

Desenvolvimento da literacia química de alunos do ensino básico: contributos de um projeto educacional de ciência cidadã

Development of chemical literacy in Basic Education students: contributions of an educational citizen science project

José Luís Araújo¹, Carla Morais² y João Carlos Paiva²

Resumo

Os projetos de ciência cidadã têm relevado potencial para promover a literacia científica dos alunos nas suas dimensões afetiva e cognitiva. Contudo, em química, estes projetos são ainda escassos. Assim, partindo do contexto da qualidade das águas costeiras e da sua poluição por (micro)plásticos, foi desenvolvido o projeto de ciência cidadã PVC – *Perceiving the Value of Chemistry behind water and microplastics*, onde a química assume um papel central. No sentido de conhecer os contributos do projeto desenvolvido, foram investigadas as atitudes face à química de 574 alunos (442 do grupo experimental e 132 do grupo de controlo) do 3º Ciclo do Ensino Básico e a sua aprendizagem da química, ao nível conceptual e processual. Para tal, aplicou-se um questionário de atitudes como pré e pós-teste, um teste de conhecimentos e foram ainda recolhidas notas de campo. No pré-teste registaram-se atitudes positivas no grupo experimental e no grupo de controlo. No pós-teste, o grupo experimental apresentou mudanças de atitudes significativamente mais positivas do que o grupo de controlo, em todas as dimensões presentes no questionário. A análise dos resultados dos testes de conhecimento sugere ainda que o projeto PVC promoveu a aprendizagem conceptual da química relacionada com a análise dos parâmetros físico-químicos das águas e com os polímeros. Processualmente, verificou-se a aprendizagem de técnicas laboratoriais e o desenvolvimento de competências como a autonomia, a colaboração, e o pensamento crítico, bem como a capacidade de comunicação de ideias e de resultados.

Palavras-chave : ciência cidadã; literacia química; ensino da química; atitudes face à química.

Abstract

Citizen science projects have revealed the potential to promote students' scientific literacy in its affective and cognitive dimensions. However, in chemistry, these projects are still scarce. Thus, starting from the context of the quality of coastal water and its pollution by (micro)plastics, the citizen science project *PVC - Perceiving the Value of Chemistry behind water and microplastics* was developed, in which chemistry plays a central role. In order to know the contributions of this project, were investigated the attitudes towards chemistry of 574 Portuguese students (442 from the experimental group and 132 from the control group) of the 3rd Cycle of Basic Education and their chemistry learning at the conceptual and procedural level. To this end, an attitude questionnaire, as a pre- and post-test, and a knowledge test were applied. Moreover, field notes were also collected. In the pre-test, positive attitudes were observed in both experimental and control groups. In the post-test, the experimental group showed significantly more positive attitudinal changes than the control group in all the dimensions presented in the questionnaire. The analysis of the results of the knowledge tests also suggests that the PVC project promoted the conceptual learning of chemistry related to the analysis of the physicochemical parameters of water and polymers. At a procedural level, it has become evident the learning of laboratory techniques and the development of skills such as autonomy, collaboration, and critical thinking, as well as the ability to communicate ideas and results promoted by the engagement in PVC project.

Keywords : citizen science; chemical literacy; teaching of chemistry; attitudes towards chemistry.

CÓMO CITAR:

Araújo, J. L., Morais, C., y Paiva, J. C. (2024). Desenvolvimento da literacia química de alunos do ensino básico: contributos de um projeto educacional de ciência cidadã. *Educación Química*, 35(4). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.4.87280>

¹ CIDTFF, Departamento de Educação e Psicologia, Universidade de Aveiro.

² CIQUP, IMS, Unidade de Ensino das Ciências, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto.

Introdução

Ao longo dos anos, a investigação na área da educação em química tem-se centrado na forma como os alunos compreendem os conceitos de química (Berg et al., 2019; Chua & Karpudewan, 2019; OEDC, 2019; Tümay, 2016) e revela que existem várias razões que levam os alunos a considerar a química como uma área de difícil aprendizagem, particularmente, devido à complexidade intrínseca desta ciência e à natureza da construção do seu *corpus* de conhecimento que é feita interrelacionando três níveis conceptuais distintos: macroscópico, submicroscópico e simbólico (Johnstone, 1991). Vários autores referem ainda outros obstáculos à aprendizagem desta ciência, nomeadamente, dificuldades de nível afetivo e atitudes negativas em relação à química (Freire et al., 2019; ; Gulacar et al., 2018; Osborne & Dillon, 2008; Winkelmann et al., 2020). A este respeito, Ibrahim e Iksan (2018) acrescentam que, ao contrário das outras áreas da ciência, a química encontra-se habitualmente conotada pelos alunos como uma área difícil, pois, do ponto de vista cognitivo, os alunos consideram a química como uma disciplina difícil porque exige o domínio, não só, dos conteúdos da própria química, mas também de competências matemáticas. Além disso, do ponto de vista afetivo, estes autores defendem ainda a necessidade de que as atitudes negativas dos alunos face à química sejam superadas, uma vez que a química é uma ciência central que está amplamente presente no nosso quotidiano. Também Cardellini (2012) refere que nas últimas décadas, o interesse e o desempenho dos alunos face à química tem enfrentado um declínio e vários autores como, por exemplo, Aikenhead (2003) e Sausan et al. (2018) justificam isto, também, pelo facto desta ciência ser considerada pelos alunos como irrelevante, aborrecida e desajustada da sua realidade e sem interesse para o seu futuro. Portanto, urge a necessidade de promover experiências educativas que motivem os alunos para esta ciência, promovendo a literacia química nos seus diferentes domínios.

Neste sentido, desenvolveu-se o projeto educacional de ciência cidadã PVC - *Perceiving the Value of Chemistry behind water and microplastics* (que se apresenta adiante em maior detalhe) com o propósito de promover o desenvolvimento da literacia química dos alunos nas suas dimensões afetiva e cognitiva, e cujos resultados se apresentam neste trabalho. Adicionalmente, o projeto desenvolvido visou também a integração em sala de aula de uma abordagem de ciência cidadã que permitiu a exploração de contextos reais e de problemáticas sociais contemporâneas, pois, tal como com Aristeidou (2023) e Nichols (2018) defendem, esta poderá ser uma forma bem sucedida para contribuir para um melhor entendimento do *corpus* de conhecimento da química e da sua potencial aplicação na prevenção e resolução de problemas socio-científicos, como, por exemplo, a sustentabilidade ambiental.

Literacia química

A OCDE (2016, 2019) define a literacia científica como a capacidade dos cidadãos em se envolverem, de forma crítica e reflexiva, em questões relacionadas com a ciência e a tecnologia. Para, por exemplo, Cavas et al. (2013) e Dašić et al. (2024), a literacia científica não engloba apenas o conhecimento e a compreensão da ciência, mas também as atitudes, valores e comportamentos relacionados com a ciência e a tecnologia e seu impacto na sociedade. Neste sentido, vários autores defendem que, para além da literacia científica no seu sentido mais lato, é importante, também, promover literacias mais específicas

como, por exemplo, o caso da literacia química (Gilbert & Treagust, 2009; Sjöström & Eilks, 2018). De acordo com Shwartz et al., (2005), uma pessoa quimicamente literada é capaz de compreender, interpretar e aplicar conceitos e informações relacionadas com a química no dia a dia, permitindo-lhes tomar decisões mais informadas sobre questões relacionadas com o ambiente, a saúde, a tecnologia e/ou a sociedade. Em geral, a literacia química, engloba, para além dos contextos, os conhecimentos e as competências relacionadas com esta ciência e possui também uma dimensão afetiva que se relaciona com a expressão de interesse por assuntos relacionados com a química. Chang e Goldsby (2013) enfatizam que “a química é uma ciência ativa e evolutiva, que tem uma importância para o nosso mundo, quer no âmbito da natureza, quer no da sociedade” (p. 2) e, como tal, torna-se necessário promover a literacia química para que os alunos possam compreender e avaliar criticamente o mundo que os rodeia (Kohen et al., 2020). Osborne et al. (2003) e Kohen et al. (2020), por exemplo, constatarem que os alunos apresentam interesses bem distintos relativamente às diferentes áreas científicas. No caso da química, o interesse dos alunos por esta ciência acaba, muitas vezes, por ser diminuto, uma vez que a identificação da sua relevância no dia a dia é menos óbvia (Salta & Tzougraki, 2004; Tytler & Osborne, 2014). Já Cheung (2009) constatou que, geralmente, os alunos que apresentam atitudes menos positivas face à química apresentam também classificações mais baixas nos momentos de avaliação sumativa da disciplina. Por este motivo, a promoção de atitudes positivas face à química tornou-se num dos objetivos dos currículos desta disciplina, visando potenciar a aprendizagem da química e permitir que os alunos sejam capazes de dar resposta aos desafios da sociedade na qual se inserem (Flaherty, 2020; Heng & Karpudewan, 2015).

O conceito de atitude é um dos conceitos fundamentais em psicologia social e nas ciências da educação (Dalgety et al., 2003). E, apesar do leque variado de definições que emergiram para este conceito, todas elas concordam que a atitude é uma tendência de pensar, sentir ou agir positiva, ou negativamente em relação ao meio que nos rodeia (Salta & Tzougraki, 2004; Tytler & Ferguson, 2023). Mais detalhadamente, a atitude pode ser definida como uma característica de o ser humano expressar o seu gosto ou afinidade por, por exemplo, um objeto, uma pessoa ou um assunto e pode influenciar o comportamento humano e as suas preferências (Ajzen, 2005; Rahayu et al., 2022). Neste sentido, e apesar da importância das atitudes (e de outras variáveis de natureza afetiva) para o processo de aprendizagem ser reconhecida pela investigação (Vilia & Candeias, 2020), a dimensão cognitiva da aprendizagem tende a assumir ainda, um papel central (e não raras vezes exclusivo) na implementação dos currículos, nas práticas letivas dos professores ou na avaliação do sucesso, ou insucesso alcançado pelos alunos (Ross et al., 2018; Vilia & Candeias, 2020).

Projeto PVC: uma abordagem de ciência cidadã para o ensino da química

A ciência cidadã é uma abordagem caracterizada pelo envolvimento ativo dos cidadãos na investigação científica, responsiva às necessidades sociais. De acordo com a Comissão Europeia (2016) e a Associação Europeia de Ciência Cidadã (Haklay et al., 2020), este envolvimento é transversal a várias áreas científicas e ocorre em diferentes níveis, desde estar mais bem informado sobre a ciência, a participar ativamente no processo científico, seja pela observação, recolha ou análise de dados. Esta abordagem participativa da ciência mostra-se importante para o ensino das ciências uma vez que, pela sua natureza,

contribui para a literacia científica dos alunos nos seus diferentes domínios, bem como para o desenvolvimento de atitudes e competências como, por exemplo, pensamento crítico, motivação, argumentação e comunicação (Autores, 2021). Neste sentido, Harlin et al. (2018) destacam que o número de projetos de ciência cidadã que envolvem os alunos nas suas atividades tem crescido nos últimos anos. Através dessa abordagem é possível construir-se pontes entre o conteúdo científico e os contextos sociais, tecnológicos e ambientais relevantes, nos quais esses projetos, usualmente, se focam. Contudo, apesar do potencial desta abordagem, constata-se que a ciência cidadã tem ainda pouca expressão em áreas como a química. Habitualmente, quando os projetos de ciência cidadã envolvem a química, esta parece surgir apenas como uma mera ferramenta útil, não assumindo um papel central na investigação. Segundo Motion (2019), esta escassez de projetos de ciência cidadã em química, poderá dever-se ao facto da utilização de determinados reagentes fora do laboratório ou por pessoas não especializadas ser problemático e/ou ao facto da utilização de softwares ou equipamentos especializados ser demasiado caro, ou muito difícil de ser colocado ao dispor para o uso nas escolas e comunidades. Porém, recentemente, tem-se observado um esforço da comunidade científica em desenvolver projetos de ciência cidadã de química e com uma componente educacional mais forte, evidenciando um crescente envolvimento das escolas e da sua comunidade (Follett & Strezov, 2015; Harlin et al., 2018). Em termos de avaliação do impacto da ciência cidadã para os alunos, a literatura revela que os contributos deste envolvimento são amplos, mas difíceis de avaliar e largamente diferenciados (Harlin et al., 2018). Em particular, as publicações resultantes da avaliação destes projetos não evidenciam o seu potencial no que às atitudes dos alunos diz respeito (i. e. Scheuch et al., 2018; Sullivan et al., 2014). De modo a contribuir para suprimir esta lacuna, desenvolveu-se o projeto de ciência cidadã PVC – *Perceiving the Value of Chemistry (behind water and microplastics)*. O projeto consistiu na análise de parâmetros de qualidade das águas costeiras e do lixo marinho, da região Norte Litoral de Portugal, de modo a explicitar o papel da química na sociedade e o seu contributo para a mitigação de problemáticas ambientais. Atendendo às orientações da Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável e da Década das Nações Unidas da Ciência do Oceano para o Desenvolvimento Sustentável, bem como da relevância socio-científica do tópico (Islam et al., 2024; Zhu et al., 2024), optou-se por selecionar este contexto para desenvolver o projeto PVC (Araújo et al., 2020). O projeto PVC envolveu ativamente os alunos em três fases onde a química e as suas relações com a sociedade e o ambiente tinham um papel central: 1) realização de um conjunto de tarefas inicial como pesquisas orientadas, visualização de vídeos acompanhada por roteiros de exploração, bem como atividades mais lúdicas e criativas como a realização de jogos e criação de pôsteres e infografias para promover a consciencialização para a questão da poluição dos oceanos explorada no projeto; 2) visitas às praias de regiões próximas das escolas colaborantes para recolha de amostras de águas e de plásticos que poluíam as areias dessas praias e 3) análise de parâmetros físico-químicos de qualidade das águas (in loco, realizada com recursos a kits de análise portáteis e de baixo custo desenvolvidos pelos autores (Araújo et al., 2020) e, no laboratório, deteção de microplásticos presentes nessas águas e identificação qualitativa dos plásticos recolhidos na praia, no sentido de se promover a aprendizagem dos conteúdos de química subjacentes ao projeto. Por último, o projeto englobava também uma fase de divulgação dos resultados e dos conhecimentos adquiridos pelos alunos junto das respetivas comunidades escolar (Araújo et al., 2022a).

Deste modo, propusemo-nos com esta investigação, conhecer o impacte na promoção da literacia química (nos seus domínios cognitivo e afetivo) dos alunos resultante do seu envolvimento no projeto, através da avaliação do modo como a sua participação neste projeto contribuiu para: i) a promoção de mudanças positivas das suas atitudes face à química; ii) para a aprendizagem conceptual e processual dos conteúdos de química explorados neste contexto.

Métodos

Participantes

No projeto PVC estiveram envolvidos, durante o ano letivo 2018/2019, 574 alunos, de 26 turmas, do 3.º Ciclo do Ensino Básico (7.º, 8.º e 9.º ano), com uma média de idades de 13 anos, orientados por nove professores de Físico-Química de quatro escolas da região Norte Litoral de Portugal que se mostraram motivados para envolver os seus alunos na investigação conduzida. Destes alunos, 442 (208 rapazes e 234 raparigas), de 19 turmas, constituíram o grupo experimental (GE) e 132 (65 rapazes e 67 raparigas), das restantes sete turmas lecionadas pelos professores colaboradores no projeto, o grupo de controlo (GC), tal como detalhado na Tabela 1. As 26 turmas do 3.º Ciclo do Ensino Básico lecionadas por estes professores foram divididas, aleatoriamente, pelos grupos experimental e de controlo, sempre que possível, numa proporção de 3 turmas do GE para 1 turma do GC. Porém, a representatividade da amostra pelos 3 anos de escolaridade ficou limitada pelo nível de escolaridade das turmas lecionadas.

Ano de escolaridade	N.º de participantes		Total por ano de escolaridade
	GE	GC	
7.º ano	138 alunos	38 alunos	176 alunos
8.º ano	279 alunos	68 alunos	347 alunos
9.º ano	25 alunos	26 alunos	51 alunos
Total por grupo	442 alunos	132 alunos	574 alunos

TABELA 1. Caracterização sumária da amostra utilizada na investigação.

Em ambos os grupos, conforme o seu ano de escolaridade, foram lecionados os conteúdos do currículo de química, recorrendo às metodologias e estratégias de ensino que os professores habitualmente utilizam. Complementarmente, em cada turma do GE, os alunos trabalharam em pequenos grupos (entre dois e cinco elementos) nas diferentes tarefas do projeto PVC propostas. A implementação das várias etapas do projeto foi conduzida ativamente pelos professores, que colaboraram nesta investigação monitorizando a participação dos seus alunos nas várias atividades do projeto PVC e sendo responsáveis por coadjuvar a aplicação dos instrumentos de recolha de dados, sempre em estreita colaboração com os investigadores, que desempenharam um papel mediador das dinâmicas do projeto.

Todos os intervenientes participaram nesta investigação de forma voluntária. Tendo sido assinado, pelos professores e pelos encarregados de educação dos alunos, um consentimento informado sobre a sua participação no estudo onde se descreviam as atividades em que estariam envolvidos, se recolhia a autorização para a sua participação na investigação e se garantia o tratamento de todos os dados pessoais de forma anónima e confidencial.

Procedimentos de recolha e análise de dados

Em Portugal, no 3.º Ciclo do Ensino Básico, a química é lecionada a par da física numa disciplina designada Físico-Química. Como o interesse da presente investigação se foca na componente de Química desta disciplina, entenda-se daqui em diante a referência à “disciplina de Química” como sendo a referência à “componente de Química da disciplina de Físico-Química”.

Como instrumento para conhecer as atitudes dos alunos face à disciplina de Química, adaptou-se o “Questionário de Atitudes face às Ciências Físico-Químicas”, desenvolvido por Neto et al. (2011) que se mostrou adequado aos objetivos propostos para esta investigação, nomeadamente por ser validado e implementado pelos seus autores junto de alunos portugueses do 3.º Ciclo do Básico. Contudo, como Neto et al. (2011; 2013) referem ter obtido, em momentos diferentes, resultados diferentes no que diz respeito às dimensões deste questionário, optou-se por realizar uma validação de conteúdo com alunos de cada ano de escolaridade do 3.º Ciclo do Ensino Básico e especialistas em educação em química, para garantirmos que todas as afirmações apresentadas fossem inteligíveis e de fácil compreensão. Desta validação, concluiu-se que seria relevante tornar afirmativos os itens escritos na negativa. Adicionalmente, conduziu-se também uma análise estatística exploratória ao questionário modificado a que chamamos “Questionário de Atitudes face à Química” (QAFQ). O questionário apresenta 26 itens em que os alunos podem expressar o seu grau de concordância numa escala Likert de 7 pontos (Araújo et al., 2022b).

Os alunos de ambos os grupos (GE e GC) responderam a uma versão impressa do questionário, como pré-teste, antes de se iniciar a implementação do projeto PVC e, como pós-teste, após a conclusão do projeto PVC. O tempo médio de resposta ao questionário foi de aproximadamente 15 minutos.

Por outro lado, a fim de obter indicadores sobre a aprendizagem da química realizada pelos alunos, desenvolveu-se e aplicou-se um teste de conhecimentos no final da implementação do projeto PVC. O teste continha 23 questões de escolha múltipla, cotadas de forma equitativa, e elaboradas para abrangerem os vários conteúdos de química explorados no âmbito do projeto, nomeadamente, conceitos relacionados com os parâmetros físico-químicos das águas costeiras analisados (temperatura, o pH, a turbidez, o oxigénio dissolvido, as concentrações de nitratos e a salinidade), polímeros, propriedades físico-químicas dos materiais e técnicas, procedimentos, instrumentos e regras de segurança referentes às atividades prático-laboratoriais realizadas ao longo de todo o projeto.

Tal como para o QAFQ, também o teste de conhecimentos, antes da sua implementação, foi respondido, por alunos de cada ano de escolaridade do 3.º Ciclo do Ensino Básico, e submetido à análise de especialistas em educação em química por forma a garantir a sua validade.

Este teste foi aplicado, numa versão impressa, a cada um dos alunos do GE, logo após a conclusão das atividades do projeto PVC, tendo os alunos cerca de 50 minutos para responderem a todas as questões apresentadas. Atendendo à natureza das questões que constituíam o teste de conhecimentos, isto é, por serem questões muito focadas no contexto e nas atividades desenvolvidas ao longo do projeto PVC (que envolveria um conhecimento intrínseco do projeto), e por muitas delas abordarem conteúdos de química abordados para além do currículo da disciplina, considerou-se que os principais ganhos de aprendizagem que se pudessem verificar se deveriam mais ao envolvimento dos alunos no projeto e não tanto a conhecimentos de química que os alunos pudessem ter adquirido previamente. Assim, o teste de conhecimentos foi apenas aplicado aos alunos do GE.

A administração dos instrumentos de recolha de dados foi feita durante as aulas de Química, tendo sido monitorizada pelo professor de cada turma.

Os dados obtidos através da aplicação destes instrumentos foram submetidos a procedimentos de estatística descritiva (médias e desvios padrão) e/ou inferencial (análise fatorial e de fiabilidade (alfa de Cronbach)) conduzidos pelo software *IBM SPSS Statistics* (versão 25).

Adicionalmente, foram ainda recolhidas notas de campo pelo investigador relativas ao envolvimento dos alunos nas várias etapas do projeto PVC, no sentido de se obterem informações complementares aos instrumentos de recolha de dados previamente descritos.

Resultados

Os itens do QAFQ foram submetidos a uma análise fatorial com vista à definição das dimensões subjacentes a cada um dos fatores. Da análise resultaram quatro dimensões: 1. *Comportamental*, engloba um conjunto de oito itens, evidenciando comportamentos dos alunos face à disciplina de Química e ao seu estudo; 2. *Afetiva*, compreende sete itens que evidenciam sentimentos dos alunos em relação à disciplina de Química e ao seu estudo; 3. *Motivacional*, referente à disciplina e ao seu estudo, presente em sete dos itens deste questionário de atitudes; 4. *Utilidade e competência*, refere-se às aplicações da química no dia a dia bem como ao contributo desta disciplina para o desenvolvimento de competências dos alunos e compreende quatro itens do questionário (Araújo et al., 2022b).

Atendendo aos resultados da análise fatorial efetuada, estes mostram que, numa perspetiva global, antes da participação no projeto PVC, os alunos apresentavam atitudes mais positivas relativamente à dimensão 2. *Afetiva*, seguindo-se as dimensões 4. *Utilidade e competências* e 1. *Comportamental*. Por último, surge a dimensão 3. *Motivacional*, mas que também apresenta um valor médio superior ao ponto intermédio da escala de medida (Araújo et al., 2022b).

Atendendo a que se verificaram pequenas diferenças de médias em cada dimensão do questionário para cada um dos grupos, pode considerar-se que, à partida para a implementação do projeto PVC, as atitudes de ambos os grupos (GE e GC) face à disciplina de Química eram equivalentes. Assim, os resultados do GE no pré-teste e no pós-teste foram sujeitos a um teste *t* para amostras emparelhadas, tal como se sistematiza no gráfico da Figura 1, de onde se conclui que o valor da dimensão 1. *Comportamental* no pós-teste é ligeiramente superior ao valor médio no pré-teste, tal como se verifica para a dimensão 4. *Utilidade e competências*. Por outro lado, o valor das dimensões 2. *Afetiva* e 3. *Motivacional* é superior no pré-teste face ao pós-teste. Assim, verificou-se que nenhuma das dimensões em análise para o QAFQ variam de forma significativa do pré-teste para o pós-teste no GE (Figura 1).

Os mesmos procedimentos de análise foram realizados para comparar as atitudes dos alunos integrantes do GC do pré-teste para o pós-teste, para cada uma das dimensões do questionário. De igual modo, a partir da aplicação do teste *t* para amostras emparelhadas, conclui-se, que, tal como se mostra no gráfico da Figura 2, para todas as dimensões analisadas, os alunos do GC apresentam atitudes menos positivas no pós-teste face ao que haviam apresentado no pré-teste. Além disso, verificou-se que no GC, a média de todas as dimensões do questionário atitudinal aplicado diminuiu significativamente do pré-teste para o pós-teste.

Comparação entre as dimensões do QAFQ, do pré-teste para o pós-teste no GE

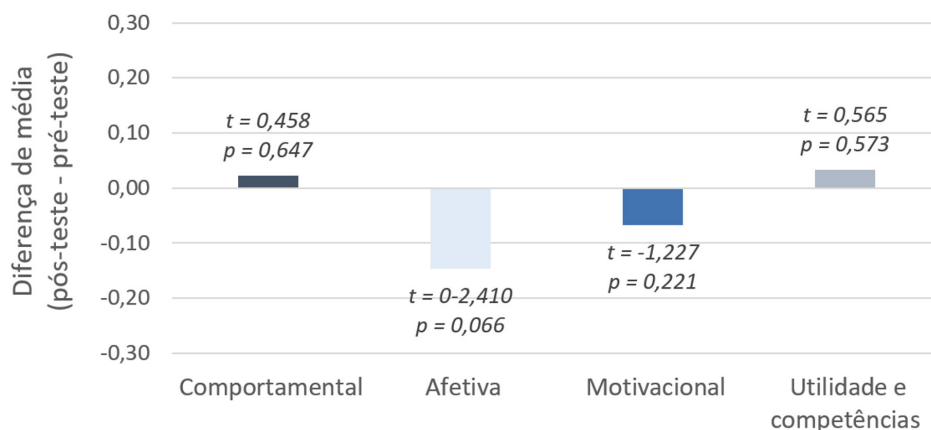


FIGURA 1. Comparação entre as dimensões do QAFQ do pré-teste para o pós-teste no GE.

Comparação entre as dimensões do QAFQ, do pré-teste para o pós-teste no GC

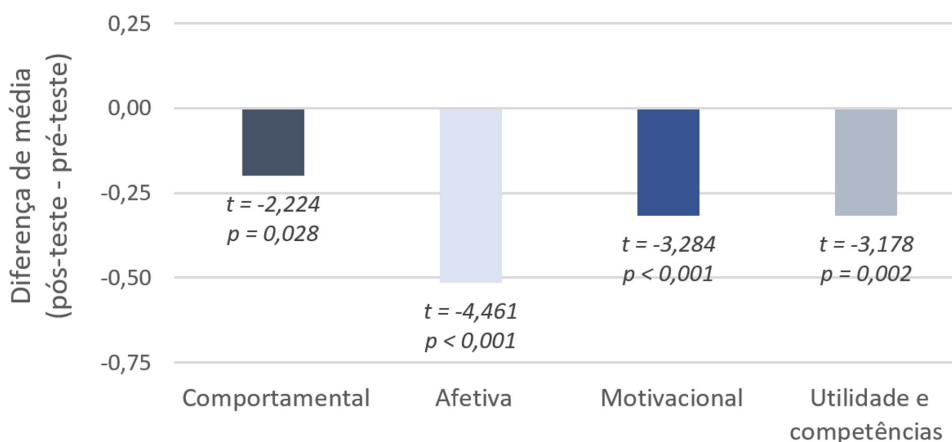


FIGURA 2. Comparação entre as dimensões do QAFQ, do pré-teste para o pós-teste no GC.

Para melhor se compreenderem as diferenças entre os dois grupos, encontradas, do pré-teste para o pós-teste, foi conduzida uma análise ANOVA aos resultados do questionário. Os resultados desta análise para as quatro dimensões (*Comportamental*: $F_{1,572} = 4,700$, $p = 0,031$; *Afetiva*: $F_{1,572} = 8,653$, $p = 0,003$; *Motivacional*: $F_{1,572} = 5,093$, $p = 0,025$; *Utilidade e competências*: $F_{1,572} = 8,768$, $p = 0,003$) revelam a existência de uma variação significativamente mais positiva nas quatro dimensões analisadas para o GE em comparação com o GC.

Para além dos resultados relativos às mudanças de atitudes dos alunos de ambos os grupos, a seguir, apresentam-se também os principais resultados relativos ao impacto do projeto PVC na aprendizagem da química pelos alunos do GE.

Os alunos participantes no projeto PVC que responderam ao teste de conhecimentos obtiveram um desempenho médio de 77.8% (7.º ano: $M = 79.5\%$, $DP = 8,39\%$; 8.º ano: $M = 77.7\%$, $DP = 8,16\%$; 9.º ano: $M = 77.8\%$, $DP = 8,31\%$). Uma análise ANOVA foi conduzida ($F_{2,442} = .811$, $p = .368$) não tendo sido encontradas diferenças estatisticamente significativas relativamente aos resultados médios dos alunos de cada um dos anos de escolaridade envolvidos no projeto.

Uma análise mais detalhada às respostas dos alunos do GE a cada uma das questões do teste de conhecimentos (Figura 3) evidencia que, em geral, as questões que focam conteúdos abordados pela primeira vez no âmbito do projeto PVC, como a turbidez (Questão 15), a salinidade (Questão 18), a percentagem de oxigénio dissolvido na água (Questões 16, 17) e os testes colorimétricos para a determinação da concentração de nitritos (Questão 19), apresentam, para todos os anos de escolaridade, classificações médias superiores a 75%. Por outro lado, verifica-se também que os alunos apresentam um desempenho inferior a 75% nas questões relacionadas com os polímeros (Questões 20-23), que foram conteúdos novos explorados no âmbito do projeto, a acidez de soluções (Questões 6, 7) e na composição quantitativa de soluções (Questão 5) (cujos conteúdos haviam sido explorados, de uma forma geral, previamente em contexto de aula).

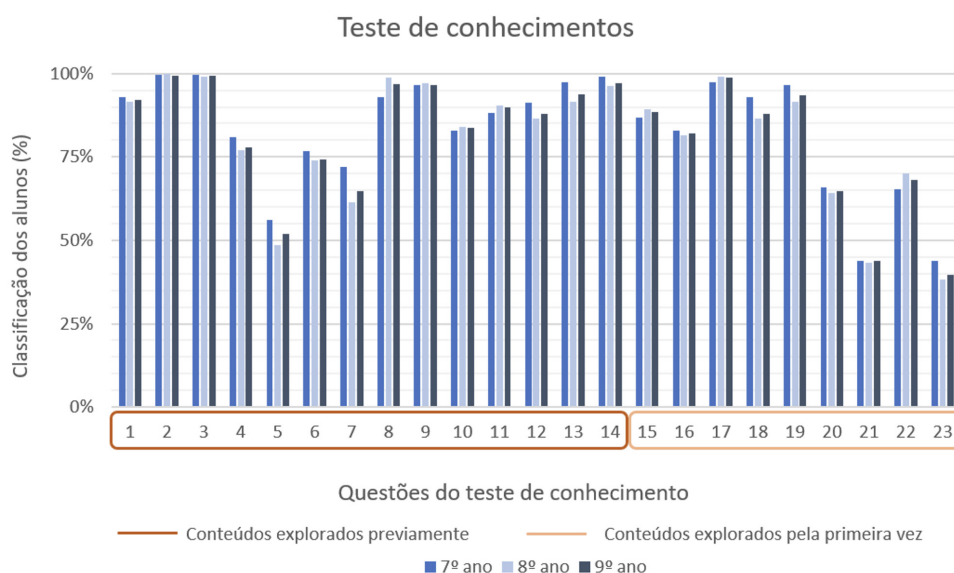


FIGURA 3. Desempenho dos alunos no teste de conhecimentos.

Em geral, o desempenho médio dos alunos nas questões de transferência de conhecimentos prévios para novos contextos (Questões 1-14) foi ligeiramente superior ao seu desempenho nas questões sobre os conteúdos explorados pela primeira vez no projeto PVC (questões 15-23). Esta diferença deve-se, em particular, aos resultados dos alunos nas questões 20 a 23 do teste de conhecimentos que relacionadas com polímeros e que, além de serem conteúdos explorados pela primeira vez no âmbito do projeto (e que não constam no currículo da disciplina no 3.º Ciclo do Ensino Básico), eram questões sobre uma área de mais difícil aprendizagem, tal como defende O'Dwyer (2017). No entanto, pode considerar-se que, em ambos os casos, o desempenho global dos alunos foi bastante positivo, com várias questões a terem um nível de respostas acertadas superior a 80%.

Visando recolher informações complementares aos dados recolhidos pelo QAFQ e pelo teste de conhecimentos, foram ainda recolhidas e analisadas as notas de campo do investigador, que foram recolhidas mediante observações livres nos vários momentos de implementação do projeto PVC. Também alguns aspetos relevantes destacados em conversas informais com os alunos e os professores participantes foram registados. Assim, destaca-se a motivação e o empenho dos alunos na recolha das águas costeiras e na análise dos parâmetros físico-químicos das águas, recorrendo aos materiais e recursos disponibilizados nos kits pedagógicos desenvolvidos. As diferentes análises foram conduzidas de forma autónoma pelos alunos, tendo os professores dado uma breve explicação complementar dos procedimentos a seguir (ou feito uma exemplificação, em casos pontuais). Enquanto os alunos realizavam as análises dos parâmetros físico-químicos das águas costeiras, verificou-se uma grande colaboração entre os elementos do grupo de trabalho para que todos pudessem realizar a tarefa. Já a atividade de deteção dos microplásticos presentes nas águas costeiras foi referida pelos professores a atividade do projeto que mais motivou os alunos. Também na atividade da identificação qualitativa dos plásticos recolhidos se verificou que os alunos estavam empenhados e motivados, pois, quando um grupo identificava uma amostra de plástico, ia repetir a análise para outra amostra de forma livre e espontânea. Ao longo de todo o projeto, os alunos revelaram igualmente bastante autonomia de trabalho, particularmente no que às atividades prático-laboratoriais diz respeito.

Discussão dos resultados

Ao contrário da tendência plasmada na literatura (Osborne et al., 2003; Salta & Tzougraki, 2004; Ibrahim & Iksan, 2018), constatou-se que os alunos, no início do ano letivo (pré-teste) apresentavam atitudes positivas face à química, sendo os resultados equivalentes em ambos os grupos (experimental e de controlo).

Como Dalgety et al. (2003) e Salta e Tzougraki (2004) referem, as atitudes positivas dos alunos face à química tendem a diminuir à medida que estes progridem no seu percurso escolar. Nesta linha, os resultados do pós-teste revelam, igualmente, uma mudança negativa (e estatisticamente significativa) nas atitudes dos alunos do grupo de controlo em todas as dimensões analisadas (*Comportamental, Afetiva, Motivacional e Utilidade e competências*), que ocorreu ao longo do ano letivo (ver as diferenças de médias registadas na Figura 2). Por outro lado, nos alunos do grupo experimental, em nenhuma dimensão se revelaram mudanças atitudinais significativas entre estes dois momentos de recolha de dados, contrariando a tendência verificada no GC. Ainda assim, neste grupo verificaram-se mudanças atitudinais positivas nas dimensões *Comportamental* e *Utilidade e competências* e as mudanças negativas registadas nas dimensões *Afetiva* e *Motivacional*. Essas mudanças foram consideravelmente superiores face aos resultados do grupo de controlo. Da análise destes resultados verificou-se ainda que as mudanças de atitudes face à disciplina de Química diferem significativamente consoante o grupo, mostrando um impacto positivo do projeto PVC no grupo experimental. Atendendo ao potencial pedagógico, em especial no domínio afetivo, das abordagens de ciência cidadã (Harlin et al., 2018; Wilken, 2018), devido ao envolvimento dos alunos no processo científico e à tentativa de promoção de uma aprendizagem baseada em contextos (Bellocchi et al., 2016; Dawson & Carson, 2017), esperava-se que as atitudes dos alunos do grupo experimental face à disciplina pudessem

ser potenciadas de uma forma significativa. No entanto, este impacto positivo que referimos não se deve a mudanças significativamente positivas nas atitudes dos alunos do grupo experimental do pré-teste para o pós-teste, mas sim ao facto de contrariar a tendência de mudanças negativas de atitudes que ocorreram ao longo do ano letivo para os alunos do grupo de controlo. Como refere a literatura (Harlin et al., 2018; Bellocchi et al., 2016; Dawson & Carson, 2017), as abordagens pedagógicas implementadas ou os contextos e conteúdos explorados podem ter uma grande influência nas atitudes dos alunos perante a disciplina pelo que também nos importou conhecer os contributos do projeto PVC para a aprendizagem dos conteúdos de química subjacentes ao projeto.

Ao nível da aprendizagem conceptual, os alunos obtiveram um bom desempenho no teste de conhecimentos, em particular nas questões relacionadas com conteúdos de química explorados pela primeira vez no âmbito do projeto. Independentemente do ano de escolaridade, os alunos apresentaram maiores dificuldades em questões relacionadas com a química dos polímeros porquê, tal como aponta O'Dwyer (2017), a química orgânica é apontada como uma área de difícil aprendizagem, e com a composição quantitativa de soluções, pela falta de domínio de competências matemáticas, como muitas vezes revelado pelos próprios, e suportado por Ranga (2018). Ao nível processual, conclui-se que esta experiência educativa promoveu a aprendizagem de técnicas, materiais e regras laboratoriais em química contribuindo também para o desenvolvimento de competências essenciais, como a autonomia de trabalho em laboratório e o trabalho em equipa promovidas pela utilização dos kits pedagógicos.

Tal como referem Shirke e Bonney (2018) e Strasser et al., (2019), a ciência cidadã é uma abordagem que, entre outros aspetos, promove o desenvolvimento de novas competências científicas. A este respeito, os alunos reconheceram também como muito positiva a sua participação no projeto PVC, pois referiram que esta promoveu o desenvolvimento de competências como, por exemplo, o espírito e o pensamento críticos e a motivação para as atividades propostas, em especial, as atividades de carácter prático-laboratorial porque, pela vertente de ciência cidadã do projeto, lhes permitiu também contribuir para a comunidade científica com os seus resultados. Para além do espírito e pensamento críticos, verificou-se ainda, que as várias dinâmicas promovidas por esta experiência, em particular as atividades de consciencialização e de divulgação científica para as suas comunidades, fomentaram o desenvolvimento de competências de trabalho em equipa, de reflexão e de comunicação, argumentação e discussão de ideias entre pares que são competências fundamentais para a formação dos alunos do século XXI (Stehle & Peters-Burton, 2019). Como referem Hofstein (2017) e Irwanto et al., (2019), estas competências são também uma forma de potenciar a aprendizagem da química que podem ajudar a explicar o desempenho positivo dos alunos no teste de conhecimentos.

Conclusão

No início do ano letivo, que coincidiu com o início da intervenção, as atitudes face à disciplina de Química dos alunos portugueses do 3.º Ciclo do Ensino Básico envolvidos mostraram-se positivas. Adicionalmente, concluiu-se que o envolvimento ativo dos alunos no projeto educacional de ciência cidadã PVC revelou um grande potencial ao nível da promoção da literacia química. No domínio afetivo, verificaram-se mudanças atitudinais face à química no grupo experimental que são significativamente mais positivas do que aquelas ocorridas

no grupo de controlo. Por outro lado, no domínio cognitivo, destacam-se os ganhos de aprendizagem dos conteúdos de química subjacentes ao projeto PVC, assim como o desenvolvimento competências várias de trabalho laboratorial, bem como de um conjunto de competências de ordem superior e tidas como essenciais para os alunos na sociedade atual. Assim, e apesar da avaliação do potencial de abordagens de ciência cidadã no ensino da química, ainda não estar explorada com grande extensão na literatura (Harlin et al., 2018), as conclusões desta investigação dão um contributo para um melhor entendimento sobre o seu potencial ao nível do ensino da química no 3º Ciclo do Ensino Básico.

Deste modo, os resultados globalmente positivos do impacto do projeto PVC são bons indicadores do potencial pedagógico dos projetos de ciência cidadã, que abrem portas a futuras investigações que envolvem outros contextos, conteúdos científicos e anos de escolaridade.

Agradecimientos

Trabalho financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito dos projetos UIDB/00194/2020 e UIDP/00194/2020 (CIDTFF), UIDB/00081/2020 (CIQUP, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto) e LA/P/0056/2020 (IMS - Instituto de Ciências Moleculares).

Os autores agradecem a todos os participantes deste estudo.

Referências

- Aikenhead, G. S. (2003). Chemistry and physics instruction: Integration, ideologies, and choices. *Chemistry Education Research and Practice*, 4(2), 115-130. <https://doi.org/10.1039/B2RP90041F>
- Ajzen, I. (2005). *Attitudes, Personality and Behavior* (2nd ed.). Open University Press.
- Aristeidou, M., Lorke J., & Ismail, N. (2023). Citizen Science: Schoolteachers' Motivation, Experiences, and Recommendations. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 21, 2067-2093. <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10340-z>
- Araújo, J. L., Morais, C. & Paiva, J. C. (2020). Developing and Implementing a Low-Cost, Portable Pedagogical Kit to Foster Students' Water Quality Awareness and Engagement by Sampling Coastal Waters and Analyzing Physicochemical Properties. *Journal of Chemical Education*, 97(10), 3697-3701. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00333>
- Araújo, J. L., Morais, C. & Paiva, J. C. (2021). Students' attitudes towards science: The contribution of a citizen science project for monitoring coastal water quality and (micro) plastics. *Journal of Baltic Science Education*, 20(6), 881-893. <https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.881>
- Araújo, J. L., Morais, C. & Paiva, J. C. (2022a). Student participation in a coastal water quality citizen science project and its contribution to the conceptual and procedural learning of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 23, 100-112. <https://doi.org/10.1039/d1rp00190f>

- Araújo, J. L., Morais, C., & Paiva, J. C. (2022b). Citizen Science as a Pedagogical Tool in Chemistry Education: Students' Attitudes and Teachers' Perceptions. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 18(2), e2271. <https://doi.org/10.21601/ijese/11841>
- Bellocchi, A., King, D. T., & Ritchie, S. M. (2016). Context-based assessment: creating opportunities for resonance between classroom fields and societal fields. *International Journal of Science Education*, 38(8), 1304-1342. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1189107>
- Berg, A., Orraryd, D., Pettersson, A. J., & Hultén, M. (2019). Representational challenges in animated chemistry: self-generated animations as a means to encourage students' reflections on sub-micro processes in laboratory exercises. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(4), 710-737. <https://doi.org/10.1039/C8RP00288F>
- Cardellini, L. (2012). Chemistry: Why the Subject is Difficult? *Educación Química*, 23(2), 305-310. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30158-1](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30158-1)
- Cavas, P. H., Ozdem, Y., Cavas, B., Cakiroglu, J., & Ertepinar, H. (2013). Turkish Pre-Service Elementary Science Teachers' Scientific Literacy Level and Attitudes toward Science. *Science Education International*, 24(4), 383-401.
- Chang, R., & Goldsby, K. (2013). *Química* (11ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Cheung, D. (2009). Students' Attitudes Toward Chemistry Lessons: The Interaction Effect between Grade Level and Gender. *Research in Science Education*, 39(1), 75-91. <https://doi.org/10.1007/s11165-007-9075-4>
- Chua, K. H., & Karpudewan, M. (2019). Integrating nanoscience activities in enhancing Malaysian secondary school students' understanding of chemistry concepts. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(1), em1801. <https://doi.org/10.29333/ejmste/110781>
- Comissão Europeia (2016). *Citizen Science*. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/citizen-science>.
- Dalgety, J., Coll, R. K., & Jones, A. (2003). Development of Chemistry Attitudes and Experiences Questionnaire (CAEQ). *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 649-668. <https://doi.org/10.1002/tea.10103>
- Dašić, D., Kostadinović, M. I., Vlajković, M., & Pavlović, M. (2024). Digital literacy in the service of science and scientific knowledge, *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education*, 12(1), 219-227. <https://doi.org/10.23947/2334-8496-2024-12-1-219-227>
- Dawson, V., & Carson, K. (2017). Using climate change scenarios to assess high school students' argumentation skills. *Research in Science & Technological Education*, 35(1), 1-16. <https://doi.org/10.1080/02635143.2016.1174932>
- Flaherty, A. A. (2020). A review of affective chemistry education research and its implications for future research. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(3), 698-713. <https://doi.org/10.1039/C9RP00200F>

- Follett, R., & Strezov, V. (2015). An Analysis of Citizen Science Based Research: Usage and Publication Patterns. *PLOS ONE*, 10(11), e0143687. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143687> “
- Freire, M., Talanquer, V., & Amaral, E. (2019). Conceptual profile of chemistry: a framework for enriching thinking and action in chemistry education. *International Journal of Science Education*, 41(5), 674-692. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1578001>
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (Eds.). (2009). *Multiple representations in chemical education*. Springer.
- Gulacar, O., Zowada, C., & Eilks, I. (2018). Bringing Chemistry Learning Back to Life and Society. In I. Eilks, S. Markic, & B. Ralle (Eds.), *Building bridges across disciplines for transformative education and sustainability* (pp. 49-60). Shaker.
- Haklay, M., Motion, A., Balázs, B., Kieslinger, B., Tzovaras, B., G., Nold, C., Dörler, D., Fraisl, D., Riemenschneider, D., Heigl, F., Brounéus, F., Hager, G., Heuer, K., Wagenknecht, K., Vohland, K., Shanley, L., Deveaux, L., Ceccaroni, L., Weißpflug, M., ... When, U. (2020, abril). ECSA's characteristics of citizen science. <https://zenodo.org/record/3758668#.Yr7ARXbMJPZ>
- Harlin, J., Kloetzer, L., Patton, D., Leonhard, C., & students. (2018). Turning students into citizen scientists. In S. Hecker, M. Haklay, A. Bowser, Z. Makuch, J. Vogel, & A. Bonn (Eds.), *Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy* (pp. 410-428). UCL Press.
- Heng, C. K., & Karpudewan, M. (2015). The interaction effects of gender and grade level on secondary school students' attitude towards learning chemistry. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11(4), 889-898. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1446a>
- Hofstein, A. (2017). The Role of Laboratory in Science Teaching and Learning. In K. S. Taber & B. Akpan (Eds.), *Science Education: An International Course Companion* (pp. 357-368). SensePublishers.
- Ibrahim, N. H. B., & Hj. Iksan, Z. B. (2018). Level of Chemophobia and Relationship with Attitude Towards Chemistry Among Science Students. *Journal of Educational Sciences*, 2(2), 52-65.
- Irwanto, Saputro, A. D., Rohaeti, E., & Prodjosantoso, A. K. (2019). Using Inquiry-Based Laboratory Instruction to Improve Critical Thinking and Scientific Process Skills among Preservice Elementary Teachers. *Eurasian Journal of Educational Research*, 19, 151-170.
- Islam., A. R.; Hasan, M., Sadia, M. R., Mubin, Al-N., Ali, M. M., ..., Malafaia, G. (2024). Unveiling microplastics pollution in a subtropical rural recreational lake: A novel insight. *Environmental Research*, 250, 118543. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118543>
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>

- Kohen, Z., Herscovitz, O., & Dori, Y. J. (2020). How to promote chemical literacy? On-line question posing and communicating with scientists. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(1), 250-266. <https://doi.org/10.1039/C9RP00134D>
- Motion, A. (2019, abril). What can citizen science do for us? *Chemistry World*. <https://www.chemistryworld.com/opinion/what-can-citizen-science-do-for-us/3010269.article>
- Neto, A., Candeias, A. A., Rebelo, N., Varelas, D., & Diniz, A. M. (2013, setembro). *Validade estrutural do questionário de atitudes face às ciências físico-químicas: Estudo com alunos do 9º ano ensino básico português*. XII Congresso Internacional Galego-Português de Psicopedagogia, Braga, Portugal.
- Neto, A., Candeias, A., Pomar, C., Costa, P., Oliveira, M., Silva, S., Silva, J., & Rebelo, N. (2011, setembro). *Questionários de atitudes face à língua portuguesa (QAFLP), matemática (QAFM), ciências da natureza (QAFCDN), ciências naturais (QAFCN) e ciências físico-químicas (QAFCFQ) em alunos portugueses do ensino básico: estudo psicométrico*. XI Congresso Internacional Galego-Português de Psicopedagogia, Corunha, Espanha.
- Nichols, B. (2018). Civic Chemistry: Helping Communities Address Challenges. *The Chemist*, 91(2), 70-72.
- O'Dwyer, A., & Childs, P. E. (2017). Who says Organic Chemistry is Difficult? Exploring Perspectives and Perceptions. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(7), 3599-3620. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00748a>
- OCDE (2016). *PISA 2015 Results (Volume I): Excellence and Equity in Education*. PISA, OECD Publishing.
- OCDE (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. PISA, OECD Publishing.
- Osborne, J. & Dillon, J. (2008, janeiro). *Science Education in Europe: Critical Reflections*. https://mk0nuffieldfounpg9ee.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2019/12/Sci_Ed_in_Europe_Report_Final1.pdf
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079. <https://doi.org/10.1080/0950069032000032199>
- Rahayu, S., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2022). High school and preservice chemistry teacher education students' understanding of voltaic and electrolytic cell concepts: evidence of consistent learning difficulties across years. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20(8), 1859-1882. <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10226-6>
- Ranga, J. S. (2018). ConfChem Conference on Mathematics in Undergraduate Chemistry Instruction: Impact of Quick Review of Math Concepts. *Journal of Chemical Education*, 95(8), 1430-1431. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00070>
- Ross, J., Nuñez, L., & Lai, C. C. (2018). Partial least squares structural equation modeling of chemistry attitude in introductory college chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(4), 1270-1286. <https://doi.org/10.1039/C7RP00238F>

- Salta, K., & Tzougraki, C. (2004). Attitudes toward chemistry among 11th grade students in high schools in Greece. *Science Education*, 88(4), 535-547. <https://doi.org/10.1002/sce.10134>
- Sausan, I., Saputro, S., & Indriyanti, N. (2018). Chemistry for Beginners: What Makes Good and Bad Impression. *Advances in Intelligent Systems Research*, 157, 42-45. <https://doi.org/10.2991/miseic-18.2018.11>
- Scheuch, M., Panhuber, T., Winter, S., Kelemen-Finan, J., Bardy-Durchhalter, M., & Kapelari, S. (2018). Butterflies & wild bees: biology teachers' PCK development through citizen science. *Journal of Biological Education*, 52(1), 79-88. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1405530>
- Shirk, J., & Bonney, R. (2018). Scientific impacts and innovations of citizen science. In S. Hecker, M. Haklay, A. Bowser, Z. Makuch, J. Vogel, & A. Bonn (Eds.), *Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy* (41-51). UCL Press
- Shwartz, Y., Ben-Zvi, R., & Hofstein, A. (2005). The importance of involving high-school chemistry teachers in the process of defining the operational meaning of 'chemical literacy', *International Journal of Science Education*, 27(3), 323-344. <https://doi.org/10.1080/0950069042000266191>
- Sjöström, J., & Eilks, I. (2018). Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of *bildung*. In J. Dori, Z. Mevarech, & D. Baker (Eds.), *Cognition, metacognition, and culture in STEM education*. Springer.
- Stehle, S. M., & Peters-Burton, E. E. (2019). Developing student 21st Century skills in selected exemplary inclusive STEM high schools. *International Journal of STEM Education*, 6(39), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0192-1>
- Strasser, B., Baudry, J., Mahr, D., Sanchez, G., & Tancoigne, E. (2018). "Citizen Science"? Rethinking Science and Public Participation. *Science & Technology Studies*, 32(2), 52-76. <https://doi.org/10.23987/sts.60425>
- Sullivan, B. L., Aycrigg, J. L., Barry, J. H., Bonney, R. E., Bruns, N., Cooper, C. B., Damoulas, T., Dhondt, A. A., Dietterich, T., Farnsworth, A., Fink, D., Fitzpatrick, J. W., Fredericks, T., Gerbracht, J., Gomes, C., Hochachka, W. H., Iliff, M. J., Lagoze, C., La Sorte, F. A., ... Kelling, S. (2014). The eBird enterprise: An integrated approach to development and application of citizen science. *Biological Conservation*, 169, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.11.003>
- Tümay, H. (2016). Emergence, Learning Difficulties, and Misconceptions in Chemistry Undergraduate Students' Conceptualizations of Acid Strength. *Science & Education*, 25(1), 21-46. <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9799-x>
- Tytler, R., & Ferguson, J. P. (2023). Student attitudes, identity, and aspirations toward science. In N. G. Lederman, D. L. Zeidler & J. S. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 158-192). Routledge.
- Tytler, R., & Osborne, J. (2014). Student Attitudes and Aspirations Towards Science. In B. J. Fraser, K. G. Tobin, & C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 597-625). Springer.

- Vilia, P., & Candeias, A. A. (2020). Attitude towards the discipline of physics-chemistry and school achievement: revisiting factor structure to assess gender differences in Portuguese high-school students. *International Journal of Science Education*, 42(1), 133-150. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1706012>
- Wilken, U. (2018). Lakes, Labs and Learning: How an Environmental DNA Citizen Science Project Makes Sense for High School Students, Researchers and Environmental Managers. *K-12 STEM Education*, 4(4), 391-399.
- Winkelmann, K., Keeney-Kennicutt, W., Fowler, D., Macik, M. L., Perez Guarda, P., & Ahlborn, C. J. (2020). Learning gains and attitudes of students performing chemistry experiments in an immersive virtual world. *Interactive Learning Environments*, 28(5), 620-634. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1696844>
- Zhu, L., Kang, Y., Ma, M., Wu, Z., Zhang, L., Hu, R., ..., An, L. (2024). Tissue accumulation of microplastics and potential health risks in human. *Science of The Total Environment*, 915, 170004. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170004>