

Scaffolds para Formação e Teste de Hipóteses durante Modelagem Científica em um Curso de Pedagogia

LUCAS VASCONCELOS

Resumo - Preparar professores para o ensino integrado de ciências, tecnologia, engenharia e matemática (STEM) é indispensável. Esse estudo propõe um módulo interdisciplinar que combina programação em blocos e modelagem científica, e apresenta resultados com estudantes de um curso de pedagogia em STEM. Especificamente, o estudo investigou o impacto de scaffolds para a formação e teste de hipóteses durante o uso de programação em blocos para criar simulações e desenvolver modelos de um sistema de purificação de água. Métodos mistos de análise foram usados para examinar as hipóteses, reflexões escritas, e entrevistas individuais com participantes. Resultados mostraram que scaffolds promoveram habilidades de abstração, melhor compreensão sobre o experimento, negociação de sentidos entre pares, e persistência para atingir precisão representacional entre hipóteses formadas e a simulação. Em suma, scaffolds tiveram um impacto positivo no desenvolvimento de modelos científicos entre participantes. Limitações do estudo, implicações para a formação de professores, e direcionamentos para futuras pesquisas serão discutidos.

Palavras-chave: Scaffolds. Hipóteses. Modelagem Científica. Programação em Blocos.

Introdução

Experiências de aprendizagem que integram ciências, tecnologia, engenharia, e matemática (STEM) preparam estudantes para a resolução de problemas complexos e interdisciplinares (BERISHA; VULA, 2021; SHERNOFF *et al.*, 2017). Desenvolver uma geração de cidadãos capaz de resolver problemas interdisciplinares pode contribuir para a inovação, descoberta científica, e crescimento econômico do país (KELLEY, KNOWLES, 2016; KURUP *et al.*, 2019).

Treinamento para o ensino interdisciplinar de STEM em cursos de pedagogia é crucial para que futuros professores estejam confiantes e preparados para oferecer essas atividades de aprendizagem nas suas salas de aula. Ainda assim, a maioria dos professores é treinada para ensinar uma das disciplinas de STEM de forma isolada (HONEY; PEARSON; SCHWEINGRUBER, 2014). Muitos programas de pedagogia não têm um currículo dedicado a STEM, o que impede que esses professores possam efetivamente oferecer essas atividades (KURUP *et al.*, 2019; QUINN; BELL, 2013).

Embasamento Teórico

Modelos científicos simplificam e indiretamente representam um fenômeno complexo (KNUUTTILA, 2011; SEEL, 2017). Modelos científicos podem ser criados e recriados para cumprir uma variedade de propósitos epistêmicos, como testar hipóteses, analisar variáveis, explicar e visualizar um fenômeno durante um período de tempo, e formular previsões sobre certos eventos (GOUVEA;



EDUCAÇÃO 5.0
A Revolução da Aprendizagem

21 A 23
Setembro

PASSMORE, 2017; MAHR, 2011). Por exemplo, modelos meteorológicos fazem previsões sobre furacões que podem atingir populações. O processo de criar modelos científicos é chamado modelagem científica. Esse é um processo para gerar conhecimento que envolve a construção, teste, avaliação, e

refinamento de modelos para melhor entender e explicar um dado fenômeno (AUTOR *et al.*, 2020a; SCHWARZ *et al.*, 2009).

A programação em blocos consiste em usar blocos que incorporam comandos de programação. Essa linguagem de programação simplificada é apropriada para todas as idades (YADAV *et al.*, 2016), especialmente para iniciantes sem experiência em programação, como estudantes de pedagogia em áreas de humanas (AUTOR *et al.*, 2020a,b). Para programar com blocos, é preciso arrastar os blocos na área do computador, conectá-los para criar uma sequência algorítmica, e isso vai gerar um feedback visual (MALONEY *et al.*, 2010). Sequências algorítmicas podem ser criadas para diferentes agentes para representar interações entre eles.

Construtivismo e construcionismo servem como perspectivas teóricas para esse estudo, e elas postulam que a aprendizagem é eficaz através da construção de artefatos tangíveis e compartilháveis (KAFAI, 2012; PAPERT, 1980). A programação em blocos pode servir para criar simulações como uma estratégia de promover aprendizagem interdisciplinar envolvendo ciências da computação e ciências para estudantes de pedagogia. Simulações são modelos dinâmicos que incorporam regras e características de um fenômeno (DIPIETRO *et al.*, 2007) e possibilitam a manipulação indireta desse fenômeno para visualizar resultados de certas ações (SHEN *et al.*, 2014).

Da perspectiva das ciências da computação, a programação em blocos reduz a complexidade e evita erros de sintaxe que o em linguagens de programação textuais (BAU *et al.*, 2017). Da perspectiva do ensino de ciências, a programação de uma simulação possibilita a transposição de modelos mentais para a tela do computador, a visualização das próprias ações refletidas nos resultados de experimentos virtuais, e o refinamento de um modelo científico com base no feedback (RENKEN *et al.*, 2016). Mas é importante salientar que a simulação com blocos pode ser desafiadora para aprendizes sem nenhuma experiência com programação. Scaffolds são necessários para ajudá-los.

Scaffolding instrucional é o suporte temporário para um aprendiz realizar um objetivo ou completar uma tarefa que está um pouco além das duas habilidades (BELLAND, 2017; WOOD *et al.*, 1976). Sem esse suporte, aprendizes não seriam capazes de atingir esse objetivo/tarefa. Por exemplo, scaffolds podem estruturar uma sequência passo a passo para completar uma tarefa complexa, oferecer sugestões para direcionar a atenção do aprendiz para conceitos relevantes, ou até a organização de informação que sejam conceitualmente acessíveis (GE; LAND, 2004; REISER, 2004). Espera-se que os scaffolds desapareçam com o tempo (BELLAND, 2017; TAWFIK *et al.*, 2018) à medida que o aprendiz se torna independente e consegue completar a mesma tarefa sozinho.

Formar e testar hipóteses é parte central para a investigação científica com simulações. Hipótese é uma declaração que estabelece uma relação entre duas ou mais variáveis (DE JONG, 2006; VAN JOOLINGEN; DE JONG, 1991). Para formar uma hipótese, é necessário articular a conexão entre variáveis de forma que elas possam ser operacionalizadas e manipuladas, enquanto testar uma hipótese consiste em verificar e validar se a relação entre variáveis existe.

Scaffolds para formação e teste de hipóteses são extensivamente usados em contextos de aprendizagem com investigações científicas. van Joolingen e de Jong (1991) usaram um caderno de notas com listas de variáveis, condições, e relações entre elas para guiar a formação e teste de hipóteses entre alunos de química. O estudo revelou que o grupo que recebeu os scaffolds formou mais hipóteses comparado a outros que receberam scaffolds menos específicos ou nenhum scaffold. Em um outro estudo, Peffer *et al.* (2015) ofereceu uma lista de hipóteses pré-determinadas que alunos poderiam escolher para testar as simulações. Esses alunos entenderam melhor conceitos de ciências e práticas de investigação científica. Jovens aprendizes precisam de scaffolds para sustentar seu engajamento na investigação científica (GIJLERS; DE JONG, 2009; MAYER, 2004), assim como na aprendizagem de programação em blocos (AUTOR *et al.*, 2020a). Nenhum estudo empírico examinou o impacto de scaffolds para a formação e teste de hipóteses na formação de modelos científicos de alunos de pedagogia enquanto eles usam programação em blocos. Esse estudo preenche essa lacuna na literatura.

Propósito e questões de investigação

Esse estudo investigou o impacto de scaffolds formação e teste de hipóteses no desenvolvimento de modelos científicos durante a programação em blocos para criar simulações de um sistema de purificação de água. Essa questão norteou o estudo: até que ponto o uso de scaffolds para formação e teste de hipóteses durante a programação de uma simulação influencia o desenvolvimento de um modelo científico?

Metodologia

Este foi um estudo de métodos mistos em que dados qualitativos e quantitativos foram coletados e seus resultados foram triangulados para fornecer uma compreensão aprofundada (JOHNSON; ONWUEGBUZIE, 2004; PLANO CLARK; IVANKOVA, 2015) sobre as experiências dos participantes. A triangulação de dados qualitativos e quantitativos contribui para o rigor interpretativo (CRESWELL; CRESWELL, 2017; MERTENS; HESSE-BIBER, 2012).

Contexto e Participantes

Participantes desse estudo foram 19 alunos de pedagogia em uma universidade do sudeste dos Estados Unidos. Eles cursavam uma disciplina presencial sobre o ensino de ciências com tecnologias. Eles eram dezessete alunos de Mestrado e doze de graduação. Doze eram mulheres, oito eram homens. Treze eram brancos, dois asiáticos, dois negros, e um latino. Uma pessoa não revelou sua raça/etnia. Em média, participantes tinham 22.68 anos de idade. Pseudônimos são usados nesse estudo para proteger a identidade dos participantes.

Procedimentos

Primeiramente foi oferecida uma oficina (2 horas) sobre programação em blocos com Scratch para familiarizar os participantes com conceitos de programação. A ideia foi tornar os participantes confortáveis para usar programação em blocos durante as atividades de modelagem científica (Autor *et al.*, 2020b).

Na semana seguinte, participantes foram apresentados a um problema complexo que envolvia planejar um sistema de purificação para limpar água fluvial contaminada. Eles identificaram mídias purificadoras (cascalho, carvão ativado, e algodão) como variáveis independentes, e porosidade, qualidade da água, e eficácia da filtração como variáveis dependentes. Eles trabalharam em pares.

Então os participantes receberam scaffolds impressos para guiar a formação e teste de hipóteses. Esses scaffolds continham hipóteses parcialmente especificadas. Por exemplo, eles completaram hipóteses como “Carvão ativado resulta em água ___ (clara, salobra, escura)”, “Carvão ativado resulta em ___ (rápido, médio, lento) tempo de filtragem”, e “Carvão ativado resulta em (pequena, médio, grande) proporção entre entrada e saída de água.” No total, participantes completaram 18 hipóteses para dois experimentos. Subsequentemente, eles testaram suas hipóteses ao programar a simulação de um sistema de purificação de água. Na simulação, era possível modificar a mídia purificadora e programar os blocos para visualizar o efeito na claridade da água, tempo de filtração, e entrada e saída de água. Por exemplo, a Figura 1 mostra que o algodão (cotton) vai resultar em água salobra (brackish water).

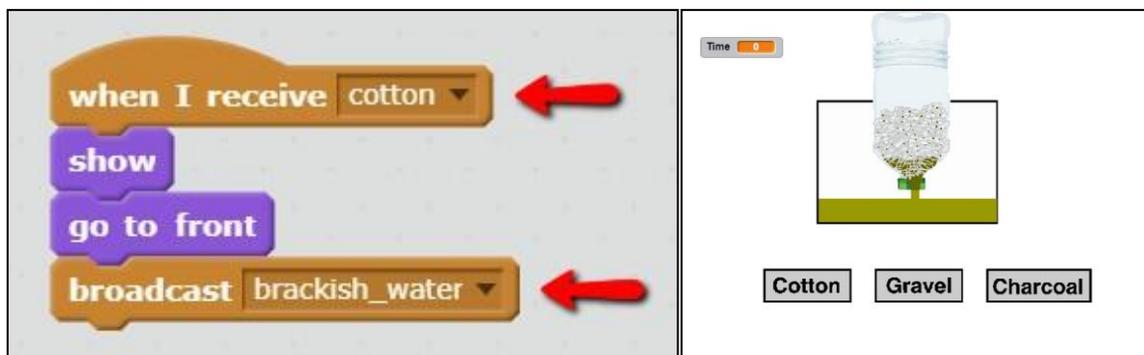


Figura 1. Simulação com algodão dentro do sistema purificador.

Em seguida, participantes conduziram experimentos físicos análogos no laboratório de ciências. Durante essa atividade, eles receberam scaffolds novamente para completar declarações idênticas às hipóteses iniciais, mas agora com base nos resultados empíricos. Finalmente, os participantes retornaram aos computadores e revisaram a programação da simulação, caso necessário, para demonstrar os resultados dos experimentos.

Fontes de Dados

Quatro fontes de dados foram usadas para avaliar o desenvolvimento de modelos científicos dos participantes. Para avaliar a mudança no modelo científico dos participantes, as hipóteses iniciais e as hipóteses reformuladas coletadas antes e depois dos experimentos foram usadas. Cada par completou um total de 36 hipóteses, gerando 360 hipóteses no total.

Transcrições de uma entrevista com participantes e uma reflexão escrita por eles foram usadas para avaliar a compreensão sobre as variáveis do experimento. Por exemplo, foi perguntado durante a entrevista: *quais blocos foram usados para representar variáveis no experimento?* Onze participantes aceitaram ser entrevistados. Na reflexão, participantes escreveram sobre sua experiência programando a simulação e explicaram como os blocos materializaram os conceitos científicos. Onze participantes completaram a reflexão.

Análise de dados

Dados qualitativos sobre as variáveis foram convertidos em dados quantitativos (exemplo: água escura = 1; água salobra = 2; água clara = 3), assim como os dados sobre a precisão das hipóteses iniciais e finais para cada uma das variáveis dependentes (exemplo: 0 = incorreto, 1 = correto). Essa quantificação possibilitou a análise estatística dos dados (SANDELOWSKI *et al.*, 2009; TEDDLIE; TASHAKKORI, 2006). Para determinar se mudanças nos modelos desenvolvidos pelos participantes foram estatisticamente significantes, o teste não-paramétrico Wilcoxon signed-ranks (FIELD, 2013; NOLAN; HEINZEN, 2012) foi administrado no SPSS. Esse teste é apropriado para análises estatísticas com pequenas amostras de participantes.

Análise qualitativa indutiva e temática (CLARKE; BRAUN, 2013; CRESWELL; CRESWELL, 2017) foi administrada no NVivo. O autor e um assistente de pesquisa analisaram dados individualmente, compararam resultados preliminares, resolveram discrepâncias, e então o autor concluiu a análise.

Resultados Quantitativos

Resultados mostraram que as diferenças entre hipóteses iniciais e finais dos participantes foram estatisticamente significantes sobre clareza da água ($W = 28, p = .02$) no primeiro experimento. A análise de todas as outras hipóteses mostraram que diferenças não foram estatisticamente significantes (Tabela 1).

Variável	Experimento	Hipótese inicial		Hipótese revisada		W	p
		Média	DP	Média	DP		
Clareza da água	Experimento 1	1.87	.23	1.57	.23	28.00	.02
	Experimento 2	2.13	.28	1.90	.23	10.00	.09
Tempo de filtração	Experimento 1	2.00	.31	1.97	.10	12.00	.82
	Experimento 2	2.13	.32	1.93	.21	3.00	.35
Entrada e saída de água	Experimento 1	2.13	.36	2.13	.23	8.50	.75
	Experimento 2	2.13	.42	2.03	.24	15.00	.40

Tabela 1. Resultados Quantitativos

Resultados Qualitativos

Tema 1: Scaffolds Promoveram Abstração Conceitual e Computacional.

Os participantes demonstraram habilidades de abstração ao usar os scaffolds para formação e teste de hipóteses. Abstração consiste em entender e manipular um objeto que representa e encapsula propriedades de um referente (WING, 2008). Por exemplo, os blocos representam funções de programação, e também materializam propriedades do sistema de purificação de água. Os participantes demonstraram abstração ao considerar relações entre os diferentes componentes no experimento, e entre os blocos usados na simulação. Por exemplo, Elza disse que os scaffolds “ajudaram a decompor os diferentes componentes e tornar as conexões entre eles um pouco mais aparente.”

Os scaffolds guiaram a atenção dos participantes para os conceitos científicos e blocos importantes para o experimento. Matheus explicou que codificar hipóteses “permitiu que aplicássemos nosso conhecimento sobre os materiais e suas características para considerar variáveis que não teríamos considerado no início da atividade.” Similarmente, Flora disse que sem os scaffolds ela e seu par não teriam “pensado tanto sobre isso [hipóteses].”

Tema 2: Tentativa de Precisão Representacional Resultou em Debugging

Oferecer scaffolds para a formação de hipóteses no início do experimento encorajou os participantes a representar suas hipóteses com precisão na simulação. Mas quando o feedback visual não correspondeu às suas hipóteses, eles iniciaram debugging iterativo dos blocos. Debugging consiste em localizar e corrigir um erro no programa (AUTOR *et al.*, 2020c; KIM *et al.*, 2018, 2022). Debugging é um processo iterativo que pode ser guiado por hipóteses ou usar tentativas aleatórias para solucionar o problema (KIM *et al.*, 2022).

Caio explicou que o seu programa fez a água se mover muito rápido pelo purificador. Ele disse “nós sabíamos que estava se movendo muito rápido, o que significa que precisávamos aumentar o *delay* (...), então localizamos o bloco e ajustamos o tempo.” Em uma outra instância, Seth disse que “se havia um problema com os blocos, podíamos mudar instantaneamente, e também checar se o problema tinha sido solucionado.” Quando foi pedido para elaborar sua resposta, Sebastião disse que ele e seu par tiveram que decidir o “tempo [que] nós queríamos configurar como a velocidade rápida, média, e

devagar para a filtragem. Então tivemos que usar *trial and error* para ver quais representavam bem nossas hipóteses.”

Tema 3: Representação Multimodal Resulta em Melhor Compreensão.

A combinação de hipóteses escritas com simulações ajudou os participantes a desenvolver uma melhor compreensão sobre o sistema de purificação de água. Will ressaltou que escrever suas hipóteses os preparou para executar as relações entre os componentes do experimento através da programação: “Nós desenvolvemos um plano de ação no papel e fizemos nossas hipóteses. E quando chegou a horar de programar, sabíamos [o que fazer].”

Os participantes refletiram sobre representações multimodais e monomodais. Elza falou que “quando você desenha um modelo, cria um pôster, ou escreve uma reflexão, você pode ter um modelo que não funciona. (...) Ao programar uma simulação, você tem que estabelecer relações funcionais entre os componentes no modelo (...) com olhos críticos.” A natureza construtivista dessas atividades, que possibilitou a manipulação da simulação contribuiu para o desenvolvimento do modelo. Como Melissa explicou, “é muito mais fácil entender as coisas quando você visualiza e manipula o modelo em vez de só sentar e ler sobre ele.”

Tema 4: Scaffolds Promovem Negociação de Significados Durante a Programação em Pares.

Participantes formaram e testaram hipóteses de forma colaborativa, o que resultou em negociação de significados sobre o experimento durante a programação em pares. Logo no início, os participantes externalizaram seu conhecimento prévio sobre os materiais e sobre sistemas de filtração. Flavia disse “eu tenho uma garrafa de água que usa o carvão ativado para filtrar a água, então usamos o que sabíamos para as hipóteses.” John confirmou que ele e sua parceira conversaram sobre “experiências anteriores.”

Muitos participantes mencionaram que precisaram de um consenso com seu par para escrever as hipóteses e programar a simulação. Carlos disse “estávamos confiantes sobre nossos pensamentos alinhados e em total concordância antes de começar a programar.” Quando tinham perspectivas diferentes, eles propunham argumentos para defender suas hipóteses. Junior disse que “sempre que tínhamos uma opinião divergente, oferecíamos nossa melhor lógica, e depois tínhamos que chegar a uma conclusão.”

Conclusão

Esse estudo oferece entendimentos sobre a integração de atividades de STEM em um programa de pedagogia, e sobre como oferecer suporte a esses futuros professores através de scaffolds para a formação e teste de hipóteses durante a programação de simulações. Especificamente, esse módulo interdisciplinar oferece uma perspectiva para os educadores de professores que estejam

dispostos a integrar programação em blocos e modelagem científica, que são habilidades fundamentais para os alunos nas escolas.

Resultados quantitativos mostraram que poucas foram as diferenças estatisticamente significativas nas hipóteses dos participantes. Mas resultados qualitativos ofereceram uma perspectiva diferente e mais aprofundada. Os temas qualitativos revelaram que scaffolds para a formação e teste de hipóteses tiveram um impacto positivo no desenvolvimento de modelos de sistemas de purificação de água. Os scaffolds ajudaram os participantes a entender os diferentes componentes em um problema, ofereceram oportunidades para criar declarações de hipóteses para guiar a investigação científica, encorajaram a representação de hipóteses com precisão conceitual na simulação, promoveram externalização de conhecimentos prévios e negociação de significados entre pares, e facilitaram abstração conceitual e computacional. Esses resultados mostram a importância de oferecer atividades integradas de STEM para que futuros professores tenham a experiência de um estudante a fim de desenvolver uma compreensão aprofundada sobre o que realmente é necessário para resolver problemas interdisciplinares usando conceitos e práticas compartilhadas por múltiplas disciplinas.

Referências

Autor *et al.* (2020a)

Autor *et al.* (2020b)

Autor *et al.* (2020c).

BAU, David.; GRAY, Jeff; KELLEHER, Caitlin; SHELDON, Josh; TURBAK, Franklyn. Learnable programming: Blocks and beyond. **Communications of the ACM**, v. 60, n. 16, p. 72–80, 2017. <https://doi.org/10.1145/3015455>

BELLAND, Brian R. **Instructional scaffolding in STEM education: Strategies and efficacy evidence**. New York: Springer International Publishing, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-02565-0>

BERISHA, Fatlume; VULA, Eda. Developing pre-service teachers conceptualization of STEM and STEM pedagogical practices. **Frontiers in Education**, v. 6, p. 1–10, 2021. <https://doi.org/10.3389/educ.2021.585075>

CLARKE, Victoria; BRAUN, Virginia. Teaching thematic analysis: Overcoming challenges and developing strategies for effective learning. **The Psychologist**, v. 26, n. 2, p. 120–123, 2013.

CRESWELL, John Ward; CRESWELL, John David. **Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches** (5th ed.). Thousand Oaks: Sage Publications, 2017.

de JONG, Ton. Scaffolds for scientific discovery learning. In: ELEN, Jan; CLARK, Richard (Org.), **Handling complexity in learning environments: Theory and research**. Amsterdam: Elsevier, 2006. P. 107–128).

DIPIETRO, Meredith; FERDIG, Richard; BOYER, Jeffrey; BLACK, Erik Wade. Towards a framework for understanding electronic educational gaming. **Journal of Educational Multimedia and Hypermedia**, v. 16, n. 3, p. 225-248, 2007.

FIELD, Andy. **Discovering statistics using IBM SPSS statistics**: And sex and drugs and rock'n'roll (3rd ed.). Thousand Oaks: Sage Publications, 2013.

GE, Xun; LAND, Susan. A conceptual framework for scaffolding ill-structured problem-solving processes using question prompts and peer interactions. **Educational Technology Research and Development**, v. 52, n. 2, p. 5–22, 2004 <https://doi.org/10.1007/BF02504836>

GIJLERS, Hannie; de JONG, Ton. Sharing and confronting propositions in collaborative inquiry learning. **Cognition and Instruction**, v. 27, p. 3, p. 239–268, 2009 <https://doi.org/10.1080/07370000903014352>

GOUVEA, Julia; PASSMORE, Cynthia. 'Models of' versus 'models for': Toward an agent-based conception of modeling in the science classroom. **Science & Education**, v. 26, n. 1, p. 49–63, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9884-4>

HONEY, Margaret; PEARSON, Greg.; SCHWEINGRUBER, Heidi. **STEM integration in K-12 education**: Status, prospects, and an agenda for research. Washington: The National Academies Press, 2014. <https://doi.org/10.17226/18612>

JOHNSON, Burke; ONWUEGBUZIE, Anthony. Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. **Educational Researcher**, v. 33, n. 7, p. 14–26, 2004.

KAFAI, Yasmin. Constructionism. In SAWYER, Keith (Org.), **The Cambridge handbook of the learning sciences**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. P. 35-46.

KELLEY, Todd R.; KNOWLES, J. Geoff. A conceptual framework for integrated STEM education. **International Journal of STEM Education**, v. 3, n. 1, p. 1–11, 2016. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>

KIM, ChanMin; VASCONCELOS, Lucas; BELLAND, Brian R.; UMUTLU, Duygu; GLEASMAN, Cory. Debugging behaviors of early childhood teacher candidates with or without scaffolding. **International Journal of Educational Technology in Higher Education**, v. 19, p. 1–26, 2022.

KIM, ChanMin; YUAN, Jiangmei; VASCONCELOS, Lucas; Shin, MINYOUNG; HILL, Roger. Debugging during block-based programming. **Instructional Science**, v. 46, n. 5, p. 767–787, 2018.

KNUUTTILA, Tarja. Modelling and representing: An artefactual approach to model-based representation. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 42, n. 2, p. 262–271, 2011.

KURUP, Premnadh; LI, Xia; POWELL, Greg; BROWN, Michael. Building future primary teachers' capacity in STEM: Based on a platform of beliefs, understandings and intentions. **International Journal of STEM Education**, v. 6, n. 1, p. 1–14, 2019.

MAHR, Bernd. On the epistemology of models. In Abel, Günter; Conant, James (Orgs.), **Rethinking epistemology**. Vol. 2. Berlin: De Gruyter, 2011. P. 301-352.

MALONEY, John; RESNICK, Mitchel; RUSK, Natalie; SILVERMAN, Brian; EASTMOND, Evelyn. The Scratch programming language and environment. **ACM Transactions on Computing Education**, v. 10, n. 4, p. 1–15, 2010.

MAYER, Richard. Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. **American Psychologist**, v. 59, n. 1, p. 14–19, 2004.

MERTENS, Donna; HESSE-BIBER, Sharlene. Triangulation and mixed methods research: Provocative positions. **Journal of Mixed Methods Research**, v. 6, n. 2, p. 75–79, 2012.

NOLAN, Susan; HEINZEN, Thomas. **Statistics for the behavioral sciences** (2nd ed.). New York: Worth Publishers, 2012.

PAPERT, Seymour. **Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas**. New York: Basic Books, 1980.

PEFFER, Melanie; BECKLER, Matthew; SCHUNN, Christian; RENKEN, Maggie; REVAK, Amanda. Science classroom inquiry (SCI) simulations: A novel method to scaffold science learning. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, p. 1-14, 2015.

PLANO CLARK, Vicki; IVANKOVA, Natalia. **Mixed methods research: A guide to the field**. Los Angeles: Sage Publications, 2015.

QUINN, Helen; BELL, Philip. How designing, making, and playing relate to the learning goals of K-12 science education. In HONEY, Margaret (Org.), **Design, make, play: Growing the next generation of STEM innovators**. New York: Routledge, 2013.

REISER, Brian J. Scaffolding complex learning: The mechanisms of structuring and problematizing student work. **The Journal of the Learning Sciences**, v. 13, n. 3, p. 273–304, 2004.

RENKEN, Maggie; PEFFER, Melanie; OTREL-CASS, Kathrin; GIRAULT, Isabelle; CHIOCCARIELLO, Augusto. **Simulations as scaffolds in science education**. New York: Springer, 2016.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-24615-4>

SANDELOWSKI, Margarete; VOILS, Corrine; KNAFL, George. On quantizing. **Journal of Mixed Methods Research**, v. 3, n. 3, p. 208–222, 2009.

SCHWARZ, Christina. V.; REISER, Brian. J.; DAVIS, Elizabeth A.; KENYON, Lisa; ACHÉR, Andres; FORTUS, David; SHWARTZ, Yael; HUG, Barbara; KRAJCIK, Joe. Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 46, n. 6, p. 632–654, 2009.

SEEL, Norbert M. Model-based learning: A synthesis of theory and research. **Educational Technology Research and Development**, v. 65, p. 931–966, 2017.

SHEN, Ji; LEI, Jing; CHANG, Hsin-Yi; NAMDAR, Bahadir. Technology-enhanced, modeling-based instruction (TMBI) in science education. In SPECTOR, Michael; MERRILL, David; ELEN, Jan; BISHOP, M. J. (Orgs.), **Handbook of research on educational communications and technology** (pp. 529–540). New York: Springer, 2014.

SHERNOFF, David J.; SINHA, Suparna; BRESSLER, Denise M.; GINSBURG, Lynda. Assessing teacher education and professional development needs for the implementation of integrated approaches to STEM education. **International Journal of STEM Education**, v. 4, n. 1, p. 1–13, 2017.

TAWFIK, Andrew A.; LAW, Victor; GE, Xun; XING, Wanli; KIM, Kyung. The effect of sustained vs. faded scaffolding on students' argumentation in ill-structured problem solving. **Computers in Human Behavior**, v. 87, n. 1, p. 436–449, 2018.

TEDDLIE, Charles; TASHAKKORI, Abbas. A general typology of research designs featuring mixed methods. **Research in the Schools**, v. 13, n. 1, p. 12–28, 2006.

van JOOLINGEN, Wouter R.; de JONG, Ton. Supporting hypothesis generation by learners exploring an interactive computer simulation. **Instructional Science**, v. 20, n. 5/6, p. 309–404, 1991.

WING, Jeannette. Computational thinking and thinking about computing. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 366, n. 1881, p. 3717–3725, 2008.

WOOD, David; BRUNER, Jerome; ROSS, Gail. The role of tutoring in problem solving. **Journal of Child Psychology and Psychiatry**, v. 17, n. 2, p. 89–100, 1976.

YADAV, Aman; GRETTER, Sarah; HAMBRUSCH, Susanne; SANDS, Phil. Expanding computer science education in schools: Understanding teacher experiences and challenges. **Computer Science Education**, v. 26, n. 4, p. 235–254, 2016.