conexões que revelam escolas de pensamento e tradições investigativas que orientam o campo.

Figura 4

Análise de coocorrência de documentos



Fonte: dados da pesquisa (2025)

Outro ponto relevante é a conexão de autores mais recentes, como Zimmermann et al. (2021) e Feldman-Maggor (2025), que demonstram a continuidade da pesquisa sobre TPACK e suas variações na formação docente. Estes autores dialogam com investigações que enfatizam programas formativos, como Cetin-Dindar et al. (2018) e Widyasari et al. (2022), que buscaram estruturar propostas concretas de desenvolvimento profissional baseadas em competências digitais e metodologias ativas. Esse movimento demonstra que a produção científica mais recente busca superar análises puramente teóricas, caminhando em direção a práticas formativas que impactem diretamente a atuação docente em sala de aula. Em termos de desdobramentos, evidencia-se a necessidade de expandir estas experiências para contextos latino-americanos, onde ainda há uma lacuna de estudos sistemáticos que relacionem TPACK, química e programas formativos.

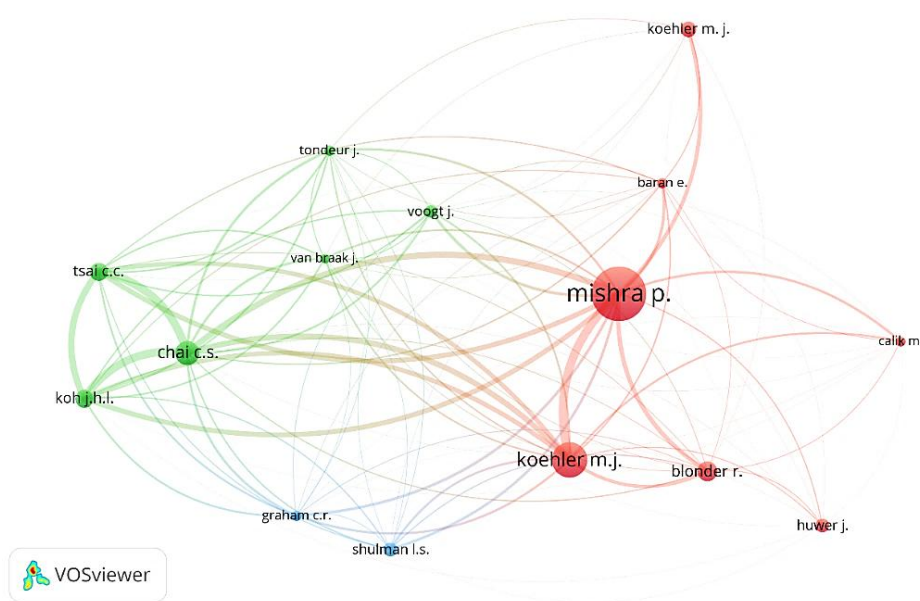
A Figura 4 também revela a presença de autores que exploram dimensões específicas da integração tecnológica, como Walan (2020), que analisa práticas de ensino mediadas por tecnologias digitais, e Chittleborough (2014), que investiga experiências de licenciandos no uso de recursos digitais em química. Essas contribuições apontam para a crescente preocupação em alinhar o TPACK com a realidade de sala de aula e com as reflexões metacognitivas dos professores em formação (Bedin, 2025). Ainda, observa-se a inserção de autores emergentes, como Bedin (2023) e Marlina (2023), que ocupam posições periféricas, mas com conexões relevantes, sinalizando novas perspectivas de pesquisa. A relação desses trabalhos com estudos internacionais

mais consolidados indica a possibilidade de construção de um diálogo transnacional em torno do TPACK e da formação docente em química.

A co-citação de autores, com o parâmetro de pelo menos quinze citações em trabalhos, conforme representada na Figura 5, evidencia os pares de autores que são frequentemente citados conjuntamente em outros trabalhos. Esse tipo de análise permite identificar núcleos de influência teórica e redes de legitimidade científica que sustentam os estudos sobre TPACK na química. Observa-se, de forma destacada, a centralidade dos autores Mishra e Koehler, os propositores originais do modelo TPACK, bem como uma densa rede de conexões entre eles e outros autores relevantes, como Chai, Tondeur, Tsai, Shulman e Graham.

Figura 5

Análise de co-citação de autores



Fonte: dados da pesquisa (2025)

A densidade dos vínculos entre Mishra e Koehler revela sua proeminência, bem como o grau em que suas ideias continuam servindo como base conceitual para o campo. Apesar disto, a predominância de Mishra e Koehler reafirma a relevância de seus aportes teóricos, mas evidencia uma centralização que pode limitar a emergência de novas perspectivas. Ainda, a presença de Shulman, autor do conceito de Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK), reforça a compreensão de que o TPACK é uma extensão natural de sua proposta, incorporando a dimensão tecnológica. Por outro lado, a significativa conexão com autores asiáticos como Chai e Tsai reforça a forte produção científica sobre TPACK na Ásia, especialmente em contextos de formação docente e integração de tecnologias digitais.

Todavia, a estrutura permanece ancorada em um núcleo restrito, reproduzindo uma lógica de autoridade científica que precisa ser problematizada. Ademais, esses dados indicam que, embora o TPACK seja um modelo globalmente reconhecido, ele ainda depende fortemente de seus fundadores e de um pequeno conjunto de autores que servem como “âncoras epistemológicas” para novos trabalhos. Para o futuro, seria desejável que novos autores e contextos culturais emergissem com propostas críticas, adaptações ou ampliações do modelo,

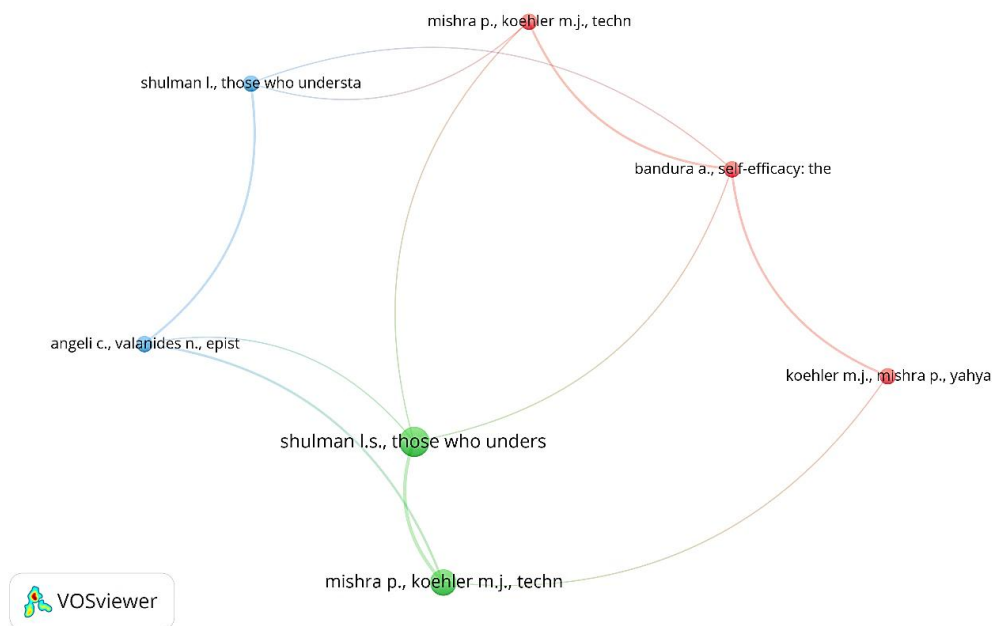
sobretudo considerando a especificidade do ensino de química. O fortalecimento do campo passa pela incorporação de olhares críticos e pela atualização do TPACK frente a transformações tecnológicas recentes, especialmente considerando as especificidades da química enquanto disciplina experimental, simbólica e multimodal. Ademais, a permanência desses referenciais demonstra que o campo apresenta elevada estabilidade teórica; entretanto, essa estabilidade também sugere a necessidade de incorporar novos referenciais capazes de dialogar com desafios contemporâneos, como a inteligência artificial, a aprendizagem baseada em dados, as competências digitais docentes e os processos de autorregulação da aprendizagem.

Em corroboração, a Figura 6, que revela o mapa de co-citação de trabalhos, com o parâmetro de pelo menos quatro citações de seus trabalhos, fornece uma perspectiva mais granular, indicando quais obras específicas são tomadas como referência comum em diferentes estudos. Neste caso, observa-se novamente o predomínio dos trabalhos fundacionais de Mishra e Koehler (2006), bem como a presença de obras paradigmáticas como a de Shulman (1986), além de estudos relacionados à autoeficácia docente, como os de Bandura (1982). Neste viés, é interessante notar que a estrutura da rede revela um equilíbrio entre teorias da aprendizagem, modelos de conhecimento docente e abordagens práticas de integração tecnológica. A presença dos trabalhos de Angeli e Valanides (2009), por exemplo, destaca uma vertente crítica e epistemológica dentro do debate sobre TPACK, focada na formação inicial de professores e na avaliação de competências.

Essa combinação de fundamentos teóricos com abordagens metodológicas aponta para um campo que ainda está em consolidação, mas que busca rigor conceitual e aplicabilidade prática. A interpretação desses dados sugere que futuras pesquisas podem se beneficiar de revisitar esses trabalhos clássicos à luz de novos desafios da docência em química, como o uso de tecnologias imersivas (ex: Realidade Aumentada), metodologias ativas e ensino híbrido.

Figura 6

Análise de co-citação de trabalhos



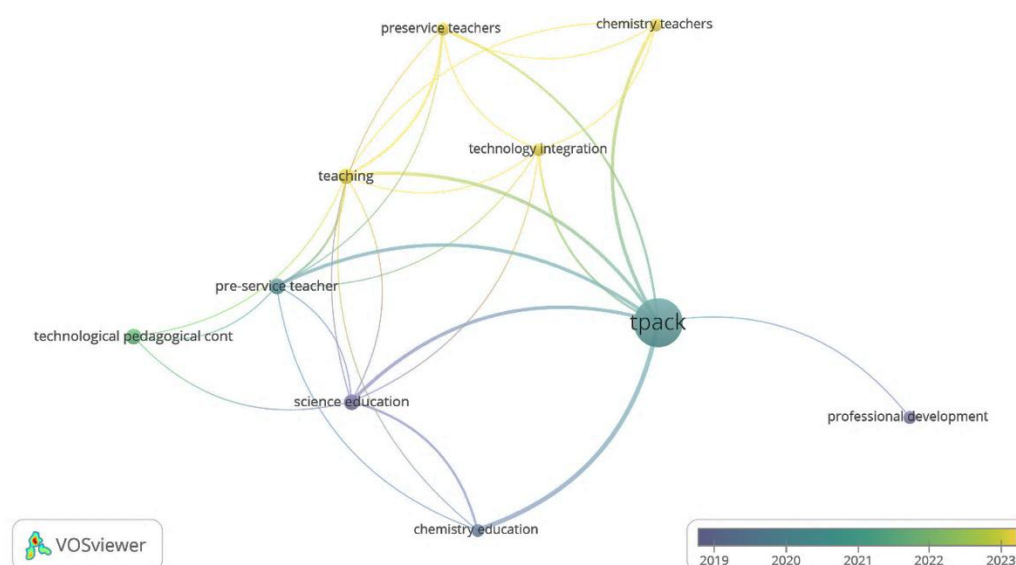
Fonte: dados da pesquisa (2025)

A análise de coocorrência de palavras-chave é um dos recursos mais usados da bibliometria para indicar tendências emergentes e mudanças no foco da produção científica. Para esta análise, foram consideradas as palavras-chave que tivessem sido utilizadas em pelo menos cinco trabalhos distintos. A Figura 7 revela que “TPACK” ocupa o núcleo do grafo, cercado por termos como “teaching”, “technology integration”, “pre-service teacher”, “professional development”, “chemistry education” e “science education”. Além disso, a coloração dos termos permite identificar temporalidades na pesquisa. Logo, percebe-se que termos como “teaching”, “preservice teachers” e “technology integration” estão associados às produções mais recentes (2022 - 2023), o que indica uma intensificação do debate sobre a formação docente e a implementação prática do TPACK em sala de aula. Já termos como “science education” e “technological pedagogical content knowledge”, evidenciam que foram mais frequentes em períodos anteriores (2019 - 2021).

Chama a atenção o fato de “chemistry education” estar conectado a “TPACK”, mas com menor densidade do que “science education”. Isso sugere que, embora haja produções específicas para a química, a maioria dos trabalhos ainda trata o campo de forma agregada às Ciências da Natureza. Esta lacuna aponta para a necessidade de consolidar um corpo teórico-prático que reconheça as singularidades da química, considerando seus múltiplos níveis de representação e a importância da experimentação. Investir nesse recorte específico pode gerar contribuições originais e aprofundar o entendimento sobre como o TPACK se materializa em práticas de ensino de química. Assim, uma oportunidade de avanço está na construção de um corpo teórico e prático mais robusto sobre TPACK aplicado especificamente a química.

Figura 7

Análise de coocorrência de palavras-chave



Fonte: dados da pesquisa (2025)

Além disso, a distribuição das palavras-chave sugere que parte significativa das pesquisas ainda se concentra em discussões amplas sobre integração tecnológica e formação docente. Isso indica espaço para investigações que aprofundem aspectos específicos da Educação Química, como experimentação, modelagem, argumentação científica, níveis de representação química e o uso de tecnologias emergentes para favorecer a aprendizagem de conceitos abstratos. Em conjunto, os indicadores bibliométricos revelam que as pesquisas sobre o modelo TPACK

na área de química vêm apresentando crescimento gradual, fortalecimento das redes internacionais e ampliação das temáticas investigadas. Contudo, observa-se a permanência de forte concentração em determinados autores, países e referenciais teóricos, evidenciando que o campo ainda possui oportunidades de expansão científica.

Ademais, com o intuito de facilitar a compreensão global da bibliometria realizada sobre o modelo TPACK na química, o Quadro 1 sintetiza os principais destaques, os aspectos passíveis de aprimoramento e as tendências identificadas em cada tipo de análise.

Quadro 1

Síntese das análises bibliométricas sobre o modelo TPACK na química

Análise	Principais destaques	Aspectos de melhoria	Tendências identificadas
Figura 2 – Autores citados juntos	Forte centralidade de Blonder, com conexões que revelam sua relevância como referência fundante. Emergência de novos nomes como Rap e Zimmermann.	Ampliar a diversidade de autores citados, reduzindo dependência excessiva de alguns núcleos.	Consolidação de redes internacionais em TPACK aplicadas à química.
Figura 3 – Coautoria por países	Predomínio de países do eixo EUA–Israel–Europa, com colaborações consistentes. Baixa representatividade latino-americana.	Fortalecer redes de cooperação Sul-Sul e incentivar publicações em inglês por pesquisadores da América Latina.	Maior internacionalização e construção de parcerias multicêntricas.
Figura 4 – Coocorrência de documentos	Destaque para a relação entre autores clássicos (Blonder, Rap, Carpendale) e emergentes (Marlina, Bedin). Indica escolas de pensamento e continuidade.	Explorar lacunas temáticas, como metacognição e níveis do conhecimento químico (Johnstone).	Integração entre pesquisas consolidadas e novas abordagens formativas em TPACK.
Figura 5 – Co-citação de autores	Autores como Mishra e Koehler (2006) permanecem como pilares teóricos, citados transversalmente.	Estimular a incorporação de novos referenciais teóricos além do TPACK original.	Expansão do diálogo entre TPACK e metodologias ativas (<i>flipped learning, scaffolding digital</i>).
Figura 6 – Co-citação de trabalhos	Forte recorrência de artigos fundacionais, como os primeiros estudos de validação do TPACK na química.	Ampliar citações de trabalhos mais recentes sobre IA, gamificação e RA.	Atualização contínua com tendências tecnológicas emergentes em ensino de Ciências.
Figura 7 – Coocorrência de palavras-chave	Palavras-chave centrais: TPACK, Chemistry, Education, associadas a digital learning e formação docente.	Diversificar descritores, incluindo “AI”, “gamification”, “augmented reality”, “metacognition” e “Johnstone’s levels”.	Emergência de novas agendas de pesquisa ligadas a IA, RA e sustentabilidade.

Fonte: os autores (2025)

4. Desdobramentos futuros

A análise bibliométrica aqui apresentada demonstra que o modelo TPACK segue sendo um referencial para a integração das TD na química. No entanto, os dados também revelam uma lacuna específica na aplicação sistemática e crítica do modelo, sobretudo no contexto da educação básica. Diante dos dados analisados, delineiam-se desdobramentos promissores para a consolidação e avanço das investigações que articulam o modelo TPACK a química. Em primeiro lugar, destaca-se a necessidade de fomentar estudos empíricos aplicados, que investiguem de modo situado a incorporação de metodologias ativas mediadas por tecnologias digitais em salas de aula de química. No entanto, estes estudos devem considerar, além da presença de recursos tecnológicos, a forma como professores mobilizam conhecimentos pedagógicos, tecnológicos e disciplinares de

maneira integrada, evidenciando como o TPACK se manifesta concretamente nas práticas docentes (Mishra & Koehler, 2006).

Além disso, urge o desenvolvimento de instrumentos específicos para a avaliação do TPACK em contextos de química. A singularidade epistemológica da disciplina - fortemente marcada por sua natureza experimental, linguagem simbólica e articulação entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico - demanda ferramentas sensíveis às suas particularidades (Justi & Gilbert, 2002). Portanto, avaliações genéricas do TPACK podem não captar adequadamente as complexas inter-relações entre os domínios do conhecimento requeridos para o ensino de temas como eletroquímica, estrutura atômica ou reações químicas, especialmente quando mediados por tecnologias digitais.

Outro desdobramento relevante diz respeito à análise crítica do próprio modelo TPACK, questionando sua suficiência frente às transformações tecnológicas contemporâneas. A emergência da inteligência artificial, dos laboratórios virtuais e das simulações interativas exige uma atualização das categorias do modelo, que foi concebido em um contexto tecnológico distinto. O TPACK, apesar de sua força, ainda carece de uma discussão mais aprofundada sobre os impactos ético-pedagógicos dessas tecnologias no ensino de química, o que convida a interlocuções com autores como Feenberg (2002) e Selwyn (2015), que problematizam os discursos tecnocráticos no campo educacional.

Nesse contexto, observa-se um movimento internacional de expansão e ressignificação do *framework* TPACK. Além da incorporação do Conhecimento Contextual (XK) proposta por Mishra (2019), diferentes pesquisadores têm desenvolvido adaptações que procuram aproximar o modelo das demandas contemporâneas da formação docente. Entre essas propostas destacam-se o TPACK-in-Practice (Jaipal-Jamani & Figg, 2015), o TPACK-Practical (Yeh et al., 2014), o Intelligent-TPACK (Chiu, 2025), o IA-TPACK (Karataş & Ataç, 2025) e o TAM-TPACK-GenAI (ElSayary et al., 2026). No contexto brasileiro, destaca-se ainda o CMTPC, proposto por Bedin (2025), que amplia o modelo ao integrar explicitamente processos metacognitivos ao conhecimento docente. Em conjunto, essas proposições evidenciam que o TPACK permanece como um referencial dinâmico, cuja evolução acompanha as transformações tecnológicas, cognitivas e pedagógicas da educação.

A partir das evidências também se destaca a importância de estudos transculturais e comparativos, que explorem a implementação do TPACK em diferentes realidades educacionais, especialmente no Sul Global. Pesquisas dessa natureza podem contribuir para a identificação de boas práticas, barreiras contextuais e condições estruturais que afetam a apropriação crítica do modelo, ampliando a compreensão de suas potencialidades e limitações em contextos socioeducativos diversos. Soma-se a esta ideia a integração do TPACK com as competências digitais docentes, pois, de acordo com Júnior et al. (2025), este se constitui um caminho promissor para superar visões fragmentadas e potencializar práticas pedagógicas inovadoras.

Por fim, ressalta-se a relevância de aprofundar a base teórica que sustenta o TPACK, por meio de articulações com teorias da aprendizagem e da ação pedagógica. Integrações com a Teoria da Atividade (Engeström, 2014), o Construtivismo Social de Vygotsky (1987), ou com abordagens contemporâneas sobre engajamento e motivação no ensino de Ciências (Fredricks et al., 2004) podem enriquecer a compreensão do modelo, conferindo-lhe maior densidade analítica e ampliando suas possibilidades interpretativas. Essas conexões teóricas são fundamentais para que o TPACK se configure como uma lente crítica sobre os processos de ensino, aprendizagem e desenvolvimento profissional docente.

5. Conclusão

Este estudo permitiu caracterizar a configuração científica das pesquisas sobre o modelo TPACK na área de química, evidenciando como esse campo tem se estruturado ao longo do tempo em termos de autores de

referência, redes de colaboração, fundamentos teóricos e tendências investigativas. Ao responder ao problema de pesquisa proposto, a análise bibliométrica revelou, além da evolução da produção científica, as oportunidades de expansão teórica e metodológica do campo.

De forma geral, os resultados apontam para um campo em consolidação, fortemente ancorado em autores e obras fundacionais, como Mishra e Koehler (2006) e Shulman (1986), mas que também começa a incorporar estudos recentes que dialogam com tecnologias emergentes, como Inteligência Artificial, gamificação e Realidade Aumentada. As análises evidenciaram a centralidade de alguns autores e países, destacando Indonésia, China e Turquia como polos de produção e colaboração, ao passo que o Brasil ainda ocupa posição periférica. Também se observou um equilíbrio entre tradição teórica e inovação metodológica, com tendências voltadas para a aplicação prática do TPACK em contextos escolares e para a formação inicial e continuada de professores de química.

Apesar da relevância dos achados, esta pesquisa apresenta limitações inerentes à metodologia adotada. Primeiramente, a busca restringiu-se à base Scopus, devido à ausência de resultados na Web of Science, o que pode ter excluído estudos relevantes presentes em outras fontes. Além disso, a análise bibliométrica, embora significativa na identificação de padrões e redes, não aprofunda aspectos qualitativos da aplicação do TPACK em contextos reais de ensino, demandando estudos complementares que investiguem de forma empírica sua mobilização em sala de aula. Além disso, a estratégia de busca adotada delimitou o corpus aos registros recuperados pelos descritores empregados nas bases consultadas, de modo que estudos potencialmente relevantes que utilizam terminologias distintas podem não ter sido contemplados.

Diante desse panorama, desdobramentos futuros incluem o fomento a pesquisas empíricas que explorem a integração do TPACK em conteúdos específicos da química, o desenvolvimento de instrumentos avaliativos sensíveis às particularidades da disciplina e a ampliação de colaborações internacionais que favoreçam uma produção mais diversificada e plural. Ademais, recomenda-se a atualização e o diálogo crítico do modelo TPACK com teorias contemporâneas de aprendizagem e com as demandas ético-pedagógicas das TD emergentes, garantindo que sua aplicação na química seja inovadora, contextualizada e socialmente relevante.

6. Contribuição dos autores

Autor 1: redação – versão original, investigação, conceituação, metodologia. Autor 2: supervisão do projeto, redação – versão final, visualização. Todos os autores: revisão e edição.

7. Declaração de fontes de financiamento

Este estudo possui apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), referente a bolsa de pós-doutorado do primeiro autor, proceso: 402399/2024, e da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), I. P., no âmbito dos projetos do Centro de Investigação em Química da Universidade do Porto (CIQUP) (UID/00081/2025, UID/PRR/00081/2025 e UID/PRR2/00081/2025) e do Institute of Molecular Sciences (IMS) (LA/P/0056/2020).

8. Declaração de uso de inteligência artificial

Utilizou-se o ChatGPT (OpenAI, modelo GPT-4.1) exclusivamente como ferramenta de apoio à revisão linguística do texto, com a finalidade de corrigir aspectos gramaticais, ortográficos e de pontuação, sem interferência no conteúdo científico ou nas interpretações dos pesquisadores. As sugestões de correção fornecidas pela ferramenta foram criteriosamente analisadas, avaliadas e validadas pelos pesquisadores antes de sua incorporação à versão final do documento, que permanece sob sua integral responsabilidade.

9. Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram que não existe nenhum conflito de interesses relacionado à publicação deste artigo.

10. Referências

- Angeli, C., & Valanides, N. (2009). Epistemological and methodological issues for the conceptualization, development, and assessment of ICT–TPCK: Advances in technological pedagogical content knowledge (TPCK). *Computers & education*, 52(1), 154-168. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.07.006>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Assai, N. D. S., Bedin, E., & Silva, L. P. (2025). Um estudo bibliométrico sobre a resolução de problemas em química. *ACTIO: Docência em Ciências*, 10(1), 1-18.
- Bandura, A. (1982). Self-efficacy mechanism in human agency. *American psychologist*, 37(2), 122.
- Bedin, E. (2026). Competências digitais docentes e políticas públicas na era da informação: por uma formação crítica, intencional e emancipatória. *Texto Livre*, 19, e61035. <https://doi.org/10.1590/1983-3652.2026.61035>
- Bedin, E. (2025). Metacognição e CTPC: uma nova perspectiva para a Formação Docente Reflexiva e Autorregulada. *PARADIGMA*, e2025013-e2025013. <http://doi.org/10.37618/PARADIGMA.1011-2251.2025.e2025013.id1626>
- Bedin, E., Marques, M. S., & Cleophas, M. das G. (2023). Research on the content, technological, and pedagogical knowledge (TPACK) of chemistry teachers during remote teaching in the pandemic in the light of students' perceptions. *Journal of Information Technology Education*, 22, 001-024. <https://doi.org/10.28945/5063>
- Bedin, E., & Moraes, C. S. L. (2024). Percepções de professores de química em formação inicial quanto à articulação tecnologia-pedagogia-ciência em suas práticas na pandemia. *Educar em Revista*, 40. <https://doi.org/10.1590/1984-0411.87730>
- Bedin, E., Siqueira, L. E., Lima, V. F., & Oliveira Viviani, A. C. C. (2025). Mapeando o domínio conceitual TPACK de professores em formação inicial. *Singular. Sociais e Humanidades*, 1(7), 95-108. <https://doi.org/10.33911/singularsh.v1i7.212>
- Blonder, R., & Rap, S. (2017). I like Facebook: Exploring Israeli high school chemistry teachers' TPACK and self-efficacy beliefs. *Education and Information Technologies*, 22(2), 697-724. <https://doi.org/10.1007/s10639-015-9384-6>
- Blonder, R., Jonatan, M., Bar-Dov, Z., Benny, N., Rap, S., & Sakhnini, S. (2013). Can You Tube it? Providing chemistry teachers with technological tools and enhancing their self-efficacy beliefs. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(3), 269-285. <https://doi.org/10.1039/C3RP00001J>
- Carpendale, J., Delaney, S., & Rochette, E. (2020). Modeling meaningful chemistry teacher education online: reflections from chemistry preservice teacher educators in Australia. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 2534-2543. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00718>
- Cetin-Dindar, A., Boz, Y., Sonmez, D. Y., & Celep, N. D. (2018). Development of pre-service chemistry teachers' technological pedagogical content knowledge. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(1), 167-183. <https://doi.org/10.1039/C7RP00175D>
- Chakawodza, J. M., Mushayikwa, E., & Stephen, M. (2024). Exploring Challenges Influencing the Discontinued Utilisation of the Flipped Classroom Pedagogy: A Case of South Africa Underprivileged High School and Organic Chemistry. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 23(10). <https://doi.org/10.26803/ijlter.23.10.14>
- Chaves, M. C., & Aguiar, R. M. (2022). *Análise bibliométrica das produções acadêmicas sobre diversidade de gênero e química*. Repositório IFES.
- Chittleborough, G. (2014). Learning how to teach chemistry with technology: Pre-service teachers' experiences with integrating technology into their learning and teaching. *Journal of Science Teacher Education*, 25(4), 373-393. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9387-y>
- Chiu, T. K. (2025). Developing intelligent-TPACK (I-TPACK) framework from unpacking AI literacy and competency: implementation strategies and future research direction. *Interactive Learning Environments*, 33(7), 4189-4192. <https://doi.org/10.1080/10494820.2025.2545053>
- Corrêa, A. L. (2015). *O ensino de ciências e as tecnologias digitais: competências para a mediação pedagógica*. (Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, SP, Brasil.

- Deng, F., Lan, W., Sun, D., & Zheng, Z. (2023). Examining pre-service chemistry teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK) of using data-logging in the chemistry classroom. *Sustainability*, 15(21), 15441. <https://doi.org/10.3390/su152115441>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of business research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- ElSayary, A., Al Murshidi, G., Ragab, K., & Al Zaabi, A. (2026). AI transformation in education: Examining teachers' perceptions using an integrated TAM-TPACK-GenAI framework. *Contemporary Educational Technology*, 18(1), ep636. <https://doi.org/10.30935/cedtech/17983>
- Engeström, Y. (2014). *Learning by expanding: An activity-theoretical approach to developmental research*. Cambridge University Press.
- Feenberg, A. (2002). *Transforming technology: A critical theory revisited*. Oxford University Press.
- Feldman-Maggor, Y., Blonder, R., & Alexandron, G. (2025). Perspectives of generative AI in chemistry education within the TPACK framework. *Journal of Science Education and Technology*, 34(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10147-3>
- Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. (2004). School engagement: Potential of the concept, state of the evidence. *Review of educational research*, 74(1), 59-109. <https://doi.org/10.3102/00346543074001059>
- Godoy, L. F. (2021). Una propuesta educativa basada en el TPACK para la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación del concepto de movimiento. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias: Góndola, Ens Aprend Cienc*, 16(1), 140-157. <https://doi.org/10.14483/23464712.15734>
- Guaíta, R. I., & Gonçalves, F. P. (2022). A experimentação no ensino de química articulada às tecnologias digitais de informação e comunicação: problematizações de conhecimentos na formação de professores de Química. *Química Nova*, 45(6), 747-756.
- Gong, X., Wei, B., Bergey, B. W., & Shockley, E. T. (2022). Unpacking chemistry teachers' pedagogical reasoning and decisions for a PhET simulation: a TPACK perspective. *Journal of Chemical Education*, 100(1), 34-44. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00397>
- Gottardo, L., & Bervian, P. V. (2024). Conhecimento tecnológico pedagógico de conteúdo na formação inicial de professores de ciências: estado do conhecimento. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 19(2), 313-326. <https://doi.org/10.14483/23464712.20021>
- Hadas, B., Herscovitz, O., & Dori, Y. J. (2023). Analysis of online assignments designed by chemistry teachers based on their knowledge and self-regulation. *Chemistry Teacher International*, 5(2), 189-201. <https://doi.org/10.1515/cti-2022-0037>
- Jaipal-Jamani, K., & Figg, C. (2014). The framework of TPACK-in-practice: Designing content-centric technology professional learning contexts to develop teacher knowledge of technology-enhanced teaching (TPACK). In *Technological pedagogical content knowledge: Exploring, developing, and assessing TPACK* (pp. 137-163). https://doi.org/10.1007/978-1-4899-8080-9_7
- Jammeh, A. L., Karegeya, C., & Ladage, S. (2024). Application of technological pedagogical content knowledge in smart classrooms: views and its effect on students' performance in chemistry. *Education and Information Technologies*, 29(8), 9189-9219. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12158-w>
- Júnior, G. G. G., Morais, C., Goes, L. F., & Costa, G. G. (2025). A proposal to integrate teacher digital competencies and professional knowledge associated with PCK and TPACK. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 20(2). <https://doi.org/10.14483/23464712.22023>
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of science education*, 24(4), 369-387. <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Karataş, F., & Ataç, B. A. (2025). When TPACK meets artificial intelligence: Analyzing TPACK and AI-TPACK components through structural equation modelling. *Education and Information Technologies*, 30(7), 8979-9004. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13164-2>
- Karpudewan, M. (2024). Augmented reality as a platform to present green sustainable chemistry to improve preservice teachers' competency on technological pedagogical content knowledge. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 39, 101582. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101582Get>
- Leite, B. S. (2021). Pesquisas sobre as tecnologias digitais no ensino de química. *Debates em Educação*, 13(30), 1-19.

- López, A., Meneses, A., & Montenegro, M. (2025). Pre-service Teachers' TPACK and Its Relationship to Technology Integration in Science Learning Activities. *Journal of Science Education and Technology*, 34(2), 436-451. <https://doi.org/10.1007/s10956-025-10201-8>
- Marlina, M., Rahim, A., Ria, R. P., & Hadi, H. S. (2023). Technological pedagogical content knowledge in chemistry education: A review and bibliometric analysis using VOSviewer and RStudio Applications. *Moroccan Journal of Chemistry*, 11(3), J-Chem. <https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v11i3.39572>
- Mishra, P. (2019). Considering contextual knowledge: The TPACK diagram gets an upgrade. *Journal of digital learning in teacher education*, 35(2), 76-78. <https://doi.org/10.1080/21532974.2019.1588611>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054.
- Orel, M., Peklaj, C., & Savec, V. F. (2024). Exploring Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge as an Indicator for the Planning of In-service Teacher Training in Chemistry Education. *Acta Chimica Slovenica*, 71(3). <https://doi.org/10.17344/acsi.2024.8783>
- Raihanah, D., Putri, N. M., Fatmawati, T. K., & Nurjayadi, M. (2024). Analysis of technological pedagogical content knowledge (TPACK) ability for prospective chemistry teacher students and chemistry teachers: A literature review. *Jurnal Pijar Mipa*, 19(1), 67-74. <https://doi.org/10.29303/jpm.v19i1.6395>
- Rap, S., Feldman-Maggor, Y., Aviran, E., Shvarts-Serebro, I., Easa, E., Yonai, E., Yonai, E., Waldman, R., & Blonder, R. (2020). An applied research-based approach to support chemistry teachers during the COVID-19 pandemic. *Journal of chemical education*, 97(9), 3278-3284. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00687>
- Selwyn, N. (2015). Technology and education – Why it's crucial to be critical. In S. Bulfin, N. F. Johnson, & L. Rowan (Eds.), *Critical Perspectives on Technology and Education* (pp. 245–255). https://doi.org/10.1057/9781137385451_14
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X01500200>
- Siqueira, L. E., & Bedin, E. (2024). A incorporação do TPACK em licenciandos em Física e a sua materialização em Planos de Trabalhos de Iniciação à Docência. *Revista Cocar*, 21(39).
- Townsend, J. (2025). *TPACK model explained with examples for the classroom*. Nearpod Blog. <https://nearpod.com/blog/tpack/>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Vygotsky, L. S. (1987). *The collected works of LS Vygotsky: Problems of the theory and history of psychology* (Vol. 3). Springer Science & Business Media.
- Walan, S. (2020). Embracing digital technology in science classrooms-secondary school teachers' enacted teaching and reflections on practice. *Journal of Science Education and Technology*, 29(3), 431-441. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09828-6>
- Widyasari, F., Masykuri, M., Mahardiani, L., Saputro, S., & Yamtinah, S. (2022). Measuring the effect of subject-specific pedagogy on TPACK through Flipped learning in e-learning classroom. *International Journal of Instruction*, 15(3), 1007-1030.
- Yamtinah, S., Astari, M. A., Masykuri, M., & Susilowati, E. (2024). Development of Web-Based TPACK Scaffolding for Online Learning to Enhance TPACK Skills of Preservice Chemistry Teachers. *Journal of Educators Online*, 21(3), n3.
- Yeh, Y. F., Hsu, Y. S., Wu, H. K., Hwang, F. K., & Lin, T. C. (2014). Developing and validating technological pedagogical content knowledge-practical (TPACK-practical) through the Delphi survey technique. *British Journal of Educational Technology*, 45(4), 707-722. <https://doi.org/10.1111/bjet.12078>
- Zimmermann, F., Melle, I., & Huwer, J. (2021). Developing prospective chemistry teachers' TPACK—A comparison between students of two different universities and expertise levels regarding their TPACK self-efficacy, attitude, and lesson planning competence. *Journal of Chemical Education*, 98(6), 1863-1874. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01296>