

PERCEÇÃO DE ALUNOS E PAIS SOBRE OS BENEFÍCIOS E OS RISCOS DA NANOTECNOLOGIA NO CONTEXTO DA DISCIPLINA DE FÍSICO-QUÍMICA

STUDENTS' AND PARENTS' PERCEPTIONS OF THE BENEFITS AND RISKS OF NANOTECHNOLOGY IN THE CONTEXT OF SUBJECT OF PHYSICAL CHEMISTRY

PERCEPCIÓN DE LOS ESTUDIANTES Y DE LOS PADRES SOBRE LOS BENEFICIOS Y RIESGOS DE LA NANOTECNOLOGÍA EM EL CONTEXTO DE LA ASIGNATURA DE QUÍMICA FÍSICA

Natália Relvão Silva*, João Paiva**, Carla Morais***

Relvão Silva N., Paiva J. & Morais C. (202X). Perceção de alunos e pais sobre os benefícios e os riscos da nanotecnologia no contexto da disciplina de físico-química. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 21(3) e-23471 <https://doi.org/10.14483/23464712.23471>

Resumo

O conhecimento sobre o impacto da nanotecnologia na sociedade requer iniciativas por parte das escolas que promovam práticas de cidadania participativa. Este artigo apresenta um estudo que teve como objetivo conhecer a perceção dos benefícios e dos riscos da nanotecnologia por parte de alunos do 3.º ciclo do ensino básico português e dos respetivos pais, após a realização de uma Atividade com Pais no Computador, designada por NanoAPC. A atividade permitiu explorar tópicos sociocientíficos com base em informações da European Chemicals Agency, tanto na área de trabalho individual (realizada pelo aluno), como na área de trabalho colaborativo (entre aluno e pais). Foi implementado um plano de investigação quasi-experimental com a participação de 58 alunos e 48 pais. Os alunos foram organizados em três grupos distintos: os grupos 1 e 2 foram expostos à NanoAPC, diferenciando-se apenas na natureza da intervenção inicial, enquanto o grupo 3 realizou exclusivamente uma ficha de atividades com conteúdos equivalentes. Todos os grupos completaram um questionário de pré-teste e um pós-teste. Os resultados indicaram que, em ambas as amostras (alunos e pais), a perceção dos benefícios da nanotecnologia é independente da perceção dos seus riscos. No que respeita à perceção dos benefícios, apenas a utilização da NanoAPC teve efeitos estatisticamente significativos: observou-se uma diminuição no grupo 1 e um aumento no grupo 2. Relativamente à perceção dos riscos, nenhuma das atividades

* Doutora em Ensino e Divulgação das Ciências, Universidade de Coimbra, Portugal. natalia.silva@qui.uc.pt – ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5026-6956>

** Doutor em Didática da Química. Universidade do Porto, Portugal. jpaiva@fc.up.pt - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1377-0085>

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

provocou alterações com significado estatístico. Verificou-se ainda que os alunos, através da escola, contactaram com a temática da nanotecnologia e atuaram como mediadores de informação junto dos seus pais, promovendo a reflexão em torno dos benefícios e riscos associados. Assim, a NanoAPC revelou-se um recurso útil para docentes que pretendam abordar a nanotecnologia em sala de aula, mesmo em contextos com limitações curriculares.

Palavras-Chave: Educação em Química; Nanotecnologia; Perceção de Risco; Atividades com Pais no Computador.

Abstract

Understanding the impact of nanotechnology on society requires school-based initiatives that promote participatory citizenship practices. This article presents a study aimed at exploring the perceptions of the benefits and risks of nanotechnology among Portuguese lower secondary school students (3rd cycle) and their parents, following the implementation of a digital learning activity called “NanoAPC” (Activity with Parents on the Computer). The activity enabled the exploration of socio-scientific topics based on information from the European Chemicals Agency, both through an individual work area (completed by the student) and a collaborative work area (completed by the student and their parent). A quasi-experimental research design was implemented with the participation of 58 students and 48 parents. Students were distributed into three distinct groups: groups 1 and 2 were exposed to the NanoAPC, differing only in the nature of the initial intervention, while group 3 completed a paper-based worksheet with equivalent content. All groups completed a pre-test questionnaire before the activity and a post-test afterwards. The results showed that, in both samples (students and parents), the perception of the benefits of nanotechnology was independent of the perception of its risks. Regarding benefit perception, only the use of the NanoAPC produced statistically significant effects: a decrease was observed in group 1 and an increase in group 2. Concerning risk perception, none of the activities led to statistically significant changes. The study also revealed that students, through the school context, engaged with the topic of nanotechnology and acted as information mediators with their parents, fostering reflection on the perceived benefits and risks. Thus, the NanoAPC proved to be a useful resource for teachers wishing to address nanotechnology in the classroom, even in contexts with limited curricular time.

Keywords: Chemistry Education; Nanotechnology; Risk Perception; Activities with Parents on the Computer.

Resumen

El conocimiento sobre el impacto de la nanotecnología en la sociedad requiere iniciativas escolares que fomenten prácticas de ciudadanía participativa. Este artículo presenta un estudio cuyo objetivo fue analizar la percepción de los beneficios y riesgos de la nanotecnología por parte de alumnos del tercer ciclo de educación básica portuguesa y de sus respectivos padres, tras realizar una Actividad con Padres en el Ordenador (NanoAPC). La actividad permitió explorar temas sociocientíficos basados en información de la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas

(ECHA), tanto en el área de trabajo individual (realizada por el alumno), como en la colaborativa (en pareja alumno-padre). Se adoptó un diseño de investigación cuasi-experimental con la participación de 58 alumnos y 48 padres. Los alumnos se organizaron en tres grupos: los grupos 1 y 2 utilizaron la NanoAPC, diferenciándose únicamente en el tipo de orientación inicial, mientras que el grupo 3 realizó una ficha de actividades con contenidos equivalentes. Todos completaron un cuestionario de pretest y postest. Los resultados indicaron que, en ambas muestras (alumnos y padres), la percepción de los beneficios de la nanotecnología es independiente de la percepción de sus riesgos. En cuanto a los beneficios, solo la NanoAPC generó efectos estadísticamente significativos: el grupo 1 mostró una disminución y el grupo 2 un aumento. En relación con los riesgos, no se observaron cambios estadísticamente significativos. El estudio también mostró que los alumnos actuaron como mediadores de información hacia sus familias, promoviendo la reflexión sobre la nanotecnología. Así, la NanoAPC se presenta como un recurso útil para que los docentes aborden temas sociocientíficos relacionados con la nanotecnología en el aula, incluso en contextos con limitaciones curriculares.

Palabras Clave: Enseñanza de la química; Nanotecnología; Percepción del riesgo; Actividades con los padres en el ordenador.

1. Introdução

Atualmente, a evolução de novas áreas como a da nanotecnologia (NT) coloca desafios novos à educação. O conhecimento científico e tecnológico desenvolve-se a um ritmo intenso sendo importante levar para a sala de aula atividades que permitam aos alunos refletir sobre os avanços da NT, uma vez que no dia a dia são utilizados produtos que contêm na sua constituição nanomateriais (Debry, Marschalek, Hofer, & Handler, 2014; Murphy et al., 2022; Rodrigues & Lopes, 2023).

Podem ser consultados mais de cinco mil destes produtos numa base de dados dinamarquesa “The Nanodatabase”, disponível no endereço <https://nanodb.dk/en/>, catalogados em diferentes categorias, tais como eletrodomésticos, automóveis, eletrónica e informática, alimentos e bebidas, bens para crianças, saúde e fitness, casa e jardim e, ainda, produtos impossíveis de categorizar. Cada produto é classificado por um conjunto de risco nano, através de um código de cores (semelhante às cores dos semáforos) que indica o potencial de exposição dos profissionais, dos consumidores e do ambiente e o potencial de perigo para os seres humanos e para o ambiente.

Com os avanços da NT, os alunos serão o público mais afetado pelo ritmo (des)controlado do desenvolvimento desta área. Algumas conexões entre o aluno e a sociedade podem ser facilitadas na escola através de atividades interdisciplinares que envolvam aprendizagens essenciais no âmbito da Físico-Química e temas da disciplina de Cidadania e Desenvolvimento como é o caso do risco, nomeadamente o Risco Tecnológico.

Desta forma, esta investigação vai ao encontro de novos desafios no que se refere à adoção de metodologias promotoras de aprendizagens significativas, no âmbito do Projeto “Autonomia e Flexibilidade Curricular” (DGE, 2024) em articulação com o “Perfil dos alunos à saída da escolaridade obrigatória” (DGE, 2017) e teve como objetivo conhecer a percepção dos benefícios e dos riscos da NT de alunos do 3.º ciclo do ensino básico do ensino português e dos respetivos pais, através da exploração de um recurso educativo proposto pelo professor na disciplina de Físico-Química.

Com o propósito de fundamentar o presente estudo, apresentam-se três eixos teóricos fundamentais que sustentam o enquadramento concetual da presente investigação: os potenciais riscos dos nanomateriais, a perceção de risco da NT na área da educação e o recurso educativo “Atividades com Pais no Computador”, que possibilita a triangulação entre a NT e diferentes disciplinas do currículo: a Físico-Química e a Cidadania e Desenvolvimento.

1.1. Potenciais Riscos dos Nanomateriais

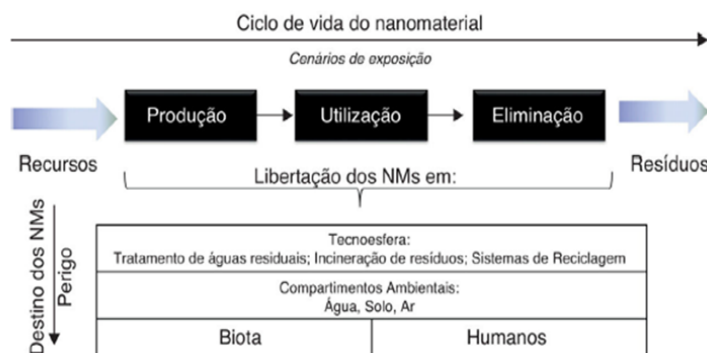
Os nanomateriais estão omnipresentes na nossa vida. Não são apenas produzidos pelo Homem, mas estão também presentes na natureza em nanomateriais produzidos e libertados nas emissões vulcânicas e nos fogos florestais. Os nanomateriais de origem antropogénica resultam de processos de refinação, de soldadura, da confeção de alimentos ou da combustão de automóveis a diesel. Os nanomateriais manufaturados (NM) são aqueles que são sintetizados para um determinado fim. O crescente estímulo ao desenvolvimento, produção e aplicação em grande escala de NM, bem como o seu uso numa variedade de produtos de consumo e em biomedicina, tem conduzido a um aumento da exposição humana e à disseminação no ambiente, sendo o seu potencial impacto ainda desconhecido (Khan & Agajanian, 2012; Louro, Borges, & Silva, 2013).

Durante as várias fases do ciclo de vida do NM, o ser humano pode estar inevitavelmente exposto. Na exposição ocupacional, durante a síntese, produção e inclusão de NM nos produtos, na exposição do consumidor, através da utilização desses produtos, e na exposição ambiental, resultante da eliminação dos NM e consequente acumulação no ambiente, como ilustra a Figura 1.

A via de exposição humana mais relevante em contexto ocupacional é a via inalatória, com a presença de NM no ar, devido a pó nanoparticulado que é produzido, utilizado e manipulado em processos industriais. Podem ainda surgir no ar NM da erosão de materiais fabricados. No que respeita à exposição por via oral, os NM com origem em solos ou em águas contaminadas, assim como os incorporados em alimentos, em suplementos alimentares ou mesmo em embalagens alimentares, podem ser absorvidos através dos intestinos dos mamíferos. É ainda importante referir a via transdérmica, tanto a nível da exposição ocupacional como na aplicação de produtos de cosmética e higiene pessoal contendo NM na sua composição, apesar do conhecimento sobre a (in)capacidade de penetração na pele permanecer ainda inconclusivo (Louro et al., 2013).

Figura 1

Esquema simplificado das fases do ciclo de vida de um nanomaterial.



Nota. Adaptado de “Nanomateriais manufaturados: novos desafios para a saúde pública” (p. 147), por H. Louro, T. Borges e M. J. Silva, 2013, *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, 31(2).

Num artigo da revista portuguesa de Pneumologia (Ferreira, Cemlyn, & Cordeiro, 2013), foi apresentada uma visão geral dos estudos mais importantes sobre nanotoxicologia respiratória e os efeitos de nanopartículas e NM, nomeadamente investigações *in vivo* realizadas à toxicidade dos nanotubos de carbono no sistema respiratório. Foi referido que a exposição às nanopartículas pode causar efeitos respiratórios adversos, nomeadamente, granulomas multifocais, inflamação peri brônquica, progressiva fibrose intersticial, respostas inflamatórias crónicas, deposição de colagénio e stress oxidativo. Desta forma, o futuro da NT depende, não apenas da antecipação dos seus benefícios para a sociedade, mas também da gestão dos medos que os seus possíveis riscos podem representar para o meio ambiente e para a saúde humana.

1.2. A Percepção de Risco da NT na Área da Educação

No contexto educacional existem estudos que abordam a introdução da NT antes dos estudantes ingressarem na universidade, não apenas com objetivos cognitivos (aprender NT), mas também com objetivos sociais e éticos (para discutir NT e para desenvolver futuros cidadãos com capacidade de participarem conscientemente num debate público sobre o desenvolvimento da NT).

Simonneaux, Panissal e Brossais (2013) investigaram a percepção de risco de alunos sobre NT do último ano do ensino secundário, com idades compreendidas entre 17 e 18 anos, no âmbito da educação da cidadania em ciência. O estudo de caso centrou-se na análise da interação dos alunos num debate de questões socialmente agudas (SAQs – Socially Acute Questions), elaboradas pelos alunos durante as várias fases de um projeto que envolveu reuniões com especialistas. O campo das SAQs representa uma orientação francesa para o ensino de questões sociocientíficas, designadamente questões controversas que têm implicações sociais e podem ser aplicadas pelos professores em debates no ambiente de sala de aula. As SAQs têm o potencial de perguntas abertas que envolvem problemas complexos e geram incertezas, que integram o conhecimento das ciências e das ciências humanas. Da análise do tipo de discurso e da discussão praticados por grupos de estudantes, os autores desta investigação identificaram os tipos de estudantes e as respetivas percepções de risco com base nos quadros teóricos de Beck (2001) e Douglas (1992).

Gardner et al. (2010) estudaram, através de questionários e entrevistas, a percepção de estudantes de três cursos de engenharia, com conhecimento nas ciências dos materiais e em várias fases do curso, sobre os riscos e benefícios das aplicações de NT como uma forma de promover a literacia científica inerente à NT. Verificaram que as percepções dos riscos e dos benefícios da NT estavam relacionadas com grupos específicos de aplicações que incluíam produtos de consumo comuns, produtos relacionados com a área da saúde e aplicações tecnológicas avançadas. A área do armamento (munições) foi considerada de alto risco e de baixo benefício. As aplicações médicas da NT foram classificadas de alto risco e de alto benefício.

Sozio e Elster (2016) estudaram a literacia de risco de 132 jovens de escolas secundárias da Alemanha no contexto da NT, dado que, atualmente, os nanomateriais estão a ser utilizados em quase todas as áreas. Com este intuito, examinaram produtos do dia a dia, tais como: desodorizantes e géis de banho que, na sua constituição, contêm nanopartículas de cloreto de alumínio ou cloridrato de alumínio e nanoprata. Apesar dos limites e das relações dose-resposta destas nanopartículas ainda não serem completamente conhecidos, pensa-se que estas podem desencadear a doença de Alzheimer, cancro da mama e resistência antimicrobiana. Desta forma, consideraram que é importante que os consumidores sejam informados da incerteza de risco de toxicidade de produtos que contenham nanomateriais, para que, futuramente, possam tomar decisões pessoais conscientes na forma de lidar com os riscos desconhecidos.

A literacia de risco proporciona aos alunos os pré-requisitos para realizarem um julgamento de risco bem fundamentado. Desse modo, o objetivo do estudo foi avaliar a qualidade das justificações e os julgamentos relacionados com o risco. De acordo com Sozio e Elster (2016), essa avaliação foi realizada com base num modelo desenvolvido para a avaliação de competências de risco dos alunos, o Modelo de Literacia de Risco (Risk Literacy Model – RLM), tendo por referência o Modelo de Probabilidade de Elaboração (Elaboration Likelihood Model – ELM) de Petty e Cacioppo (1986). Defendem que, os dois modos de processamento da informação são designados por via central e via periférica que constituem os dois extremos de um contínuo que representa a probabilidade de elaboração, isto é, a quantidade de reflexão dedicada à informação a tratar. Quando os indivíduos processam cuidadosamente toda a informação relevante, utilizam a via central. No entanto, se prestarem pouca atenção à informação, recorrem a atalhos cognitivos através da via periférica. A probabilidade de informação depende da motivação, das competências e da oportunidade das pessoas para processar a informação.

Estes estudos corroboram com as conclusões do trabalho de Kahan et al. (2007) que indicam que as atitudes do público em relação à NT derivam das suas respostas afetivas ou emocionais. Aqueles que pouco ou nada sabem de NT têm uma reação rápida no seu julgamento que é fortemente influenciado pelas suas percepções de risco ambientais que lhes são familiares, como as que são associadas ao aquecimento global, à energia nuclear ou ao armamento.

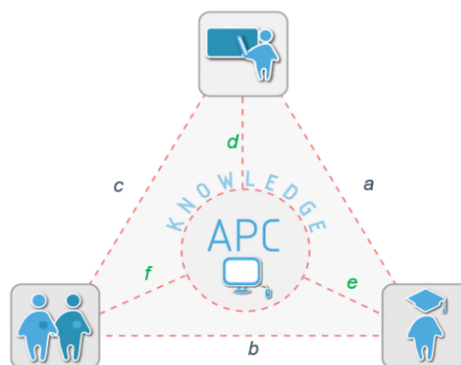
1.3. As Atividades com Pais no Computador como Recurso para Temas Sociocientíficos

As Atividades com Pais no Computador (APC) representam uma estratégia pedagógica orientada baseadas em conteúdos curriculares com relevância social, concebidas ou adaptadas por professores para promover a colaboração entre escola e família. Estas atividades procuram desenvolver, em simultâneo, a literacia digital e a literacia num domínio específico, através da interação entre alunos e pais com o apoio de meios digitais (Paiva et al., 2017; Silva et al., 2024).

A estrutura da APC é representada por um triângulo relacional (Figura 2) que liga professores, alunos e pais, refletindo três contextos distintos: escola (professor-aluno), casa (aluno-pais) e relações institucionais (professor-pais). As microrrelações, representadas por triângulos menores, têm o potencial de influenciar atitudes e transformar os papéis tradicionalmente atribuídos a cada participante. Em particular, quando os alunos assumem o papel de sujeitos mais conhecedores (Vygotsky, 1978), podem contribuir positivamente para o envolvimento dos pais, através da troca de conhecimentos e experiências (Paiva et al., 2017; Silva et al., 2024).

Figura 2

Estrutura da APC



Nota. Adaptado de “Activities with Parents on the Computer: An Ecological Framework” (p. 4), por J. C. Paiva, C. Moraes e L. Moreira, 2017, *Educational Technology & Society*, 20(2).

Estas atividades são concebidas com base num roteiro pedagógico que integra seis áreas fundamentais: convite à participação, contexto da atividade, trabalho individual, trabalho colaborativo, pesquisa orientada e opinião da atividade (Paiva et al., 2017; Silva et al., 2024). Este roteiro constitui um instrumento de orientação didática que estrutura a experiência de aprendizagem, promovendo a construção conjunta do conhecimento e a reflexão crítica sobre questões sociocientíficas.

Assim, destacam-se as premissas que sustentam esta investigação: os cidadãos têm pouco conhecimento da NT, mas, de um modo geral, são otimistas; a necessidade de abordar questões sociocientíficas da área da NT na escola, no âmbito do Projeto “Autonomia e Flexibilidade Curricular” (DGE, 2024), e em articulação com o “Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória” (DGE, 2017); e a criação de recursos que envolvam alunos e pais na promoção da nanoliteracia, visto que existem poucos recursos em língua portuguesa. Neste contexto, o presente estudo foi orientado pelas seguintes questões de investigação:

- Que correlação existe entre a perceção dos benefícios e a perceção dos riscos da NT na amostra de alunos e pais em estudo?

- Qual é a perceção dos benefícios e dos riscos da NT dos alunos dos grupos experimental e de controlo, antes e após a implementação da NanoAPC?

Com vista a responder às questões de investigação anteriormente apresentadas, foi delineado um estudo quasi-experimental, cuja metodologia é descrita na secção seguinte.

2. Metodologia

Foi implementado um plano de investigação quasi-experimental com um total de 106 participantes, dos quais 58 eram alunos do 8.º ano de escolaridade (com idades entre os 13 e os 14 anos) e 48 eram pais ou encarregados de educação (EE) (doravante designados, para simplificação, apenas como "pais"), pertencentes a um agrupamento de escolas em Portugal.

Os alunos foram distribuídos por três grupos: os grupos 1 e 2 (experimentais), sujeitos à Atividade com Pais no Computador na área da NT, designada por NanoAPC (Silva et al., 2024), e o grupo 3 (controlo), que realizou uma ficha de atividade. A perceção dos benefícios e dos riscos da NT constituiu as variáveis dependentes, avaliadas através de um questionário.

Esta metodologia segue uma linha semelhante à adotada por Silva et al. (2024), na medida em que utiliza a NanoAPC como recurso educativo e valoriza a articulação entre o contexto escolar e familiar para promover a nanoliteracia. Contudo, o presente estudo distingue-se claramente dessa investigação. Enquanto Silva et al. (2024) analisaram os efeitos da NanoAPC no conhecimento de alunos e pais sobre NT, o presente trabalho centra-se na perceção dos benefícios e dos riscos da NT, procurando compreender a relação entre estas duas dimensões e analisar o impacto de diferentes modalidades de implementação da NanoAPC sobre essas perceções. Adicionalmente, procede à adaptação e validação de um instrumento especificamente concebido para avaliar estas variáveis.

Os grupos foram constituídos por turmas do 8.º ano selecionadas por conveniência, em função da disponibilidade dos respetivos professores para participar no estudo e da obtenção do consentimento informado dos encarregados de educação e do assentimento dos alunos. A constituição original das turmas foi mantida, não tendo ocorrido uma distribuição aleatória dos alunos pelos grupos. O grupo 2 correspondeu à turma da investigadora, que aplicou diretamente a NanoAPC, iniciada em sala de aula

com recurso ao smartphone. A inclusão desta turma justificou-se pelo facto de a NanoAPC constituir um recurso educativo digital desenvolvido pela investigadora, cuja implementação foi acompanhada pela autora de forma a assegurar o cumprimento rigoroso do protocolo de intervenção e a esclarecer eventuais dúvidas relacionadas com o funcionamento da plataforma. Relativamente às duas turmas dos professores colaboradores, a atribuição das condições experimentais foi efetuada por sorteio, correspondendo uma turma ao grupo 1 (implementação da NanoAPC em casa, após orientação inicial em sala de aula) e a outra ao grupo 3 (realização de uma ficha de atividade sobre o mesmo tema). Todos os grupos receberam orientações dos respetivos professores. Os grupos de pais foram organizados segundo a numeração atribuída ao grupo do respetivo filho.

2.1. Recursos Pedagógicos: NanoAPC e Ficha de Atividade

Os alunos dos grupos experimentais (grupos 1 e 2) trabalharam com a NanoAPC, que constituiu o principal recurso educativo desta intervenção. Esta atividade digital, detalhadamente descrita por Silva et al. (2024), foi concebida com o propósito de explorar conteúdos relacionados com a NT e fomentar a reflexão crítica sobre as suas implicações sociocientíficas. Intitulada *Nano é pequeno e diferente – implicações na sociedade*, a atividade foi desenvolvida na plataforma WordPress, <https://www.fc.up.pt/apc/nanoapc/>, respeitando a estrutura em seis áreas originalmente proposta por Paiva et al. (2017).

Dado que o presente estudo procurou investigar as perceções dos alunos relativamente aos benefícios e riscos da NT, foi dada especial relevância aos recursos da NanoAPC que permitiam explorar diretamente estas dimensões. Em particular, destacam-se os conteúdos presentes na página 3 da área de trabalho individual (Figura 3), que incluíam informação da European Chemicals Agency (ECHA), acessível em língua portuguesa, sobre os potenciais impactos da NT na saúde humana e no ambiente. Para além disso, a área de trabalho colaborativo proporcionou um momento de diálogo entre alunos e pais, centrado na visualização conjunta de um vídeo com carácter explicativo e reflexivo sobre as aplicações, os benefícios, os riscos e as incertezas associadas à NT. Esta abordagem visou incentivar a construção de conhecimento partilhado e uma reflexão crítica sobre as implicações sociocientíficas desta área emergente, em articulação com os objetivos do estudo.

Figura 3

Ilustração da área de trabalho individual do site “Nano é pequeno e diferente”.

<https://www.fc.up.pt/apc/nanoapc/c-trabalho-individual/3/>



Os alunos do grupo de controlo (grupo 3), sem acesso à NanoAPC, realizaram uma ficha de atividade com conteúdos equivalentes, disponibilizada em papel e em PDF na plataforma Moodle. A ficha

incluía três áreas: introdução, trabalho individual e colaborativo, e espaço para opinião dos participantes, sendo as respostas entregues em formato papel ao professor.

2.2. Instrumento de Recolha de Dados

Para avaliar a percepção dos alunos relativamente aos benefícios e riscos associados à NT, foi construído um questionário adaptado a partir das subescalas *Perception of Benefits* e *Perception of Risks* do instrumento *Public Attitudes toward Nanotechnology* (PANT), desenvolvido por Lin, Lin e Wu (2013), utilizando uma escala de resposta do tipo Likert de quatro pontos: «discordo muito», «discordo», «concordo» e «concordo muito».

Com o objetivo de melhorar a consistência interna e a fiabilidade do instrumento (Cronbach, 1951), foram acrescentados dez itens, cinco referentes à percepção dos benefícios e cinco à percepção dos riscos da NT. Estes itens foram elaborados pela investigadora com base na equivalência semântica dos itens originais e sujeitos a revisão por pares, procurando assegurar a sua clareza, pertinência e adequação ao contexto do estudo. O questionário final passou a ser constituído por vinte itens, dez relativos à percepção dos benefícios (identificados pela letra B) e dez relativos à percepção dos riscos (identificados pela letra R). O questionário aplicado aos alunos é apresentado no Anexo A.

3. Resultados

3.1. Validação do questionário de percepção de benefícios e de riscos da NT

Na validação do questionário, uma análise de componentes principais (ACP) com rotação Varimax foi aplicada aos dados recolhidos das respostas ao questionário pós-teste de 106 participantes. A escolha do pós-teste para se realizar este tratamento prende-se com o facto dos pais responderem apenas ao pós-teste. Acresce o facto de no pré-teste 36,2 % dos alunos assinalarem que nunca tinham ouvido falar de NT e 41,4 % dos alunos acederam a informação de NT através desta investigação, o que perfaz um total de 77,6 % de alunos que não tiveram contacto com a NT.

A Medida de Adequação da Amostra de Kaiser-Meyer-Olkin indicou que a adequação da amostra era mediana (Kaiser, 1974) ($KMO = 0,75$). O teste de esfericidade de Bartlett foi estatisticamente significativo, $\chi^2(190) = 736,48$ ($p < 0,001$), apoiando a alegação de que as correlações entre os itens eram suficientemente elevadas para conduzir uma ACP. Através de uma técnica de análise multivariada, aplicou-se o método de extração “Análise de Componente Principal” e o método de rotação “Varimax com Normalização de Kaiser” para o questionário de percepção de benefícios e riscos de NT. Verificou-se que o questionário apresentava problemas em vários itens, por saturarem em dois componentes ou saturarem abaixo de 0,5. Desta forma, realizou-se novamente a mesma análise estatística utilizando apenas sete itens do questionário que não apresentavam os problemas referidos anteriormente.

A obtenção da matriz de componente rotativa permitiu verificar na escala de percepção de benefícios quatro itens (B5, B6, B7, B9) e na escala de percepção dos riscos três itens (R5, R10, R9). Desta forma, os resultados suportam a solução de dois componentes: percepção dos benefícios da NT (componente 1) e percepção dos riscos da NT (componente 2), de acordo com a Tabela 1.

Procedeu-se à análise da confiabilidade do questionário através do cálculo do coeficiente alfa de Cronbach. Os resultados obtidos revelaram níveis de consistência interna considerados aceitáveis, de acordo com os critérios propostos por Peterson (1994). Para a dimensão da percepção dos benefícios da NT, o valor do alfa foi de $\alpha = 0,83$, enquanto para a dimensão da percepção dos riscos da NT foi obtido um valor de $\alpha = 0,74$.

Tabela 1

Matriz de componente rotativa^a.

	Comp onente	
B5. A nanotecnologia pode aumentar a eficácia dos produtos de alta tecnologia.	,829	
B6. A nanotecnologia traz benefícios para a humanidade.	,816	
B9. A qualidade de vida poderá aumentar com o avanço da nanotecnologia.	,815	
B7. A nanotecnologia pode beneficiar a saúde.	,761	
R10. O desenvolvimento de minúsculos dispositivos de vigilância ameaça a liberdade individual.		,842
R5. Pequenos monitores desenvolvidos em nanotecnologia podem resultar na perda de privacidade.		,818
R9. O desenvolvimento da nanotecnologia pode promover a utilização de armas mais eficazes.		,743

Método de Extração: análise de Componente Principal.

Método de Rotação: Varimax com Normalização de Kaiser.

a. Rotação convergida em 3 iterações.

3.2. *Correlação entre as variáveis de percepção de benefícios e de riscos da NT para as amostras de alunos e de pais*

Criaram-se duas variáveis, uma de percepção dos benefícios da NT e outra de percepção dos riscos de NT agrupando, respetivamente, os itens padronizados nos componentes 1 e 2. Procedeu-se a uma análise de correlação entre a média da percepção dos benefícios e a média da percepção dos riscos de NT através da determinação do coeficiente de correlação de Pearson. Para os alunos, obteve-se tanto no pré-teste, como no pós-teste, um coeficiente de correlação de 0,200 e 0,197, respetivamente, o que revelou uma correlação desprezável entre estas duas variáveis. Estes resultados não atingiram significância estatística que pode ser devida ao acaso. Para o grupo dos pais, o coeficiente de correlação de Pearson é igual a 0,323. Embora a correlação possa apresentar significado estatístico, corresponde a uma correlação moderada (Cohen, 1988). Este facto pode ser comprovado pelo cálculo da percentagem da variância explicada ($0,3232 \times 100$) = 10,4%, o que evidencia que estas duas variáveis apenas têm em comum esta pequena percentagem e que a percentagem sobranete corresponde a 89,6%.

Assim, pela análise efetuada, constatou-se que a percepção dos benefícios da NT não depende da percepção dos riscos da NT na amostra de alunos e na amostra de pais, embora nestes últimos o coeficiente de correlação de Pearson fosse ligeiramente maior. Estes responderam de forma independente aos itens que mediam estas duas variáveis.

3.3. Perceção dos Benefícios da NT dos alunos

Através da técnica da Anova Mista de medidas repetidas, procurou-se investigar se a atividade realizada por cada grupo de alunos influenciou a sua perceção de benefícios de NT. A Tabela 2 sistematiza os dados obtidos na estatística descritiva referente à perceção dos benefícios de NT.

Tabela 2

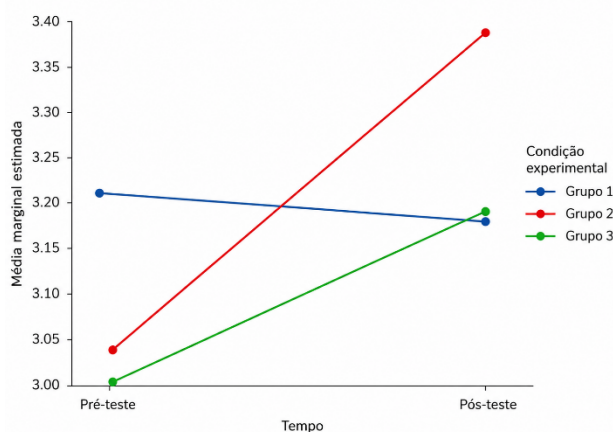
Estatística descritiva referente à perceção dos benefícios de NT dos alunos.

	Condição experimental	Média	Erro Desvio	N
Pré-teste	grupo 1	3,21	0,329	21
	grupo 2	3,04	0,419	19
	grupo 3	3,01	0,315	18
	Total	3,09	0,362	58
Pós-teste	grupo 1	3,18	0,412	21
	grupo 2	3,39	0,394	19
	grupo 3	3,19	0,398	18
	Total	3,25	0,407	58

Pela análise dos dados da tabela anterior, de um modo geral, na amostra de alunos, constatou-se que no pré-teste a média da perceção dos benefícios da NT foi menor (3,09) que a média da perceção dos benefícios da NT (3,25) no pós-teste. A Figura 4 evidencia as médias marginais estimadas de perceção de benefícios de NT, ao longo do tempo, para os três grupos sujeitos a condições experimentais diferentes.

Figura 4

Gráfico das médias marginais estimadas da perceção de benefícios da NT dos alunos, por condição experimental.



Ao longo do tempo, o grupo 1 diminuiu a média da sua perceção de benefícios da NT de 3,21 para 3,18, enquanto os grupos 2 e 3 aumentaram, respetivamente, de 3,04 para 3,39 e de 3,01 para 3,19. Estas diferenças foram analisadas do ponto de vista estatístico. Numa análise exploratória, pelo Rastreamento de Pillai, averiguou-se que a atividade provocou efeitos significativos ($p < 0,05$) dentre cada condição experimental, no efeito tempo ($p = 0,009$) e de interação entre tempo*condição experimental ($p = 0,036$). Assim, procedeu-se a uma comparação entre os diferentes grupos e confirmou-se que, apenas entre os

grupos 1 e 2, o efeito da interação tempo*condição experimental teve significado estatístico: $F(1, 38) = 5,90$, $p = 0,02$, com um tamanho de efeito (η^2 parcial ao quadrado) igual a 0,134. Estes resultados sugerem que os grupos sujeitos ao modelo APC, mas com uma implementação inicial diferente, conduziram a uma alteração com significado estatístico na percepção de benefícios de NT: no grupo 1, uma diminuição e, no grupo 2, um aumento.

3.4. Percepção dos Riscos da NT dos alunos

Através de um procedimento estatístico idêntico ao descrito na análise da percepção de benefícios de NT dos alunos, descrito anteriormente, investigou-se se a atividade realizada por cada grupo de alunos alterou a sua percepção de riscos de NT. A Tabela 3 resume os dados obtidos na estatística descritiva referente à percepção dos riscos de NT.

Tabela 3

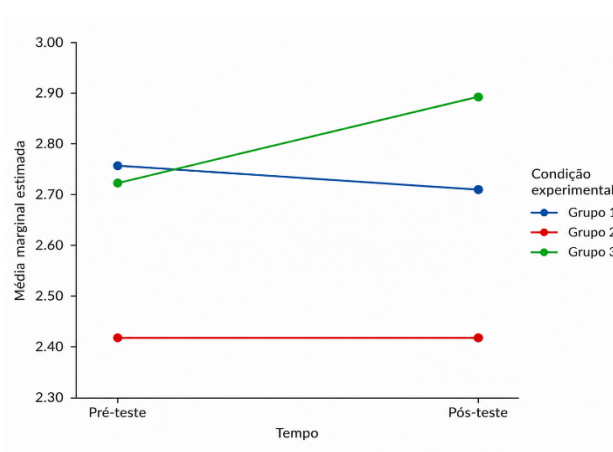
Estatística descritiva referente à percepção dos riscos de NT dos alunos.

		Condição experimental	Média	Erro Desvio	N
Pré-teste	Percepção dos Riscos da NT dos alunos	grupo 1	2,76	0,539	21
		grupo 2	2,42	0,627	19
		grupo 3	2,74	0,436	18
		Total	2,64	0,554	58
Pós-teste	Percepção dos Riscos da NT dos alunos	grupo 1	2,71	0,652	21
		grupo 2	2,42	0,784	19
		grupo 3	2,89	0,498	18
		Total	2,67	0,674	58

Pela análise das médias obtidas por cada condição experimental, constatou-se pela tabela anterior, que o grupo 2 apresentou uma menor média de percepção de risco da NT (2,42) e que esta se manteve ao longo do tempo. O grupo 1 diminuiu ligeiramente a sua média de percepção de risco (2,76 para 2,42) enquanto o grupo 3 a aumentou ligeiramente (2,74 para 2,89). A Figura 5 evidencia as médias marginais estimadas de percepção de benefícios de NT dos alunos, ao longo do tempo, para os três grupos sujeitos a condições experimentais diferentes.

Figura 5

Gráfico das médias marginais estimadas da percepção de riscos da NT dos alunos, por condição experimental.



Pelos resultados obtidos no Rastreo de Pillai, notou-se que ambas as atividades realizadas pelos alunos não provocaram efeitos com significado estatístico ($p > 0,05$) dentre cada condição experimental, no efeito tempo e no efeito da interação do tempo*condição experimental, no que respeita à percepção de risco na NT. Assim, ambas as atividades realizadas pelos diferentes grupos de alunos não alteraram estatisticamente as suas percepções de risco de NT.

3.5. Percepção de Benefícios e Riscos da NT dos pais

Após a realização das atividades, por aplicação do teste de Kruskal-Wallis, obteve-se os valores do posto médio (Tabela 4) para a percepção de benefícios e a percepção de risco dos pais.

Verificou-se que a percepção dos benefícios da NT é maior que a percepção dos riscos da NT nos grupos 1 e 2 (respetivamente, 30,18 e 19,75 para os benefícios e 25,92 e 18,61 para os riscos). Para os pais do grupo 3, a percepção dos benefícios é menor (21,73) que a percepção dos riscos da NT (28,20).

O teste estatístico referido mostrou que, tanto na percepção de benefícios da NT quanto na percepção de riscos da NT, não houve diferenças significativas entre os diferentes grupos de pais sujeitos às diferentes atividades, tendo-se obtido respetivamente, $H(2) = 5,95$, $p > 0,05$ e $H(2) = 4,01$, $p > 0,05$.

Tabela 4

Posto médio das percepções dos benefícios e dos riscos na NT.

	Condição experimental	N	Posto Médio
Percepção dos benefícios da NT dos pais/EE	grupo 1	19	30,18
	grupo 2	14	19,75
	grupo 3	15	21,73
	Total	48	
Percepção dos riscos da NT dos pais/EE	grupo 1	19	25,92
	grupo 2	14	18,61
	grupo 3	15	28,20
	Total	48	

5. Discussão

Os resultados deste estudo mostram que a implementação da NanoAPC permitiu abordar questões sociocientíficas relacionadas com a NT, envolvendo simultaneamente alunos e pais na análise das suas potenciais aplicações e implicações. Em resposta à primeira questão de investigação, verificou-se que a percepção dos benefícios e a percepção dos riscos constituem dimensões independentes, tanto na amostra de alunos como na de pais, uma vez que não foram observadas correlações estatisticamente significativas entre estas variáveis nos alunos e a associação encontrada nos pais revelou uma reduzida variância partilhada (10,4%). Estes resultados indicam que a valorização dos potenciais benefícios da NT não implica, necessariamente, uma menor percepção dos seus riscos, nem que o reconhecimento destes inviabilize a apreciação dos seus benefícios. Esta interpretação está em consonância com Gardner et al. (2010), que verificaram que diferentes aplicações da NT podem ser simultaneamente percecionadas como altamente benéficas e potencialmente arriscadas, e é igualmente compatível com Kahan et al. (2007), segundo os quais as atitudes perante tecnologias emergentes resultam da interação entre conhecimentos prévios, valores e respostas afetivas, corroborando os resultados obtidos neste estudo.

Relativamente à segunda questão de investigação, apenas a perceção dos benefícios apresentou alterações estatisticamente significativas, verificando-se uma diminuição no grupo 1 e um aumento no grupo 2, enquanto a perceção dos riscos permaneceu estável em todos os grupos. Embora o grupo 3 também tenha apresentado um ligeiro aumento da média da perceção dos benefícios, apenas a diferença entre os dois grupos que utilizaram a NanoAPC revelou significado estatístico. Considerando que 77,6 % dos alunos referiram não ter tido contacto prévio com informação sobre a NT, é plausível admitir que as perceções inicialmente expressas tenham resultado, em grande medida, de um processamento da informação predominantemente pela via periférica, conforme descrito no Modelo de Probabilidade de Elaboração de Petty e Cacioppo (1986). Nestas circunstâncias, os julgamentos tendem a apoiar-se em conhecimentos limitados, em heurísticas ou em associações a riscos que lhes são familiares, em detrimento de uma análise mais aprofundada da informação disponível. Esta interpretação encontra igualmente suporte no Modelo de Literacia de Risco de Sozio e Elster (2016), segundo o qual a capacidade para formular julgamentos fundamentados depende da motivação, das competências e das oportunidades para processar criticamente a informação. Neste contexto, a NanoAPC poderá ter criado condições favoráveis a um processamento mais elaborado da informação, ao promover a análise fundamentada de questões sociocientíficas, sem que seja possível inferir, no âmbito deste estudo, uma transição da via periférica para a via central de processamento. Esta interpretação é consistente com os resultados de Silva et al. (2024), que evidenciaram o potencial da NanoAPC para promover a aprendizagem da NT através da articulação entre a escola e a família, sugerindo que esta estratégia poderá proporcionar condições favoráveis à construção de conhecimento sobre a NT.

Embora não seja possível estabelecer uma relação causal, é plausível admitir que a realização da NanoAPC em contextos de aprendizagem distintos tenha contribuído para a evolução diferenciada da perceção dos benefícios nos grupos 1 e 2. A realização da atividade em contexto de sala de aula, com acompanhamento da investigadora e tempo letivo especificamente dedicado à utilização da NanoAPC, poderá ter proporcionado um contexto mais favorável à exploração dos conteúdos e das aplicações da NT pelos alunos, contribuindo para o aumento observado no grupo 2. Em contrapartida, a realização da atividade em contexto autónomo, no grupo 1, poderá ter favorecido uma reavaliação mais ponderada dos potenciais benefícios da NT, sem que tal represente uma desvalorização da tecnologia, mas antes uma perceção mais refletida e informada. Por sua vez, a estabilidade observada na perceção dos riscos é compatível com os resultados de Kahan et al. (2007), segundo os quais as atitudes perante tecnologias emergentes são fortemente influenciadas por respostas afetivas e por perceções de risco previamente estabelecidas, o que poderá contribuir para explicar a reduzida variação observada nesta dimensão.

Os resultados obtidos sugerem que o principal contributo da NanoAPC não reside em promover perceções mais favoráveis da NT, mas antes em criar condições para que alunos e pais desenvolvam perceções mais fundamentadas sobre os seus benefícios e os seus potenciais riscos. Neste sentido, a NanoAPC evidencia potencial como estratégia pedagógica para integrar questões sociocientíficas relacionadas com a NT no ensino das ciências, promovendo a articulação entre a escola e a família e contribuindo para uma compreensão mais informada das tecnologias emergentes e das suas implicações para a sociedade.

6. Conclusões

O contacto dos alunos e dos pais com conceitos e aplicações da NT foi viabilizado através da exploração do recurso digital Nano é pequeno e diferente: implicações na sociedade, disponível online. Esta atividade permitiu articular algumas aprendizagens essenciais da disciplina de Físico-Química, nomeadamente os conceitos de átomo e molécula, com o tema do Risco Tecnológico da disciplina de Cidadania e Desenvolvimento. Esta abordagem está em consonância com o Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade

Obrigatória (DGE, 2017), ao contribuir para a preparação dos jovens face às incertezas inerentes ao avanço tecnológico.

No âmbito desta investigação, foi ainda possível otimizar e validar um questionário destinado a avaliar a perceção dos benefícios e dos riscos da NT, bem como analisar a relação entre estas duas dimensões, constituindo um contributo metodológico que poderá apoiar futuras investigações sobre a perceção dos benefícios e dos riscos da NT em contextos educativos.

Os resultados indicaram que, tanto na amostra de alunos como na dos pais, a perceção dos benefícios é independente da perceção dos riscos da NT. Relativamente ao impacto das atividades desenvolvidas, verificou-se que nenhuma das intervenções conduziu a alterações estatisticamente significativas na perceção dos riscos. No que respeita à perceção dos benefícios, verificaram-se diferenças estatisticamente significativas apenas entre os dois grupos que implementaram a NanoAPC, observando-se uma diminuição no grupo 1 e um aumento no grupo 2, enquanto o grupo 3 apresentou apenas um aumento descritivo, sem diferenças estatisticamente significativas.

Importa sublinhar que o desenho da NanoAPC teve como principal objetivo promover a análise e a reflexão sobre os conteúdos, sem procurar influenciar diretamente as perceções dos participantes. Este facto reforça o valor pedagógico do recurso, que se revelou eficaz na promoção da reflexão crítica sobre questões sociocientíficas associadas à NT. Os resultados obtidos estão em consonância com as conclusões de Paiva et al. (2017), que destacam o papel das APC na abordagem de conteúdos socialmente relevantes, através da colaboração entre alunos e encarregados de educação, contribuindo para o desenvolvimento da literacia em domínios específicos.

Os resultados deste estudo evidenciam o potencial da NanoAPC como estratégia pedagógica para proporcionar aos alunos um primeiro contacto estruturado com a NT, envolvendo simultaneamente os pais no processo de aprendizagem. Esta dinâmica gerou oportunidades de reflexão conjunta sobre os benefícios e os riscos da NT, revelando-se particularmente relevante em contextos educativos em que o tempo letivo disponível para abordar tecnologias emergentes é reduzido. Assim, a NanoAPC constitui uma proposta pedagógica consistente para a abordagem de temas sociocientíficos relacionados com a NT, promovendo a integração curricular e a colaboração entre alunos e pais.

Do ponto de vista prático, os resultados sugerem que a NanoAPC poderá constituir um recurso útil para apoiar os professores na integração da NT no ensino das ciências, em particular na abordagem de questões sociocientíficas e na promoção da colaboração entre a escola e a família. Ao favorecer a participação ativa dos alunos e dos pais na discussão de temas científicos com relevância social, esta estratégia pedagógica poderá contribuir para aproximar a aprendizagem escolar do contexto familiar e reforçar o papel da educação científica na promoção de uma compreensão mais informada das tecnologias emergentes e das suas implicações para a sociedade. Embora os resultados devam ser interpretados à luz das limitações inerentes ao desenho quasi-experimental e à dimensão da amostra, futuras investigações poderão recorrer a amostras mais alargadas e diversificadas, incluir avaliações de seguimento que permitam analisar a estabilidade das alterações observadas ao longo do tempo e explorar o impacto de diferentes modalidades de implementação da NanoAPC. Será igualmente relevante aprofundar o papel da articulação entre a escola e a família, analisando de que forma o diálogo estabelecido entre alunos e pais contribui para a construção de conhecimento científico sobre a NT e para o desenvolvimento de perceções mais informadas acerca dos seus benefícios e dos seus potenciais riscos.

7. Agradecimentos

Os autores expressam a sua gratidão a todos os que participaram no estudo. A vossa disponibilidade para contribuir e partilhar as vossas ideias é muito apreciada.

8. Contribuição dos autores

A Autora 1 foi responsável pela conceção do estudo, realização da investigação, recolha e organização dos dados, análise e tratamento estatístico dos dados, interpretação dos resultados, elaboração das figuras e tabelas e redação da versão inicial do manuscrito. O Autor 2 foi o orientador científico da investigação, acompanhando e orientando o desenvolvimento do estudo. A Autora 3 arguiu esta investigação em provas públicas, contribuiu para a estruturação e revisão crítica do manuscrito e apresentou sugestões para o seu aperfeiçoamento. Todos os autores contribuíram para a revisão e edição do manuscrito.

9. Declaração de fontes de financiamento

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 IMS (Institute of Molecular Sciences) (LA/P/0056/2020).

10. Declaração do uso de utilização de inteligência artificial

Durante a preparação deste artigo, a Autora 1 utilizou o ChatGPT (OpenAI, GPT-5.5) exclusivamente para apoio na revisão linguística e no aperfeiçoamento da redação do texto. Posteriormente, os autores reviram e editaram o manuscrito, assumindo total responsabilidade pelo seu conteúdo.

11. Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não ter quaisquer conflitos de interesses relacionados com a publicação deste artigo.

12. Referências

- Beck, U. (2001). *Risk society: Towards a new modernity*. Paris: Flammarion.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334.
- Debry, M., Marschalek, I., Hofer, M., & Handler, K. (2014). D.7.6 – Policy Recommendations. *Monitoring Public Opinion on Nanotechnology in Europe*. NANOPINION – European Platform on Nano Outreach and Dialogue (NODE).
- DGE. (2017). *Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória*. <https://www.dge.mec.pt/noticias/perfil-dos-alunos-saida-da-escolaridade-obrigatoria>
- DGE. (2024). *Autonomia e Flexibilidade Curricular*. <https://afc.dge.mec.pt/pt/apresentacao>
- Douglas, M. (1992). *Risk and blame: Essays in cultural theory*. London: Routledge.
- Ferreira, A. J., Cemlyn-Jones, J., & Cordeiro, C. R. (2013). Nanoparticles, nanotechnology and pulmonary nanotoxicology. *Revista Portuguesa de Pneumologia*, 19(1), 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.rppneu.2012.09.003>
- Gardner, G., Jones, G., Taylor, A., Forrester, J., & Robertson, L. (2010). Students' risk perceptions of nanotechnology applications: Implications for science education. *International Journal of Science Education*, 32(14), 1951–1969. <https://doi.org/10.1080/09500690903331035>
- Kahan, D. M., Slovic, P., Donald, B., Gastil, J., & Cohen, G. (2007). *Nanotechnology Risk Perceptions: The Influence of Affect and Values*. Cultural Cognition Project at Yale Law School. Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- Khan, A. S., & Agajanian, A. (2012). *Nanotechnology: Teaching Ethical and Social Issues in a STS Course*. Paper presented at the 2012 ASEE Annual Conference, San Antonio, TX, USA.
- Lin, S., Lin, H., & Wu, Y. (2013). Validation and exploration of instruments for assessing public knowledge of and attitudes toward nanotechnology. *Journal of Science Education and Technology*, 22, 548–559.

- Louro, H., Borges, T., & Silva, M. (2013). Nanomateriais manufaturados: novos desafios para a saúde pública. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, 31(2), 188–200.
- Murphy, F., Alavi, A., Mullins, M., Furxhi, I., Kia, A., & Kingston, M. (2022). The risk perception of nanotechnology: Evidence from Twitter. *RSC Advances*, 12(18). <https://doi.org/10.1039/D1RA09383E>
- Paiva, J. C., Morais, C., & Moreira, L. (2017). Activities with Parents on the Computer: An Ecological Framework. *Educational Technology & Society*, 20(2), 1–14.
- Peterson, R. A. (1994). A meta-analysis of Cronbach's coefficient alpha. *Journal of Consumer Research*, 21(2), 381–391.
- Petty, R. E., & Cacioppo, J. T. (1986). The Elaboration Likelihood Model of Persuasion. *Advances in Experimental Social Psychology*, 19, 123–205.
- Rodrigues, C. T., & Lopes, M. D. (2023). Nanociência e Nanotecnologia: uma análise documental a partir da BNCC. *Revista Física no Campus*, 3(2), 6–21.
- Silva, N., Paiva, J. C. M., & Morais, C. (2024). Atividade com Pais no Computador "NanoAPC": Contributos para a aprendizagem da Nanotecnologia no contexto do ensino da Química. *IENCI – Investigações em Ensino das Ciências*, 29(1), 117–134. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2024v29n1p117>
- Simonneaux, L., Panissal, N., & Brossais, E. (2013). Students' perception of risk about nanotechnology after an SAQ teaching strategy. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2376–2406.
- Sozio, M., & Elster, D. (2016). On the Risk Literacy of Young People in the Context of Nanotechnology. In *New Perspectives in Science Education: Conference Proceedings* (5th ed., pp. 589–594). Florence, Italy: Libreria Universitaria.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.

Anexo A - Questionário aplicado aos alunos para avaliação da percepção dos benefícios e dos riscos da nanotecnologia (adaptado de Lin et al., 2013).

Percepção de Benefícios

- B1. O desenvolvimento de produtos de nanotecnologia traria às pessoas mais vantagens do que desvantagens.
- B2. A nanotecnologia pode proporcionar às pessoas novas formas e melhores maneiras de curar ou examinar as suas doenças.
- B3. A nanotecnologia não pode proporcionar às pessoas novas formas e melhores maneiras de tornar o ambiente limpo.
- B4. A nanotecnologia tornaria a nossa vida mais confortável.
- B5. A nanotecnologia pode aumentar a eficácia dos produtos de alta tecnologia.
- B6. A nanotecnologia traz benefícios para a humanidade.
- B7. A nanotecnologia pode beneficiar a saúde.
- B8. Produtos de nanotecnologia podem ajudar a diminuir os níveis de poluição ambiental.
- B9. A qualidade de vida poderá aumentar com o avanço da nanotecnologia.
- B10. A nanotecnologia pode criar produtos inovadores e ainda mais eficientes.

Percepção de Riscos

- R1. A nanotecnologia não prejudica a nossa saúde.
- R2. A toxicidade das nanopartículas pode ser maior do que a das partículas de maior tamanho.
- R3. A nanotecnologia não polui o nosso ambiente.
- R4. A nanotecnologia pode levar à competição entre forças militares de alguns países.
- R5. Pequenos monitores desenvolvidos em nanotecnologia podem resultar na perda de privacidade.
- R6. A nanotecnologia implica alguns riscos para a nossa saúde.
- R7. Nem todas as partículas de menor tamanho apresentam toxicidade.
- R8. A nanotecnologia tem consequências prejudiciais para o ambiente.
- R9. O desenvolvimento da nanotecnologia pode promover a utilização de armas mais eficazes.
- R10. O desenvolvimento de minúsculos dispositivos de vigilância ameaça a liberdade individual.