

ESTADOS FÍSICOS DA MATÉRIA. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO 5º ANO DE ESCOLARIDADE

PHYSICAL STATES OF MATTER. COMPUTER SIMULATIONS IN THE 5TH GRADE

ESTADOS FÍSICOS DE LA MATERIA. SIMULACIONES POR ORDENADOR EN 5º AÑO DE ESCOLARIDAD

FATIMA MARIA ARAÚJO^I
BERNARDINO LOPES^{II}
JOSÉ CRAVINO^{III}
ARMANDO SOARES^{IV}

RESUMO As mudanças do estado físico da matéria poderão ser melhor compreendidas pelos alunos do 5º. ano de escolaridade se eles adquirirem noções básicas da teoria corpuscular e cinético-molecular. A introdução precoce do conceito de partícula, da sua dinâmica e da interação entre partículas também poderá reduzir o aparecimento de concepções alternativas e facilitar a compreensão futura dessas teorias. Apesar de serem conceitos abstratos e de difícil compreensão, tanto pela natureza das partículas como pela sua dimensão, o uso de simulações computacionais poderá reduzir a abstração necessária à compreensão de tais conceitos. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia de diferentes estratégias de utilização de simulações computacionais, na aprendizagem das mudanças do estado físico da matéria a nível microscópico, em alunos com idades entre os 9 e os 11 anos. O estudo foi realizado em quatro turmas. Foram empregadas duas simulações e quatro formas de as integrar no currículo. Recolheram-se dados acerca do ensino e da aprendizagem, recorrendo em particular à realização de um pré-teste e de um pós-teste. O estudo permitiu verificar qual das estratégias de integração das simulações computacionais no currículo foi mais eficaz.

PALAVRAS-CHAVE: ESTADOS FÍSICOS DA MATÉRIA; NATUREZA CORPUSCULAR DA MATÉRIA; SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS; ESTRATÉGIAS DE INTEGRAÇÃO CURRICULAR.

^IUniversidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Vila Real – Portugal.

^{II}Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Aveiro – Portugal.

^{III}Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Aveiro – Portugal.

^{IV}Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD). Vila Real – Portugal.

ABSTRACT Changes in the physical state of matter may be better understood by students in the 5th grade if students acquire basic notions of corpuscular and kinetic-molecular theory. The early introduction of the concept of particle, its dynamics and the interaction between particles may also reduce the appearance of alternative concepts and facilitate the future understanding of these theories. Although they are abstract concepts and difficult to understand, both by the nature of the particles and by their size, the use of computational simulations may reduce the abstraction necessary to understand such concepts. The goal of this study was to assess the efficacy of different strategies of use of computer simulations, in learning of the changes in the physical state of matter at a microscopic level, on pupils between 9 and 11 years old. The study was carried out in four classes. Two simulations and four ways to integrate them in the curriculum were used. Data was collected on teaching and learning by using specially pre-tests and post-tests. The study allowed to verify which of the strategies of integration of the computational simulations in the curriculum was the most effective.

KEY-WORDS: PHYSICAL STATE OF THE MATTER; PARTICULATE NATURE OF MATTER; COMPUTER SIMULATIONS; CURRICULUM INTEGRATION STRATEGIES.

RESUMEN Los cambios en el estado físico de la materia pueden ser mejor entendidos por los estudiantes del 5º. año de estudio, si los estudiantes adquieren nociones básicas de la teoría corpuscular y cinético-molecular. La introducción temprana del concepto de la partícula, su dinámica y la interacción entre partículas también puede reducir la aparición de las concepciones alternativas y facilitar la comprensión futura de estas teorías. Aunque son conceptos abstractos y difíciles de entender, tanto la naturaleza de las partículas y por su tamaño, el uso de simulaciones por ordenador puede reducir la abstracción necesaria para entender estos conceptos. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia de diferentes estrategias para el uso de simulaciones por ordenador, en el aprendizaje de los cambios del estado físico de la materia a nivel microscópico, en alumnos de 9 a 11 años. El estudio se realizó en cuatro clases. Se han utilizado dos simulaciones y cuatro maneras de integrarlos en el currículo. Se recogieron datos sobre la enseñanza y el aprendizaje a partir de la realización de un pre-test y un post-test. El estudio mostró cuál de las estrategias de integración de las simulaciones por ordenador en el currículo fue más eficaz.

PALABRAS CLAVE: ESTADOS FÍSICOS DE LA MATERIA; NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA; SIMULACIONES POR ORDENADOR; ESTRATEGIAS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR.

INTRODUÇÃO

A teoria a respeito da natureza corpuscular da matéria, por ser demasiado abstrata, é de difícil compreensão tanto pelos alunos do ensino básico como do ensino secundário. Num estudo de revisão, Özman (2013) conclui que as principais questões problemáticas para os alunos, a nível da química são: as teorias sobre a natureza e as características das partículas; a existência de espaço entre as partículas; o comportamento destas em diferentes

estados da matéria; o tamanho das moléculas e as alterações no arranjo das partículas durante a mudança de fase e os processos químicos. Mas não é apenas a natureza abstrata das partículas que causa dificuldades na compreensão da constituição da matéria mas também a sua dimensão “nanométrica”. Além disso, a compreensão e a conceptualização adequada de muitos dos conceitos abstratos da química requerem uma capacidade de visualização tri-dimensional, que muitos alunos não possuem (ÖZMEN 2013; GABEL et al., 1987). Apesar de ser uma teoria central na Ciência Química, e importante para a compreensão de áreas da Física e da Biologia (ADADAN et al., 2009), em Portugal e em muitos países europeus só é abordada no 8.º ano de escolaridade. Contudo, os alunos ao longo da sua escolaridade, e até iniciarem o estudo formal dessa teoria, vão adquirindo conhecimentos de modo informal pelo contato com o meio social onde estão inseridos (família, os amigos, colegas, mídia). Assim, constroem “quadros explicativos” que interpretam e descrevem uma variedade de fenómenos naturais a partir de um pequeno conjunto de crenças consistentes e com coerência conceptual (SAMARAPUNGAVAN & WIERS, 1997, p. 148).

Parte da relutância em introduzir as crianças para a visão do mundo à escala microscópica baseia-se na ideia de que as crianças são essencialmente pensadores concretos (NAKHLEH & SAMARAPUNGAVAN, 1999) mas, o mundo das partículas não é acessível por meio da experiência direta nem para os alunos do ensino básico nem para os do ensino secundário e precisa de atos de imaginação. A dificuldade que as crianças têm com a aprendizagem desse domínio poderá ter mais a ver com as alterações ontológicas necessárias para que ocorra a mudança de uma visão macroscópica para uma visão microscópica, do que com as limitações de desenvolvimento mental e de raciocínio (NAKHLEH e SAMARAPUNGAVAN, 1999, p. 801).

No 1.º ciclo do ensino básico, os alunos já abordam e realizam experiências com materiais de uso corrente, classificam os materiais em sólidos, líquidos e gasosos segundo as suas propriedades, estudam o comportamento da água e de outros materiais face à variação da temperatura (ebulição, evaporação, solidificação, fusão e condensação) e realizam experiências que envolvem mudanças de estado físico da matéria. No 2.º ciclo, os estados físicos da água e as suas alterações são novamente abordados no subdomínio “A importância da água para os seres vivos”, tópicos “Distribuição da água na natureza” e “Ciclo hidrológico”. Não se acrescenta nada de novo relativamente ao comportamento dos materiais.

Num estudo longitudinal de 12 anos, Novak & Musonda (1991) concluem que os estudantes que tiveram ensino de conceitos de ciência básica nos 1.º e 2.º anos (6-8 anos de idade) desenvolveram a sua estrutura cognitiva para ideias cinético-moleculares facilitando significativamente a sua aprendizagem, desenvolvendo a sua compreensão e reduzindo as concepções alternativas. Nesse estudo, os alunos que tiveram a introdução da teoria corpuscular da matéria e energia superaram significativamente a sua compreensão sobre energia cinética e molecular relativamente aos que não tiveram esse ensino. Novak (2005) afirma que há evidências de que os alunos de 6 a 8 anos de idade podem adquirir conhecimento suficiente de conceitos de ciência básica, altamente abstratos que podem servir como uma base cognitiva para facilitar a aprendizagem posterior e defende a introdução antecipada no ensi-

no desses conceitos (natureza corpuscular da matéria, energia e transformações de energia). Em outro estudo longitudinal, Löfgren et al. (2008) seguiram a evolução do raciocínio sobre as transformações da matéria de 25 estudantes dos 7 aos 13 anos de idade. Introduziram a ideia da natureza corpuscular da matéria e de molécula aos alunos com 7 anos. O objetivo era possibilitar aos estudantes usar a ideia de molécula quando pensavam ou discutiam as transformações da matéria em diferentes situações. Ao compararem as entrevistas com os alunos ao longo dos sete anos verificaram que esses aumentaram o conhecimento no domínio específico e foram capazes de usar esse conhecimento para construir uma narrativa que se tornou cada vez mais rica em conteúdo. Também verificaram que os estudantes tinham muitas vezes uma ideia pessoal que era usada como ideia ancoragem e que essa ideia aparecia em todas as entrevistas mesmo com a incorporação de novos conhecimentos que eram utilizados ou integrados com a ideia ancoragem ou em paralelo. Esses investigadores consideram que se deve introduzir ideias científicas cedo para possibilitar ao estudante conectá-las com as ideias prévias e elaborar uma compreensão gradual dos conceitos. Esses estudos apoiam a nossa hipótese de trabalho de que a introdução da teoria corpuscular da matéria, de uma forma adequada à idade, pode ser uma mais-valia para a compreensão futura da teoria cinético molecular ou mesmo do Modelo Padrão pelos alunos mais velhos.

O que nos propusemos a fazer foi introduzir a ideia de que a matéria é formada por partículas de dimensões muito reduzidas, dotadas de movimento e que é da coesão maior ou menor dessas partículas que resultam os diferentes estados da matéria. Para isso, entendemos ser necessário recorrer às simulações computacionais (SC) por ser uma ferramenta interativa, capaz de diminuir a abstração indispensável à compreensão da visão microscópica da matéria. Este estudo pretende avaliar a eficácia de quatro estratégias de utilização de simulações computacionais, na aprendizagem das mudanças do estado físico da matéria a nível microscópico, em alunos do 5º. ano de escolaridade (idades entre os 9 e os 11 anos). Em todas as estratégias utilizou-se SC, variou o número de simulações e a forma de integrá-las no currículo.

QUADRO TEÓRICO

Relativamente às concepções da matéria, parece haver várias etapas na progressão conceptual dos estudantes: visão macroscópica; visão microscópica; visão molecular. Algumas das concepções dos alunos são instáveis e, em alguns casos, os alunos podem regressar para concepções menos desenvolvidas (MARGEL et al., 2008, p. 148).

Em um estudo de revisão, Özmen (2013) compilou as seguintes concepções alternativas com mais frequência encontradas em alunos de vários níveis etários: os sólidos são pesados e têm a mesma forma, os gases e os líquidos são leves e capazes de mudar de forma; na ebulição da água as bolhas são feitas de ar; as bolhas são oxigênio; durante a evaporação a água transforma-se em ar; a água decompõe-se em oxigênio e hidrogênio quando evapora; o ar e os gases não têm peso; o tamanho das partículas é menor no estado sólido do que no estado líquido e, no último, menor do que no estado gasoso; a distância entre as partículas

aumenta, diminui ou não muda durante a mudança de fase; o número das partículas altera durante as mudanças de fase; nos sólidos as partículas não se movem; a matéria é contínua.

A existência de vácuo entre as partículas é de difícil compreensão e muitos alunos consideram que entre as partículas de um gás existem ar ou poeiras (NOVICK e NUSSBAN, 1978). Também têm grande dificuldade em entender que as propriedades dos materiais nos diferentes estados da matéria são devido ao comportamento coletivo das partículas. Consideram que uma partícula ou uma molécula é uma pequena quantidade de uma substância tendo todas as propriedades macroscópicas dessa substância, por exemplo, consideram que as partículas ou moléculas de gelo estão congeladas e que as partículas passam pelas mesmas alterações dos materiais, ou seja, as partículas dilatam, contraem, fundem, evaporam, condensam e assim sucessivamente (Lee et al., 1993, p. 39).

Talenquer (2009) sugere que muitas das ideias que os alunos manifestam ou constroem nas diferentes etapas de aprendizagem, podem ser explicadas pela presença de suposições implícitas com vários níveis de generalização, e que evoluem com a aprendizagem. Essas suposições podem referir-se a obstáculos que dificultam a aprendizagem e o pensamento em áreas distintas do conhecimento (domínio geral), ou estar relacionadas com o tópico sob investigação (domínio específico). Talenquer (2009) também refere que a compreensão do modelo científico atual da estrutura da matéria envolve a compreensão de um conjunto de ideias que, embora inter-relacionadas, não são apreensíveis simultaneamente pela maioria dos alunos.

Vosniadou e Ortony (1989) consideravam que os alunos mais novos, sem conhecimento anterior sobre a estrutura da matéria, eram influenciados pela aparência física dos objetos e pelas suas características superficiais, “semelhança de superfície”.

Os alunos imaginam a existência de algum material de suporte no qual as partículas estão imersas, normalmente o ar ou a própria substância (suposição de estar embebido). Só quando atingem os níveis mais avançados de aprendizagem assumem que as partículas de uma substância estão separadas por espaço vazio (TALENQUER, 2009, p. 2131).

Em relação às propriedades das substâncias, os alunos pensam que as partículas que compõem uma substância têm as mesmas propriedades que uma amostra macroscópica do material Talenquer (2009). Essa suposição leva os alunos a transferirem muitas das propriedades macroscópicas de uma substância para um nível microscópico e aparenta permanecer como um constrangimento implícito no pensamento dos alunos, pois mesmo depois de estes desenvolverem perspectivas cientificamente aceites da estrutura da matéria têm dificuldade em reconhecer novas propriedades que podem emergir das interações entre diferentes partículas no mesmo sistema (emergência).

Outro constrangimento dos alunos é sobre a dinâmica das partículas. Talenquer (2009) sugere que os alunos assumem que as partículas só se movem quando são forçadas a isso, e que o movimento pode parar (suposição casual dinâmica). Só em níveis mais elevados de aprendizagem ou desenvolvimento é que o movimento é assumido como uma propriedade intrínseca das partículas (suposição intrínseca-dinâmica).

As estratégias utilizadas nos métodos de ensino tradicionais parecem ineficazes para a compreensão da natureza corpuscular da matéria pelos estudantes (ÖZMEN, 2013). Nas

abordagens de ensino centradas no professor, não se atende às concepções prévias dos alunos acerca do tema em estudo e os alunos têm um papel passivo e pouco participativo no seu processo de aprendizagem. As abordagens de ensino que tomam em consideração as ideias dos alunos, ancoradas em perspectivas construtivistas da aprendizagem, parecem mais eficazes. Dois estudos especificamente a respeito do tópico versado neste estudo confirmam essa asserção. Burnus (2010) aplicou experiências laboratoriais e textos de mudança conceptual (textos que apresentam conflitos entre as concepções alternativas e informação considerada cientificamente correta) a alunos dos 9 aos 11 anos de idade no estudo da matéria e suas transformações. Beerenwinkel et al. (2011) exploraram o efeito de um texto de mudança conceptual na consciência dos equívocos comuns sobre o modelo corpuscular da matéria pelos alunos. Nos dois estudos, os resultados foram superiores aos métodos tradicionais.

As SC podem representar a matéria a um nível microscópico. Como são ferramentas interativas, revelam ser um importante recurso para a compreensão de uma teoria tão abstrata quanto a Teoria Corpuscular da Matéria, pois permitem diminuir a abstração, tornando visível o invisível e fruto de uma construção humana. Contudo, como as utilizar? Há pouca investigação sobre a sua utilização nos cinco primeiros anos do ensino básico. A sua aplicação tem sido mais investigada nos anos terminais do ensino básico, no ensino secundário e no ensino superior em atividades demonstrativas, na resolução de problemas, no apoio a atividades de questionamento, em atividades investigativas, em trabalho individual ou trabalho colaborativo. O ensino centrado no professor, com recurso a SC, pode, em certas condições, fornecer melhor compreensão conceptual do que não utiliza o referido recurso (STERN et al., 2008). A utilização de SC para demonstração da teoria pelo professor parece mais eficaz após a apresentação do tema e sua discussão do que em simultâneo (YAMAMOTO et al., 2001). Quando os alunos interagem ativamente com a simulação, os resultados da aprendizagem são superiores, sobretudo se o aluno se questiona e as questões que a si coloca o orientam na exploração da simulação (WIEMAN et al., 2008). Contudo, Betrancourt (2005), Hegarty (2004) Lowe (2003) e McElhaney & Linn (2008) citados por Chang (2013) são de opinião, que quando os alunos manipulam muitas variáveis, parece mais eficaz um ensino mais orientado. Gonzalez et al. (2003), mencionados por Rutten et al. (2012), consideram que deve ser dada alguma orientação aos alunos e simultaneamente liberdade e estrutura para trabalharem com as simulações. O tipo de utilização que se faz da SC deve visar à potencialização do ensino e aprendizagem. É da competência do professor escolher estratégias, adotar práticas e formas de comunicação com os seus alunos, propiciando excelentes experiências de aprendizagem e resultados. Compete-lhe selecionar e utilizar recursos que apoiem e facilitem a sua mediação, na compreensão de conceitos ou teorias demasiado abstratas para os alunos. Assim, a eficácia das simulações computacionais depende, além do tipo de simulação, do modo como o professor faz a sua implementação em sala de aula como referem Sarabando et al. (2016) e Cunha et al. (2014).

PROBLEMA DE INVESTIGAÇÃO

Normalmente, os alunos apresentam concepções alternativas, diferentes das cientificamente aceitas na comunidade científica sobre fenômenos físicos, como as mudanças de estado físico da matéria e propriedades dos gases. Essas concepções estão relacionadas com a visão macroscópica que têm da matéria. Apesar da teoria corpuscular da matéria ser de difícil compreensão pelos alunos de todas as faixas etárias, uma introdução mais precoce e formal pode ser vantajosa. Por conseguinte, é necessário saber se os alunos com idades entre os 9 e os 11 anos podem compreender esse assunto, apesar da sua abstração e das inúmeras concepções alternativas a ele associadas e se há ganhos na sua aprendizagem. As simulações computacionais a utilizar nesse projeto podem apoiar os alunos na compreensão da constituição da matéria e na compreensão das mudanças do seu estado físico, assim como na compreensão das propriedades físicas de cada estado da matéria, uma vez que permitem visualizar modelos aceitos pela comunidade científica dos processos físico-químicos a nível microscópico. Podem ser utilizadas como recurso para atividades de pesquisa e questionamento e, sendo interativas, podem ser exploradas pelos alunos quer individualmente quer de forma colaborativa. Por sua vez, a mediação do professor, o tipo de comunicação que estabelece com os seus alunos, o tipo de orientações (implícitas ou explícitas) que fornece nas diferentes formas de integrar as SC na sua abordagem de ensino pode ter uma influência determinante na aprendizagem dos alunos.

OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo é avaliar a eficácia de quatro estratégias de integração curricular (IC) de simulações computacionais (SC) no ensino da estrutura da matéria e das mudanças do seu estado físico a um nível microscópico por alunos com idades entre os 9 e os 11 anos.

Questões de investigação:

1. Qual das estratégias de IC mais centradas no professor que utilizam SC é a mais eficaz na aprendizagem da estrutura da matéria e na compreensão das mudanças de estado físico a nível microscópico, por alunos do 5º. ano de escolaridade?
2. Qual das estratégias de IC mais centradas nos alunos que utilizam SC é a mais eficaz na aprendizagem da estrutura da matéria e na compreensão das mudanças de estado físico a nível microscópico, por alunos do 5º. ano de escolaridade?
3. Das quatro estratégias de IC que utilizam SC, qual é a mais eficaz?

METODOLOGIA

Como geralmente as escolas básicas apenas possuem uma sala de informática, e dada a sua mancha curricular, nem sempre está disponível para os mais novos. Foi nessa perspectiva que tivemos a pretensão de avaliar a eficácia de duas estratégias onde se utilizam

SC como atividade demonstrativa (IC das SC mais centradas no professor) e duas estratégias onde se recorre a SC para exploração pelos alunos (IC das SC mais centradas nos alunos). Usamos duas estratégias com atividades demonstrativas, pois não sabemos qual é a mais eficaz nessa faixa etária, se apresentar a teoria ao mesmo tempo que a demonstração, ou se é melhor expor primeiro a teoria. A mesma questão colocamos relativamente às SC como recurso de exploração pelos alunos. Não sabemos qual será mais benéfico para a aprendizagem dos alunos, se uma exploração mais orientada se uma exploração mais autónoma. Empregamos duas simulações, a primeira direcionada para a estrutura da matéria (simplificada) e para as alterações de estado, e a segunda para as propriedades dos gases, pois têm alguma relação com o tema anterior. Com a segunda simulação, pretende-se que os alunos tenham um novo contacto com a visão microscópica da matéria com o objetivo de reforçar a aprendizagem.

Assim, pretendemos averiguar a eficácia de quatro estratégias de integração curricular das SC, as duas primeiras mais centradas no professor, as duas últimas mais centradas nos alunos. (1) A utilização de uma simulação como suporte de demonstração efetuada pelo professor após a apresentação da teoria (turma B); (2) o uso de uma simulação para demonstração em simultâneo com a apresentação da teoria (turma C); (3) o emprego de duas simulações, uma para exploração mais autónoma e outra para exploração mais orientada após uma breve introdução aos conceitos teóricos (turma A); (4) a utilização de duas simulações, uma para exploração mais orientada e outra para exploração mais autónoma após uma breve introdução aos conceitos teóricos (turma D). As duas primeiras estratégias são mais centradas no professor e as duas últimas mais centradas no aluno.

As combinações apresentadas em cada estratégia pretendem atender às possíveis diferenças de capacidades e aptidões dos alunos na perspectiva de potencializar a aprendizagem do grupo de alunos.

Por exploração mais autónoma, entenda-se dar toda a liberdade ao aluno para decidir como, quando e o que explorar na simulação. Por exploração mais orientada, entenda-se uma orientação no percurso da exploração também designada de passo a passo. Tanto numa situação como na outra, o aluno era apoiado toda vez que solicitasse o apoio ou a intervenção do professor.

O estudo foi realizado em uma escola básica do norte de Portugal, no ano de 2016, e na disciplina de Ciências Naturais. Estiveram envolvidos 73 alunos do 5º. ano de escolaridade, 38 do sexo masculino e 35 do sexo feminino, distribuídos por quatro turmas (Tabela 1).

Tabela 1 – Distribuição dos alunos por turma

Turmas	Nº. alunos	Sexo feminino	Sexo masculino
A	20	7	13
B	19	10	9
C	17	9	8
D	17	9	8

Todas as turmas tinham dois alunos com Necessidades Educativas Especiais. Os alunos possuíam idades compreendidas entre os 9 e os 12 anos. A média da idade dos alunos era de 10,9 anos. Quase todos os alunos tinham computador em casa (92%) com acesso à internet (79%). Na turma C, apenas 65% dos alunos possuíam computador e só 17% com acesso à internet. A professora da disciplina foi a professora investigadora. Em relação ao desempenho académico global no final do ano letivo, a turma C foi a que teve sucesso superior e melhor qualidade de sucesso, seguida da turma A e D. A turma B teve sucesso inferior às outras turmas.

No estudo foram utilizadas duas simulações da PhET da Universidade do Colorado e de acesso livre na internet, a simulação “states of matter” e a “gas properties”, traduzidas para português (versão pt) para utilizar pelo professor em atividade de demonstração e pelos alunos em atividades de exploração e atividades de inquérito. A simulação “states-of-matter-basics” foi empregada para introduzir e explorar a natureza corpuscular da matéria, rever os seus estados físicos e as mudanças de estado com as variações de temperatura, tema já abordado no 1º. ciclo. A simulação “gas-properties.pt” foi usada para explorar algumas propriedades do ar (compressibilidade) e a relação entre a pressão, o volume e a temperatura.

Foram aplicados um pré-teste e um pós-teste iguais, com duas partes, uma com 36 questões de escolha múltipla (um número elevado que contraria o efeito de memorização do pré para o pós-teste, tendo assim menor impacto na validade das respostas do que ter dois testes diferentes) e uma segunda parte com duas questões, uma descritiva e outra explicativa. A primeira parte do teste foi adaptada da literatura (OZMEN e KENAN, 2007). Consiste em 36 questões de escolha múltipla com três opções de resposta, “aumenta”, “diminui” e “não altera”. As questões estão relacionadas com as alterações que ocorrem a nível microscópico durante as mudanças de fase, durante o aquecimento e o arrefecimento ou aplicação de pressão nos sólidos, nos líquidos e nos gases. As questões referem-se à possibilidade ou não possibilidade de alterações de tamanho das partículas, do espaço entre elas, da sua velocidade e do seu número. A segunda parte do teste consiste em duas questões. Na primeira questão, pedia-se aos alunos que descrevessem o aspecto da água nos três estados físicos da matéria a uma dimensão microscópica. Indicava-se ainda que, para isso, podiam utilizar palavras, desenhos ou esquemas. Na segunda questão, pedia-se que explicassem as descrições que tinham feito. Os alunos tiveram 45 minutos para realizarem o teste.

O primeiro teste foi aplicado antes das situações de ensino e o último três semanas após o seu término. Foram ainda fornecidos aos alunos fichas de trabalho para eles realizarem durante as situações de ensino.

As fichas de trabalho foram produzidas de acordo com o tipo de IC que se pretendia aplicar. Assim, foram produzidas seis fichas de trabalho, duas para as situações de ensino em que foram utilizadas a exposição dos conceitos e demonstrações (uma para os estados físicos da matéria outra para as propriedades dos gases), duas para as situações de ensino em que foram utilizadas simulações para a exploração orientada e duas para a exploração mais autónoma das simulações.

O esquema de trabalho está representado na Tabela 2.

Tabela 2 – Estratégias de integração curricular das simulações computacionais

Turmas		Situações de ensino 1 Mudanças de estado físico da matéria	Situações de ensino 2 Propriedade dos gases	
A	Pré-teste (45')	Exploração da simulação “States of matter” (90 min + 45 min)	Exploração orientada da simulação “gas properties” (90 min + 45 min)	Pós- teste (45')
B		Apresentação de PowerPoint (45 min + 90 min)	Demonstração simulação “gas proper- ties” (45 min + 90 min)	
C		Demonstração com utilização da simulação “States of matter” (45 min + 90 min)	Apresentação de PowerPoint (45 min + 90 min)	
D		Exploração orientada da simu- lação “States of matter” (90 min + 45 min)	Exploração da simulação “gas proper- ties” (90 min + 45 min)	

As turmas A e D tiveram uma aula de 90 minutos a explorar a simulação “States of matter”. Ambas as turmas tiveram informação e explicação, pelo professor, a respeito dos componentes e forma de manipular a simulação, de modo a tirarem o máximo proveito dela. Também em ambas as turmas se explicou que a matéria é constituída por partículas de pequenas dimensões e que, com a simulação, iriam observar o comportamento da matéria nos três estados físicos e as alterações que ocorriam quando da mudança de estado, quando fornecessem ou retirassem calor. Duas semanas depois, a turma A fez a exploração mais orientada da simulação “gas properties” com atividades de inquérito e a turma D explorou de forma mais autónoma a mesma simulação e lhes foi atribuído um questionário com questões mais gerais. Tiveram depois uma aula de 45 minutos para discussão e correção das atividades no grupo turma.

As fichas de trabalho produzidas para a exploração mais autónoma da simulação forneciam orientações gerais: “Explora a simulação e observa com atenção o que acontece à temperatura e à velocidade das partículas dos diferentes materiais quando forneces ou retiras calor. Observa também se, quando forneces ou retiras calor, há alterações no tamanho, no espaço entre as partículas e no número de partículas”.

As fichas de trabalho produzidas para uma exploração mais orientada dos alunos condicionavam a exploração: “Em “mudar de estado”, clica nos botões “sólido”, “líquido”, “gás” e para cada um deles descreve o movimento das partículas e regista a respectiva temperatura. Repete a mesma operação para cada uma das substâncias”. Além disso, também pedia aos alunos para fazerem previsões e verificarem se essas previsões estavam corretas quando alteravam variáveis: Limpa as alterações antes de observar um novo estado – clica no Reiniciar tudo “O que prevês que aconteça à velocidade das partículas de cada substância no estado líquido, se se diminuir a temperatura? Verifica se as tuas previsões estão corretas. Justifica”.

Seguiu-se uma aula de 45 minutos, cinco dias depois, para correção e discussão das questões colocadas no grupo turma.

A turma B e C tiveram uma aula de 45 minutos para a apresentação dos conteúdos e começo da realização da ficha de trabalho. Na turma C, a apresentação da teoria foi realizada ao longo da demonstração da simulação “States of matter” enquanto na turma B foi apresentado um PowerPoint com a teoria acompanhada por imagens, dos fenômenos, obtidas na SC. Dois dias depois, ambas as turmas tiveram uma aula de 90 minutos onde terminaram as tarefas iniciadas na aula anterior e se fez a correção e discussão no grupo turma. Duas semanas depois, na turma B, fez-se a apresentação do conteúdo “propriedades dos gases” com a demonstração da simulação e, na turma C, a apresentação de um PowerPoint com imagens retiradas da simulação numa aula de 45 minutos. Na aula seguinte, de 90 minutos, os alunos terminaram a ficha de trabalho e se fez a sua discussão e correção. Os alunos trabalharam sempre de forma colaborativa e em grupos de dois. Ao longo da exploração das simulações os alunos colocaram questões as quais a docente respondeu explicitamente ou não, dependendo do tipo de questão colocada pelo aluno.

As fichas de trabalho produzidas para as turmas onde foi apresentada a teoria em PowerPoint e a demonstração da simulação pelo professor eram iguais.

Além disso, algumas questões colocadas aos alunos eram muito semelhantes em todas as IC das SC e outras iguais, como no exemplo: “Explica por que é que quando se coloca uma garrafa cheia de água no congelador, ela rebenta”.

As aulas foram gravadas e se fez a recolha de algumas imagens no decurso das atividades de exploração e inquérito. Foi pedida autorização prévia à Direção da Escola para realizar a investigação e aos Encarregados de Educação de todos os alunos que estariam envolvidos no estudo para a recolha de gravações, imagens e entrevistas. A partir dos últimos dados, produziram-se as narrações multimodais sintéticas que correspondem à primeira parte do protocolo proposto por Lopes et al. (2014) para a elaboração de narrações multimodais. Uma narração multimodal é um relato descritivo dos acontecimentos ocorridos na sala de aula, suportada e construída recorrendo aos diversos tipos de dados. Descreve o que acontece durante uma tarefa e incorpora dados como trabalho de alunos, fotos, diagramas etc. Além disso, descreve as intenções dos professores, preservando a natureza do ensino praticado em ambientes naturais e é verificável e comparável (LOPES et al., 2014). A partir da análise das narrações multimodais sintéticas, procurou-se descrever e compreender as dinâmicas de ensino (e de integração curricular das SC) utilizadas nas aulas das diferentes turmas.

As 36 questões da primeira parte do pré-teste e do pós-teste foram agrupadas de acordo com o tipo de variável mencionada (velocidade, distância, tamanho, número) durante a mudança de fase da matéria, transferência de calor ou compressão.

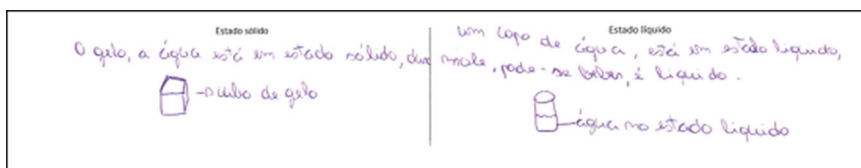
Fez-se a análise das descrições e justificações realizadas pelos alunos na segunda parte do pré-teste e pós-teste, e desta resultou a definição de seis perfis de resposta (Tabela 3).

Tabela 3 – Perfis de resposta

Perfis	Definição
0	Resposta errada e/ou concepção alternativa.
1	Identifica os estados da matéria associados a percepções sensoriais (aspecto visual, tátil).
2	Identifica os estados da matéria associados a mudança de fase podendo estar associados ou não a percepções sensoriais.
3	Identifica a matéria como sendo formada por partículas, mas com as mesmas propriedades da matéria na dimensão macroscópica (resultado da maior ou menor coesão das partículas).
4	Identifica partículas nos três estados, mas só relaciona uma das variáveis (velocidade, tamanho, espaço e distância).
5	Identifica partículas nos três estados e relaciona pelo menos duas variáveis entre si (velocidade, tamanho, espaço e distância).

Assim, quando o aluno descreve a água no estado sólido como sendo “dura”, ou no estado líquido como sendo “mole”, identifica os estados físicos relacionando-os com a percepção tátil que tem quando toca na água no estado sólido e no estado líquido respectivamente. Também quando representa a água no estado sólido como um cubo de gelo ou quando desenha um copo com água ou a água a fluir de uma torneira ou de um rio, está a descrever a percepção visual da água. A esse perfil de resposta codificamos como perfil 1. A resposta “O gelo, a água está no estado sólido, dura”, na Figura 1, é um exemplo desse perfil.

Figura 1 – Perfil 1



Quando o aluno descreve os estados físicos da matéria, quer por desenhos quer por resposta curta, referindo a alteração de fases (“eu acho que no estado sólido estaria em gelo porque pondo água no congelador, a água passa do estado líquido ao sólido e forma-se um gelo”), atribuímos o perfil 2, Figura 2.

Figura 2 – Perfil 2

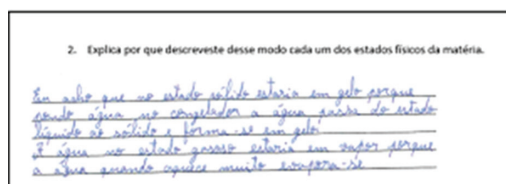
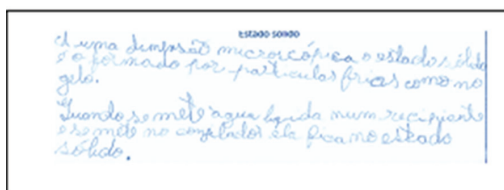


Figura 3 – Perfil 3



No perfil 3 o aluno já se refere à existência de partículas, mas lhe atribui as mesmas propriedades que uma amostra de matéria com dimensão macroscópica (“A uma dimensão microscópica o estado sólido é formado por partículas frias como no gelo”).

O aluno com perfil 4 já diz que a água é formada por partículas e descreve a fase em que se encontra a água, relacionando-a com uma variável (“a água no estado sólido, as partículas estão mais aproximadas, porque a sua temperatura é baixa”), figura 4.

Figura 4 – Perfil 4

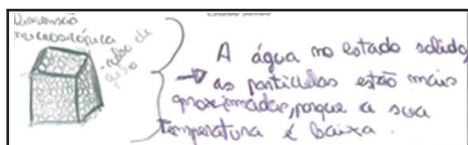
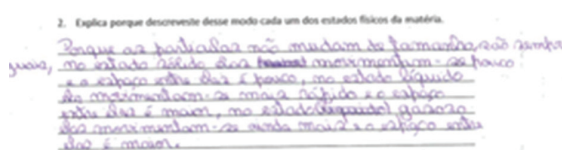


Figura 5 – Perfil 5

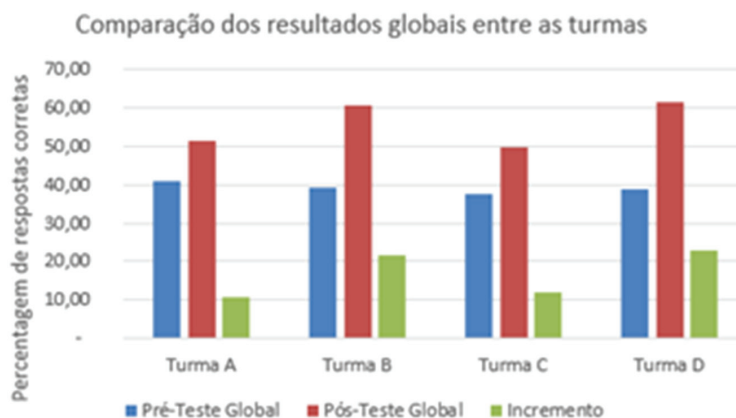


O aluno com perfil 5 identifica partículas nos três estados físicos da matéria e relaciona os diferentes estados com, pelo menos, duas variáveis. Assim, pode referir que no estado sólido a velocidade das partículas é muito baixa e que as partículas se encontram a menos distância uma das outras do que no estado líquido ou no estado gasoso. Pode referir que em qualquer dos estados o tamanho das partículas é sempre igual, que o número de partículas não se altera com a mudança de fase.

RESULTADOS

A percentagem de respostas corretas dos alunos na primeira parte do pré-teste (38%) foi inferior à do pós-teste (54%) e, portanto, uma análise global sugere que houve aprendizagem por parte dos alunos, figura 6. Comparando os resultados globais do pré-teste com os do pós-teste em cada turma, verifica-se que a turma D teve maior ganho de respostas corretas, seguida da turma B. A turma A foi a que teve menor ganho.

Figura 6 – Comparação dos resultados da 1ª. parte do pré-teste e do pós-teste



Da análise por turma e por tipo de questão (Tabela 4) verifica-se que, relativamente às questões sobre “o tamanho das partículas”, os resultados do pré-teste foram mais baixos na turma D e foi também essa turma que obteve um maior ganho relativo. Em relação às questões sobre o “espaço entre as partículas”, os resultados do pré-teste são semelhantes em todas as turmas, com exceção da turma D com resultados mais baixos. Nesse caso, os ganhos relativos foram superiores nas turmas B e D. No que diz respeito às questões sobre o “número de partículas”, os maiores ganhos registraram-se nas turmas B e A e os menores na turma C. Por último, nas questões sobre a “velocidade das partículas” continuam a ser as turmas B e D a obter maiores ganhos.

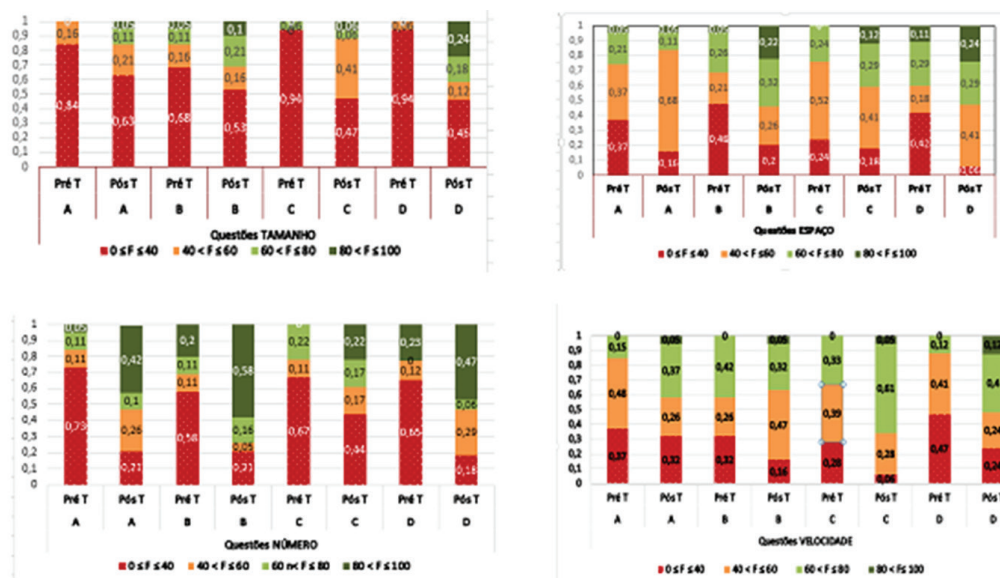
Tabela 4– Resultados do pré-teste (%) e ganhos relativos por grupos de questões e por turma

Turmas	Q. tamanho		Q. espaço		Q. número		Q. velocidade	
	Pré-teste	Ganho relativo	Pré-teste	Ganho relativo	Pré-teste	Ganho relativo	Pré-teste	Ganho relativo
A	26	0,10	50	0,03	30	0,53	43	0,19
B	32	0,12	43	0,39	47	0,64	33	0,36
C	20	0,18	50	0,17	37	0,18	30	0,30
D	16	0,40	49	0,35	40	0,50	40	0,32

Também se salienta que nas questões sobre “o tamanho das partículas” a percentagem de respostas corretas no pré-teste e no pós-teste é inferior à das outras questões, revelando que os alunos tiveram mais dúvidas nesse domínio.

Da análise da evolução da qualidade de resposta dos alunos por variável e por turma, verifica-se que no pré-teste a percentagem de respostas corretas é baixa, ou seja, há uma elevada percentagem de alunos que respondem incorretamente a mais de metade das questões do grupo. Ao contrário, no pós-teste verifica-se um aumento do número de respostas corretas dentro de cada grupo de questões, como se pode ver na Figura 7. Isto sugere que as respostas dadas no Pré-teste podem ter sido dadas ao acaso ou que os alunos não estavam muito seguros quanto às respostas a dar. Como se pode observar na Figura 7, comparando o Pré-teste com o Pós-teste, ocorre um deslocamento para valores mais altos da frequência dos alunos com maior percentagem de respostas corretas em todos os grupos de questões e em todas as turmas.

Figura 7 – Evolução da qualidade da resposta dos alunos por variável e turma



Relativamente à análise da 2ª. parte dos pré-teste e pós-teste, verifica-se que em todas as turmas a maioria dos alunos situava-se no Perfil 1 antes da aplicação das situações de ensino e nenhuma turma apresentava alunos com Perfil 4 ou 5, exceto a turma C, com 6% dos alunos a situarem-se no perfil 4 (Tabela 5).

Tabela 5 – Resultados do *pré*-teste descritivo (%) e ganhos (%) das turmas

Turmas	A		B		C		D	
Perfis	Pré-teste	Ganho	Pré-teste	Ganho	Pré-teste	Ganho	Pré-teste	Ganho
0	21	-6	6	5	31	-26	18	-7
1	42	-27	56	-88	25	-25	47	-47
2	26	-28	11	0	19	-7	0	12
3	11	24	28	-9	19	31	35	-21
4	0	16	0	39	6	20	0	14
5	0	5	0	12	0	23	0	41

Todas as turmas obtiveram ganhos nos perfis 4 e 5. As turmas D e B foram as turmas com maiores ganhos. Esses resultados estão em concordância com os resultados da 1ª. parte do teste (escolha múltipla). Contudo, a turma C teve resultados bastante razoáveis na 2ª. parte do teste, ao contrário dos resultados da primeira parte. Isso pode ser explicado em parte pelo tipo de questões, umas solicitando mais a capacidade de análise dos alunos (questões de escolha múltipla) e outras solicitando mais a capacidade de síntese (questões descritivas) e pela maior ou menor capacidade de análise ou de síntese dos alunos.

Fazendo uma avaliação global dos resultados da 1ª. parte do teste (escolha múltipla) e da 2ª. parte (descrições), verifica-se que a turma com piores resultados foi a turma A e, portanto, o tipo de estratégia utilizada não foi tão eficaz quanto as outras. A turma D, que também fez a exploração de SC, a primeira simulação orientada e a segunda com exploração livre, revelou ser a mais eficaz. A turma B, à qual foi ministrada a teoria antes da demonstração da SC, teve melhores resultados nas questões de escolha múltipla e a turma C, à qual foi apresentada a teoria em simultâneo com a demonstração, teve melhores resultados nas questões descritivas.

DISCUSSÃO

Pretendendo responder à primeira questão de investigação por nós colocada (1) “Qual das estratégias de IC mais centradas no professor que utilizam SC é mais eficaz na aprendizagem da estrutura da matéria e na compreensão das mudanças de estado físico a nível microscópico, por alunos do 5º. ano de escolaridade?”, e confrontando os ganhos relativos das duas turmas, referentes à primeira parte do teste (escolha múltipla-reconhecimento conceptual) com os ganhos obtidos na segunda parte do teste (descrições-elaboração conceptual), não é possível concluir qual das estratégias foi mais eficaz, porque os resultados dos testes na turma B, onde foi aplicada a estratégia 1, revelam melhor reconhecimento conceptual (ganhos superiores na 1ª. parte do teste-escolha múltipla) do que os ganhos obtidos na turma C. Por sua vez, a turma C revelou melhor elaboração conceptual do que a turma B.

Relativamente à questão 2, “Qual das estratégias de IC mais centradas no aluno que utilizam SC é mais eficaz na aprendizagem da estrutura da matéria e na compreensão das mudanças de estado físico a nível microscópico, por alunos do 5º. ano de escolaridade?”, podemos afirmar que a estratégia 4 (utilização de duas simulações, uma para exploração mais orientada e outra para exploração mais autónoma após uma breve introdução aos conceitos teóricos) aplicada na turma D, foi mais eficaz, pois tanto os ganhos obtidos na 1ª. parte (reconhecimento conceptual) como os obtidos na 2ª. parte do teste (elaboração conceptual) foram superiores aos da turma A (estratégia 3).

Podemos afirmar, como resposta à questão (3) “Das quatro estratégias de IC que utilizam SC qual é a mais eficaz?”, que a estratégia aplicada na turma D, a estratégia 4, foi a mais eficaz, pois tanto os ganhos relacionados com o reconhecimento conceptual como os ganhos relacionados com a elaboração conceptual foram superiores aos das restantes turmas.

Não foi indiferente ter usado uma SC com exploração mais orientada, seguida de uma SC com uma exploração mais autónoma *versus* SC com exploração mais autónoma, seguida de uma SC com uma exploração mais orientada. Isso pode ser explicado pelo facto de os alunos nunca terem utilizado simulações, haver muitas variáveis em jogo e poder alterar muitos parâmetros da simulação. Esse aspecto está de acordo com Betrancourt (2005), Hegarty (2004) Lowe (2003) e McElhaney & Linn (2008), citados por Chang (2013), que apesar de considerarem que as SC facilitam e incentivam a aprendizagem ativa dos alunos por serem interativas e permitirem que os alunos dirijam a sua própria aprendizagem, di-

zem que, quando os alunos podem alterar muitos parâmetros da SC e a interatividade não é orientada, pode confundir os estudantes que não têm o conhecimento, a experiência e as habilidades necessárias para fazê-lo.

Também se verificou que a estratégia 1, utilização de uma simulação como suporte de demonstração efetuada pelo professor após a apresentação da teoria (turma B), surtiu melhores resultados do que a estratégia 3, utilização de duas simulações, uma para exploração mais autônoma e outra para exploração mais orientada após uma breve introdução aos conceitos teóricos (turma A). Isso pode ser explicado pela interatividade que se gerou na aula de demonstração. Os alunos tiveram uma participação muito ativa, sugerindo a alteração das variáveis, respondendo às questões colocadas e pedindo para repetir situações. O mesmo não aconteceu com a estratégia 2, a utilização de uma simulação para demonstração em simultâneo com a apresentação da teoria (turma C). Provavelmente, os alunos não acompanharam tanto as argumentações que iam sendo efetuadas no decurso da exposição e/ou por falta de tempo para processar a informação. Os alunos dessa turma também se relegaram a um papel mais passivo do que os alunos que tiveram a simulação após a introdução da teoria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, implementamos quatro estratégias de integração de duas simulações no estudo das alterações do estado físico da matéria, da propriedade dos gases, e verificamos que, apesar das simulações computacionais serem consideradas um suporte fundamental no ensino das ciências do século XXI, não é indiferente para o sucesso académico a maneira como são integradas no currículo.

Não podemos afirmar que as estratégias de IC de SC mais centradas nos alunos são infalivelmente melhores do que as mais centradas nos professores, ou vice-versa.

Os nossos resultados indicam que as estratégias de IC mais centradas nos alunos podem ser mais eficazes do que as centradas no professor somente se se verificarem algumas condições. Uma autonomia plena, e com pouco suporte do professor, pode não dar bons resultados, principalmente se os alunos não possuírem algumas destrezas. É necessário apoiar os alunos, na observação de fenómenos, orientando-os na focalização dos detalhes e no todo, ajudar o aluno a identificar pormenores, semelhanças e diferenças, a prever acontecimentos, a elaborar hipóteses, e a organizar e interpretar dados.

Os nossos resultados também indicam que as estratégias de IC mais centradas no professor podem ser eficazes, desde que se tenham algumas precauções. Estimular e motivar para a discussão dos conceitos ou dos fenómenos, para a confrontação e a clarificação de ideias entre os alunos pode ser uma boa estratégia.

Esta investigação pretende dar um contributo para o conhecimento das melhores estratégias de integração curricular de simulações computacionais no ensino de teorias e conceitos abstratos a alunos do 5º. ano de escolaridade. Pretende também incentivar a utilização de práticas educativas inovadoras.

REFERÊNCIAS

- ADADAN, E.; IRVING, K. E.; TRUNDLE, K.C. Impacts of Multi-representational Instruction on High School Students' Conceptual Understandings of the Particulate Nature of Matter. **International Journal of Science Education**, v. 31, n. 13, p. 1.743-1.775, 2009.
- BEERENWINKEL, I.; GRÄSEL, C. Conceptual Change Texts in Chemistry teaching: a study on the particle model of matter. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 9, p. 1.235-1.259, 2011.
- CHANG, H. Teacher Guidance to Mediate Student Inquiry Through Interactive Dynamic Visualizations. *Instructional Science*, **Springer**, v. 41, p. 895-920, 2013.
- CUNHA, A. E.; SARAIVA, E.; SANTOS, C. A.; DINIS, F. & LOPES, J. B. Teacher Mediation Actions and Students' Productive Engagement During the Use of Computer Simulations in Physical Science Classrooms, **Procedia Technology**, v. 13, p. 76-85, 2014.
- DURMUS, J.; BAYRAKTAR, S. Effects of Conceptual Change Texts and Laboratory Experiments on Fourth Grade Students' Understanding of Matter and Change Concepts. **Journal of Science Education and Technology**, n. 19, p. 498-504, 2010.
- GABEL, D. L.; SAMUEL, K.V.; HUNN, D. Understanding the particulate nature of matter. **Journal of Chemical Education**, v. 64, n. 8, p. 695-697, 1997.
- LEE, O.; EICHINGER, D.; ANDERSON, C.; BERKHEIMER, C. & BLAKESLEE, T. Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. **Journal of Research in Science Teaching**, n. 30, p. 249-270, 1993.
- LÖFGREN L.; HELLDÉN G. Following young students' understanding of three phenomena in which transformations of matter occur. **International Journal of Science and Mathematics Education**, n. 6, p. 481-504, 2008.
- LÖFGREN L.; HELLDÉN G. A Longitudinal Study Showing how Students use a Molecule Concept when Explaining Everyday Situations. **International Journal of Science Education**, v. 31, n. 12, p. 1.631-1.655, 2009.
- LOPES, J. B.; SILVA, A. A.; CRAVINO, J. P.; SANTOS, C. A.; CUNHA, A.; PINTO, A.; SILVA, A.; VIEGAS, C., SARAIVA, E.; BRANCO, M. J. "Constructing and Using Multimodal Narratives to Research in Science Education: Contributions Based on Practical Classroom." **Research in Science Education**, v. 44, n. 3, p. 415-438, 2014.
- MARGEL, H.; EYLON, B.; SCHERZ, Z. A longitudinal study of junior high schools students' conceptions of the structure of materials. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 45, n. 1, p. 132-152, 2008.
- NAKHLEDH, M.; SAMARAPUNGAVAN, A. Elementary school children's beliefs about matter. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 36, n. 7, p. 777-805, 1999.

NOVAK, J. D. & MUSONDA, D. A twelve-year longitudinal study of science concept learning. **American Educational Research Journal**, v. 28, n. 1, p. 117-153, 1991.

NOVAK J. D. Results and Implications of a 12-Year Longitudinal Study of Science Concept Learning. **Research in Science Education**, v. 35, p. 23-40, 2005.

NOVICK, S. & NUSSBAUM, J. Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: an interview study. **Science Education**, v. 62, p. 273-281, 1978.

ÖZMEN, H.; KENAN O. Determination of the Turkish primary student's views about of the particulate nature of matter. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**, v. 8, n. 1. Article 1, 2007.

ÖZMEN, H. A Cross-National Review of the Studies on the Particulate Nature of Matter and Related Concepts. **Eurasian Journal of Physical & Chemistry Education**, v. 5, n. 2, p. 81-110, 2013.

RUTTEN, N.; van JOOLINGEN W.R.; VEEN, J. T. The Learning Effects of Computer Simulations in Science Education. **Computers & Education**, v. 58, p. 136-153, 2012.

SAMARAPUNGAVAN, A. & WIERS, R. Children's thoughts on the origin of species: A study of explanatory coherence. **Cognitive Science**, v. 21, p. 147-177, 1997.

SARABANDO, C.; CRAVINO, J. P. & SOARES, A. A. Improving Student Understanding of the Concepts of Weight and Mass with a Computer Simulation. **Journal of Baltic Science Education**, v. 15, n. 1, p. 109-127, 2016.

STERN, L.; BORNEA, N. SHAULI, S. The Effect of a Computerized Simulation on Middle School Students' Understanding of the Kinetic Molecular Theory. **Journal of Science Education and Technology**, v. 17, n. 4, p. 305-315, 2008.

TALENQUER, V. On Cognitive Constraints and Learning Progressions: The case of "structure of matter". **International Journal of Science Education**, vol. 31, n. 15, p. 2123-2136, 2009.

VOSNIADOU, S.; ORTONY, A. Similarity and analogical reasoning: a synthesis. In: Vosniadou, S., Ortony, A. (Orgs.). *Similarity and Analogical Reasoning*, Cambridge: **Cambridge University Press**, p. 199-241, 1989.

WIEMAN, C.; ADAMS, W.; PERKINS, K. PhET: simulations that enhance learning. **Science**, v. 322, p. 682-683, 2008.

YAMAMOTO, I.; BARBETA, V. B. Simulações de Experiências como Ferramenta de Demonstração Virtual em Aulas de Teoria Física. **Revista Brasileira de Ensino da Física**, v. 23, n. 2, 2001.

YEZISKI, E.; BIRK, J. Misconceptions about the Particulate Nature of Matter. **Journal of Chemical Education**, v. 83, p. 6, 2006.

DADOS DOS AUTORES

FÁTIMA MARIA ARAÚJO

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real – Portugal. fatimamariaaraujo@gmail.com

BERNARDINO LOPES

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Centro de Investigação “Didática e Tecnologia na Formação de Formadores” (CIDTFF). Aveiro – Portugal. blopes@utad.pt

JOSÉ CRAVINO

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Centro de Investigação “Didática e Tecnologia na Formação de Formadores” (CIDTFF), Aveiro – Portugal. jcravino@utad.pt

ARMANDO SOARES

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. CIENER-INEGI/ Universidade do Porto, Porto – Portugal. asoares@utad.pt

Submetido em: 22-12-2016

Aceito em: 13-2-2017