

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Ana Rita Fonseca Rainho

**ATIVIDADES LABORATORIAIS
NO ENSINO DAS CIÊNCIAS
QUANDO E COMO UTILIZAR PARA
PROMOVER UMA APRENDIZAGEM EFICAZ**

**Tese no âmbito do Doutoramento em Ciências da Educação,
Especialidade em Organização do Ensino, Aprendizagem e
Formação de Professores, orientada pela Professora Doutora
Maria Isabel Ferraz Festas e apresentada à Faculdade de
Psicologia e Ciências da Educação**

Novembro de 2022

Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação
da Universidade de Coimbra

ATIVIDADES LABORATORIAIS NO ENSINO DAS CIÊNCIAS

Quando e como utilizar para promover uma aprendizagem eficaz

Ana Rita Fonseca Rainho

Dissertação de Doutoramento em Ciências da Educação, Especialidade em Organização do Ensino, Aprendizagem e Formação de Professores orientada pela Professora Doutora Maria Isabel Ferraz Festas e apresentada à Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação.

Novembro de 2022



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Agradecimentos

À Professora Doutora Isabel Festas, por toda a paciência que teve comigo, pela sua disponibilidade, dedicação e espírito crítico e inovador com que me acompanhou durante todo este trabalho, mas sobretudo por nunca ter deixado de acreditar em mim.

À Professora Doutora Florbela Vitória, pelo precioso auxílio prestado na análise dos dados experimentais e pelo interesse que sempre manifestou neste trabalho.

À direção da instituição de ensino onde foi realizado este estudo, aos seus professores e alunos que tão generosamente aceitaram colaborar connosco, pela sua disponibilidade e pela simpatia com que nos acolheram.

À minha família, pelo tempo que lhes roubei, por nunca me deixarem desistir e por todo o apoio que me deram durante esta caminhada.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo	v
Abstract.....	vii
INTRODUÇÃO	1
Arquitetura Cognitiva Humana	5
Arquitetura Cognitiva Humana e tipos de conhecimento	9
Princípios básicos da Arquitetura Cognitiva Humana	12
Teoria da Sobrecarga Cognitiva	18
Tipos de carga cognitiva.....	18
Teoria da Sobrecarga Cognitiva: implicações instrucionais	23
A importância da automatização de esquemas	24
Efeitos da Teoria da Sobrecarga Cognitiva e procedimentos instrucionais.....	27
Adaptação do design instrucional ao nível de proficiência dos alunos.....	38
Perspetivas construtivistas da aprendizagem	39
Métodos decorrentes das perspetivas construtivistas da aprendizagem: a descoberta, as questões e a resolução de problemas	43
Métodos de ensino: a instrução e a descoberta.....	46
O construtivismo e a aprendizagem por descoberta.....	52
A apologia de maior diretividade nos métodos de ensino.....	55
Pontos comuns	61
O Trabalho Laboratorial no ensino das Ciências: clarificação de conceitos	62
METODOLOGIA.....	69
Contexto e Participantes	69
Estudo da equivalência entre grupos	71
Procedimento.....	74
RESULTADOS	81
DISCUSSÃO.....	87
CONCLUSÕES.....	101
BIBLIOGRAFIA	105
ANEXOS.....	121

Resumo

A aprendizagem baseada na resolução de problemas assume uma grande importância nos documentos de referência para o ensino das ciências experimentais em Portugal (Aprendizagens Essenciais e Perfil do Aluno à Saída da Escolaridade Obrigatória), que favorecem as metodologias de ensino de base construtivista e valorizam a implementação do trabalho laboratorial em contexto de sala de aula. Contudo, a Teoria da Sobrecarga Cognitiva preconiza que a instrução direta favorece a aprendizagem em alunos iniciantes, ao contrário das estratégias baseadas na descoberta. Neste trabalho, tivemos como objetivo obter dados que nos permitam identificar a melhor forma de utilizar o trabalho prático laboratorial em contexto de sala de aula. Pretendeu-se saber se o ensino das ciências é mais eficaz partindo das atividades práticas (numa lógica construtivista de aprendizagem por descoberta) ou de uma instrução liderada pelo professor e posteriormente consolidada em contexto laboratorial (aprendizagem por instrução direta, suportada por teorias como a da sobrecarga cognitiva). Pretendemos também testar se as atividades práticas contribuem de forma mais eficaz para a realização das aprendizagens se forem baseadas em instruções ou se aplicadas de forma mais livre pelos alunos, numa lógica de investigação orientada para a resolução de problemas.

Realizou-se assim um estudo quase experimental, em contexto escolar real (com turmas reais e respeitando as planificações da disciplina de Ciências Naturais), que teve como variáveis em estudo o momento de realização da atividade laboratorial relativamente à apresentação/discussão de conceitos/princípios (antes e depois) e o grau de instrução dado aos alunos na realização das atividades experimentais. A todos os alunos foi apresentada uma situação-problema, devidamente enquadrada no currículo

da disciplina de Ciências Naturais (9º ano), tendo sido convidados a encontrar a resposta para a mesma com base numa atividade laboratorial.

Foram constituídas quatro condições experimentais: 1) os alunos não receberam instrução prévia, planificaram (com base em material de pesquisa fornecido) e executaram a atividade laboratorial; 2) os alunos receberam instrução prévia sobre estratégia de controlo de variáveis (ECV), planificaram (também com base em material fornecido) e executaram a atividade laboratorial; 3) os alunos não receberam qualquer tipo de instrução prévia, mas foi-lhes fornecido e devidamente explicado o protocolo experimental que deveriam executar; 4) os alunos receberam instrução prévia a respeito dos conceitos que se pretendia que adquirissem e receberam o protocolo já elaborado, que também lhes foi explicado. Neste último caso, a atividade laboratorial foi usada como forma de consolidação dos conceitos ministrados. Foi realizado um pré e um pós teste para verificar a evolução das aprendizagens dos alunos.

Verificámos que um maior grau de instrução (apoio) favorece a aprendizagem (de acordo com o preconizado na Teoria da Sobrecarga Cognitiva), sendo a instrução direta mais eficaz em alunos com menos pré-requisitos.

Concluimos assim que as atividades laboratoriais permitem uma aprendizagem mais significativa quando utilizadas como forma de consolidação de conhecimento e que a instrução prévia é fundamental para que os alunos possam dar significado aos resultados da investigação por eles realizada.

Palavras-Chave: ensino das ciências, design instrucional, atividades laboratoriais, teoria da sobrecarga cognitiva, arquitetura cognitiva humana.

Abstract

Problem-based learning assumes a very important role in Portuguese curricular documents for experimental science teaching (*Aprendizagens Essenciais* – Essential Learnings and *Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória* – Student’s Profile by the end of Compulsory Schooling), which favours constructivist teaching methods and value the implementation of laboratory activities in teaching strategies. However, according to Cognitive Load Theory, direct instruction enhances learning for initiated learners, unlike discovery-based learning strategies. Our goal in this study was to obtain data that allow us to identify the best way to use laboratory work in a classroom context. We wanted to know if science teaching is more effective starting from laboratory activities (by discovery-learning, based on constructivist principles) or from direct instruction led by the teacher (supported by cognitive load theory). We also wanted to know if laboratory activities are more effective in promoting learning if based on instructions or freely designed and executed by students (as a problem-based learning strategy).

This quasi-experimental study was developed in a real Portuguese school context, applied to real classes, and respected the Natural Sciences discipline planning. The variables under study were the laboratory activity execution timing regarding the theoretical content presentation (before/after instruction) and the amount of instruction given to students prior to the laboratory activity execution. An initial problem (included in the 9th-grade Natural Sciences curriculum) was presented to all students, who should find the answer by executing a laboratory activity and analysing obtained data.

Four experimental conditions were created: Group 1) students didn’t get any previous direct instruction, they designed the experimental protocol based on the given research material and executed what they have planned; Group 2) this group was under

the same conditions as Group 1, except they have received instruction about Control Variable Strategy (CVS) instruction prior to the experimental protocol design; Group 3) received an experimental protocol previously prepared to respond to the initial problem, which was also explained to them; Group 4) students received direct instruction about the learning objective and a previously prepared experimental protocol, also explained by the teacher before execution. In this last group, the laboratory activity was used to consolidate previously acquired learnings. A pre and post-test were applied to verify learning progression in all students.

It was demonstrated that more guidance enhances learning (according to Cognitive Load Theory predictions) and direct instruction is more effective in students with fewer prerequisites. We concluded that, in the current Portuguese educational context, laboratory activities are more effective in promoting learning when used to consolidate acquired learning than as a method to acquire learning itself and that direct instruction is important to help students make sense of what they are watching in practice.

Keywords: science teaching, instructional design, laboratory activities, cognitive load theory, human cognitive architecture.

INTRODUÇÃO

A metodologia de ensino minimamente orientada pelo professor, a par com a aprendizagem realizada com base na resolução de problemas, tem sido amplamente aceite e defendida para o ensino das ciências com base numa série de argumentos que se enquadram nas perspetivas construtivistas, nomeadamente:

- o aluno tem uma atitude ativa na busca e construção do seu saber, o que resultaria em aprendizagens eficazes (Bruner, 1961; Solé & Coll, 2001);
- sendo a aprendizagem efetuada na busca de uma resposta para um problema, torna o processo mais significativo e motivador para o aluno, o que também será conseguido pelo caráter eminentemente prático das tarefas (Solé & Coll, 2001; Kuhn, 2007);
- para além dos conceitos, o aluno adquire também competências de aprendizagem, isto é, aprende a aprender. As competências preparam o aluno para qualquer situação futura em que seja necessário aprender, facilitando a transferência, enquanto os conhecimentos dos conceitos se limitam à área com que estão relacionados (Duffy, 2009; Schwartz et al., 2009);
- permite ao aluno praticar as metodologias próprias das ciências e tomar contacto com os processos inerentes à investigação científica – algo que foi esquecido pelos currículos de ciências, que viam o trabalho laboratorial apenas como um processo de comprovação dos conceitos e não como método investigativo inerente à ciência que os alunos estão a estudar (Kirshner, 1992; Kuhn, 2007).

É neste contexto que nos currículos tem havido uma alteração do papel do trabalho laboratorial, deixando este de ser entendido como um método comprovativo para passar a ser visto como método investigativo (Leite, 2001). As atividades laboratoriais são vistas como uma importante ferramenta no ensino das ciências, quer por especialistas em educação em ciências, quer pelos responsáveis pela educação no país (como referido em Leite & Dourado, 2013). Em Portugal, os documentos curriculares de referência da ação educativa em vigor nas escolas portuguesas para a área das ciências naturais, nomeadamente as Aprendizagens Essenciais (AE), quer para o 2º e 3º ciclos do Ensino Básico na disciplina de Ciências Naturais, quer para o Ensino Secundário da disciplina de Biologia e Geologia, e o Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória (PASEO), da responsabilidade da Direção Geral da Educação (DGE), são eles próprios defensores de uma pedagogia de inspiração construtivista, ao solicitar aos professores que tenham em conta “os processos de ensino centrados nos alunos para que estes se assumam como agentes ativos na construção do seu próprio conhecimento, pesquisando e organizando informação, analisando e interpretando dados, planificando e executando atividades práticas” (DGE, 2018a). Prevê-se que o aluno seja capaz de “planear e implementar investigações práticas, baseadas na observação sistemática, na modelação e no trabalho laboratorial/experimental” para dar resposta às questões fundamentais do currículo específico da disciplina de Ciências Naturais de cada ano de ensino (DGE, 2018a). As orientações para o Ensino Secundário vão ainda mais longe, ao afirmar que se pretende que o aluno seja capaz de compreender como trabalham os cientistas e as suas metodologias de investigação e, para isso, deverão levar a cabo pesquisas em sala de aula (DGE, 2018b). Entende-se assim que a investigação laboratorial pode ser a metodologia adequada para, numa lógica muito próxima da aprendizagem por descoberta, ensinar ciências experimentais.

De acordo com Derek Hodson (como referido em Leite & Dourado, 2013), a educação em ciências inclui três componentes principais: aprender ciência, aprender como fazer ciência e aprender a respeito da ciência. A interpretação dos dados é o que permite ao aluno construir o conhecimento a respeito dos conceitos e processos que se pretende que sejam compreendidos. É importante enfatizar que as atividades laboratoriais mostram “o que” acontece, não explicam “porque é que” acontece. De que modo deveremos então interpretar as indicações dos documentos curriculares de referência acima citados? De que modo devemos nós, professores de disciplinas da área das ciências experimentais, aplicar as atividades laboratoriais? Como forma de consolidação (e eventual ampliação) dos conceitos por nós previamente explicados aos alunos ou, numa perspetiva construtivista de aprendizagem por descoberta, mimetizar o trabalho dos cientistas aplicando o método científico de forma literal através das atividades laboratoriais para chegar às mesmas conclusões que eles chegaram?

Com a evolução do conhecimento sobre a arquitetura cognitiva humana e os respetivos mecanismos responsáveis pela aprendizagem, alguns autores afirmam que a aprendizagem minimamente orientada pelo professor e baseada na resolução de problemas não resulta numa aprendizagem eficaz, pois induz uma sobrecarga da memória de trabalho durante os processos inerentes à busca de conhecimento que impede que esta seja utilizada na consolidação efetiva do conhecimento alcançado. Argumenta-se também que o aluno pode chegar facilmente à frustração por não alcançar os objetivos pretendidos, não saber interpretar o que observa ou simplesmente não ser capaz de delinear com eficácia a metodologia para procurar a resposta para o seu problema (Festas & Castro, 2013; Khlar & Nigam, 2004; Kirshner et al., 2006).

Sweller et al. (1998) foram pioneiros ao relacionar a Teoria da Sobrecarga Cognitiva com alguns aspetos bem conhecidos na altura da Arquitetura Cognitiva Humana, aplicando as relações estabelecidas ao *design* instrucional no sentido de o

tornar mais eficaz. De facto, embora já fossem conhecidos muitos aspetos relacionados com a Arquitetura Cognitiva Humana antes do desenvolvimento da Teoria da Sobrecarga Cognitiva, pouca atenção lhes foi dada no estabelecimento do design instrucional. De acordo com Kirshner et al., (2006), “qualquer procedimento instrucional que ignore as estruturas que constituem a arquitetura cognitiva humana dificilmente será eficaz” (traduzido). Assim, primeiramente, iremos abordar os aspetos da arquitetura cognitiva humana relevantes para melhor entendermos a teoria da sobrecarga cognitiva, de que falaremos a seguir. Da relação estabelecida entre ambas é possível inferir as consequências que daí advêm do ponto de vista do design instrucional.

Os métodos de cariz construtivista têm assumido um papel muito importante nos sistemas de ensino, muito particularmente no que respeita ao ensino das ciências experimentais. Neste seguimento, será feita uma breve apresentação das perspetivas construtivistas da aprendizagem e dos métodos de ensino que delas são decorrentes, entre os quais surge a aprendizagem por descoberta. Em seguida, pretendemos analisar de que modo a aprendizagem por descoberta poderá ser uma vantagem ou um impedimento na aquisição de conhecimento (nomeadamente no campo das aprendizagens conceptuais) por parte de alunos do ensino básico e secundário e as mais-valias e benefícios que os métodos de instrução mais diretivos poderão trazer.

Ainda nesta primeira parte, face à importância que lhes é dada nos documentos de referência para as disciplinas de Ciências Naturais e de Biologia e Geologia, faremos o esclarecimento do conceito de trabalho laboratorial, no sentido de o enquadrar no conceito de trabalho prático e de o distinguir de outro tipo de atividades experimentais e de campo.

Numa segunda parte deste trabalho é apresentada a investigação por nós levada a cabo, os resultados e a análise dos mesmos, procurando dar resposta àquela que é a nossa questão inicial: de que modo é que a utilização de atividades laboratoriais pode

ser implementada de modo a promover uma aprendizagem eficaz das ciências experimentais – como ponto de partida para uma aprendizagem por descoberta, ou como consolidação e ampliação dos conceitos adquiridos a partir de uma abordagem instrucional mais diretiva?

Arquitetura Cognitiva Humana

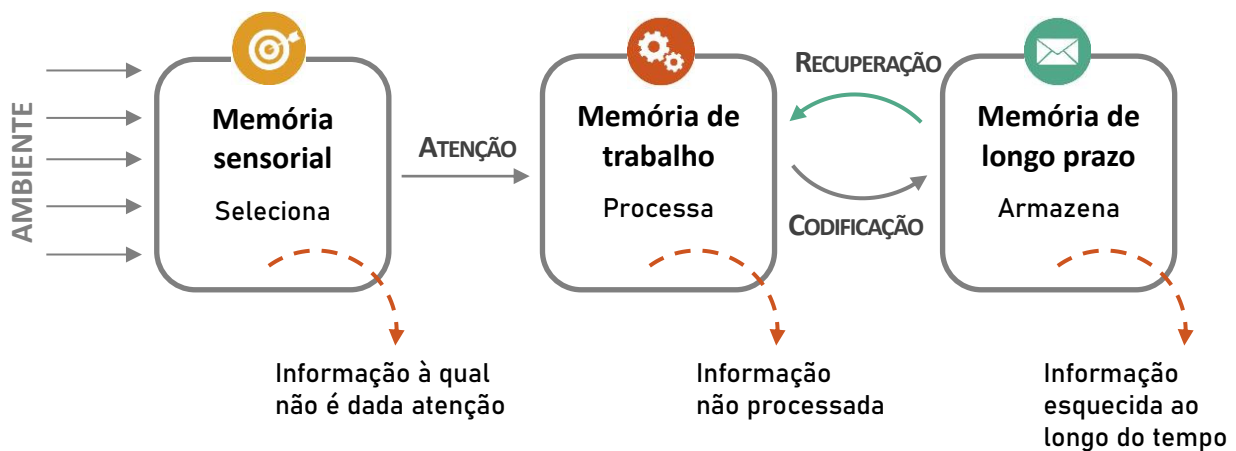
A Arquitetura Cognitiva diz respeito à forma como as nossas estruturas cognitivas (humanas) estão organizadas e se relacionam entre si na aquisição e relação de conhecimento. O conhecimento destas estruturas é fundamental para qualquer educador. Conhecer o modo como aprendemos é o que nos permite perceber porque é que determinados procedimentos instrucionais resultam e outros não, constituindo assim uma base coerente e unificadora que pode ser usada na geração de procedimentos mais eficazes para promover a aquisição de conhecimento (Sweller et al., 2011).

O modelo proposto por Atkinson & Shiffrin (1968) é a base dos modelos atualmente aceites para a Arquitetura Cognitiva Humana. Segundo estes autores, a memória humana encontra-se dividida em três sistemas de armazenamento, responsáveis por processar os diferentes tipos de dados, que passam da memória sensorial para a memória a curto prazo e daí para o armazém final, a memória de longo prazo. Segundo este modelo, a memória sensorial capta a informação proveniente dos órgãos dos sentidos, que é analisada e transferida para a memória de curto prazo. Esta memória é também chamada de memória de trabalho (*working memory*), pois é responsável pelo processamento da informação recebida. É, no fundo, o sistema cognitivo que nos permite manter ativa a informação necessária para desenvolver tarefas cognitivas complexas como raciocinar, compreender e aprender (Baddeley,

2010). A memória de longo prazo seria o repositório permanente onde a informação adquirida é armazenada (Atkinson & Shiffrin, 1968), como esquematizamos na Figura 1.

Figura 1

Representação esquemática do modelo de arquitetura cognitiva humana segundo Atkinson & Shiffrin (1968).



Desde então, o conhecimento sobre o funcionamento destas estruturas tem sofrido ampla evolução. A memória de longo prazo já não é vista como um simples repositório de informação, com um papel meramente acessório na aquisição propriamente dita de conhecimento (como veremos adiante). Todos os modelos que, entretanto, surgiram a partir desta base têm como ponto comum a importância do papel da memória de trabalho na transferência de informação para a memória de longo prazo (Kirshner et al., 2006). Assim, abordaremos apenas as relações entre a memória de trabalho e a memória a longo prazo, reconhecidas como fundamentais nos processos cognitivos que suportam a aprendizagem (Kirshner et al., 2006; Sweller et al., 2011; Sweller et al., 2019).

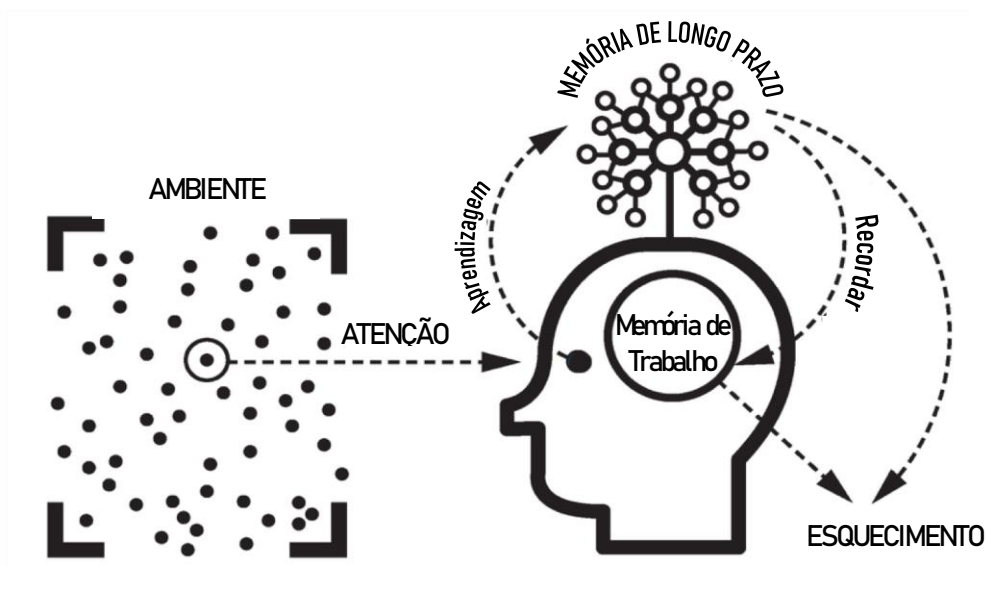
Memória de trabalho (*working memory*). Após a entrada dos estímulos no sistema sensorial, a partir do momento em que a informação recebida é alvo de atenção e reconhecimento, é processada ao nível da memória de trabalho, a qual é utilizada em todos os processos cognitivos conscientes (Sweller et al., 1998). Os processos mentais responsáveis pelo processamento da informação recebida fazem parte deste sistema de memória. Contudo, a capacidade desta estrutura é bastante limitada e apenas é capaz de lidar com um número bastante reduzido de elementos (entre quatro a sete), podendo ser ainda menos, caso se tratem de elementos que interajam de forma complexa (Sweller et al., 1998; Kirshner et al., 2006). Esta limitação tem consequências na capacidade de aprendizagem. Um elevado número de elementos em interação sobrecarrega a capacidade de processamento da memória de trabalho e o processo não é eficaz (Kirshner et al., 2006; Sweller et al. 1998; Sweller et al., 2011). É sobre esta premissa que assenta a Teoria da Sobrecarga Cognitiva (TSC), que será analisada adiante de forma mais pormenorizada. No entanto, os limites de processamento apenas se aplicam a informação nova, que necessita de ser processada antes de ser consolidada.

Memória de longo prazo (*long-term memory*). Uma vez processada, a informação é guardada na memória de longo prazo. A sua capacidade de armazenamento é ilimitada e constitui o repositório permanente de tudo o que foi aprendido (Sweller et al., 1998; Kirshner, 2002). Assumindo que o sistema de processamento da cognição humana é, no fundo, um sistema natural de processamento de informação análogo ao da evolução por Seleção Natural, podemos comparar a memória a longo prazo com um genoma – a estrutura onde se encontra armazenada e organizada a informação que serve de base para a evolução (neste caso, do conhecimento) (Sweller et al., 2011).

A informação adquirida é armazenada na memória de longo prazo não apenas como um conjunto de elementos isolados, mas organizada na forma de *esquemas* – construções cognitivas hierarquizadas que incorporam vários elementos de informação relacionados entre si num único elemento com uma função específica (Chi et al., 1982; Sweller et al., 1998; Paas et al., 2003). Os esquemas permitem organizar vários elementos de informação de acordo com a forma como se relacionam entre si. À medida que o nível de perícia numa determinada área aumenta, vão sendo construídos esquemas cada vez mais complexos, que podem integrar os esquemas já existentes em elementos de nível superior. Um único esquema pode incorporar grandes quantidades de informação que é tratada como um elemento apenas (Figura 2).

Figura 2

Diagrama representativo da forma como a informação é armazenada na memória de longo prazo e da sua relação com a arquitetura cognitiva humana



Nota. Traduzido de Caviglioli, O. (2020) [representação esquemática do modelo de memória de Willingham] <https://teacherhead.com/2020/03/10/a-model-for-the-learning-process-and-why-it-helps-to-have-one/>

O recurso frequente a cada esquema permite a sua automação, tornando o seu processamento um processo inconsciente. A principal consequência da aquisição e automação de esquemas é um alívio da capacidade de processamento da memória de trabalho, já que cada conjunto de elementos em interação é tratado como um único elemento durante o processo cognitivo consciente (Sweller et al., 1998; Kirshner, 2002; Paas et al., 2004).

Arquitetura Cognitiva Humana e tipos de conhecimento

Se o conhecimento das estruturas responsáveis pela aquisição de conhecimento é importante do ponto de vista do design instrucional, o tipo de conhecimento a adquirir também o é, pois envolve diferentes processos cognitivos que importa conhecer (Sweller, 2016).

A arquitetura cognitiva humana, quando vista pelo prisma da psicologia educacional evolutiva, permite categorizar a informação de uma forma muito significativa do ponto de vista instrucional. Geary (2007) fez a distinção entre conhecimento biologicamente primário e secundário, cuja natureza evolutiva biológica envolve mecanismos distintos de aquisição (Sweller et al., 2011).

O conhecimento biologicamente primário é aquele para cuja aquisição evoluímos de forma específica ao longo de gerações de seres humanos. É o tipo de conhecimento crítico para a nossa sobrevivência e envolve capacidades como aprender a falar, reconhecer rostos, interagir em funções sociais básicas, transferir conhecimento adquirido para novas situações ou fazer previsões para acontecimentos que podem ou não ocorrer. Este tipo de conhecimento é modular e embora estas tarefas cognitivas possam ter alguma complexidade, a evolução ocorreu no sentido de que fossemos

capazes de adquirir estas competências necessárias sem esforço, muitas vezes de forma inconsciente e sem instrução explícita. Contudo, o seu uso em determinados contextos não ocorre de forma inconsciente. Por exemplo, evoluímos de modo a saber falar a língua materna, mas a construção de um poema já envolve esforço consciente para a utilização correta das palavras cujo significado aprendemos de forma natural. A construção do poema com base no conhecimento biologicamente primário faz parte do conhecimento biologicamente secundário. As competências adquiridas neste âmbito de conhecimento são genéricas do ponto de vista cognitivo (Tricot & Sweller, 2014) e estão mais relacionadas com a forma como aprendemos do que com o âmbito disciplinar em que se inserem. São competências que não são ensinadas, mas adquiridas automaticamente sem qualquer tipo de instrução (Sweller et al., 2019).

O conhecimento biologicamente secundário inclui o conhecimento proveniente de informação que é adquirida e necessária por razões culturais, mas que não evoluímos biologicamente no sentido de a adquirir. Por exemplo, embora a aprendizagem da língua possa ser feita de forma inconsciente por imersão numa determinada cultura, o correto uso das expressões e das regras gramaticais, ou a aprendizagem consciente de uma segunda língua já fazem parte do que se classifica como conhecimento biologicamente secundário. A aquisição deste tipo de conhecimento é um processo de construção ativa de informação adquirida de forma consciente e que envolve esforço por parte de quem aprende. Além disso, como está dependente da cultura, este tipo de conhecimento é também altamente dependente de instrução de terceiros, nomeadamente de instituições mais ou menos formais de ensino (Sweller et al., 2011; Sweller, 2016). Sweller & Tricot (2014) definem conhecimento de domínio específico como a informação memorizada que desencadeia uma ação que necessária à conclusão de tarefas específicas. Neste sentido, sendo culturalmente dependente de instrução, o conhecimento biologicamente secundário é todo ele de domínio cognitivo específico. Contrariamente ao caráter

modular do conhecimento biologicamente primário, o conhecimento biologicamente secundário apresenta-se como um sistema unificado, pelo que a sua forma de aquisição é semelhante, independentemente do domínio de conhecimento em que se insere (Sweller et al., 2019).

A tabela 1 resume e apresenta de forma comparativa as características do conhecimento humano biologicamente primário e biologicamente secundário.

Tabela 1

Características dos diferentes tipos de conhecimento humano, segundo Geary (2007).

Tipos de conhecimento humano	
Biologicamente primário	Biologicamente secundário
Crítico para a nossa sobrevivência enquanto espécie	Informações necessárias por razões culturais
Evoluímos no sentido de o adquirir	Não faz parte da nossa evolução biológica
Adquirido sem esforço, muitas vezes inconscientemente	Adquirido de forma consciente, com base em construção ativa (exige esforço)
Sem necessidade de instrução específica	Dependente da instrução de terceiros
Conhecimento do tipo modular (diferentes formas de aquisição, dependendo do domínio do conhecimento)	Sistema unificado de conhecimento (adquirido sempre da mesma forma, independentemente do domínio de conhecimento)
Não necessita de processamento complexo	Exige processamento ativo
Não sobrecarrega a memória de trabalho	Sujeito à capacidade limitada da memória de trabalho

O papel da memória de trabalho na aquisição destes dois tipos de conhecimento é muito díspar. No caso do conhecimento biologicamente primário, a capacidade limitada da memória de trabalho torna-se insignificante, pois o tipo de informação envolvida é adquirido de forma natural e inconsciente, sem necessidade de

processamento complexo. Por outro lado, no que diz respeito ao conhecimento biologicamente secundário, este exige um processamento consciente que envolve esforço mental ativo por parte de quem aprende. Cabe à memória de trabalho fazer o processamento da informação recebida, relacionar elementos e contribuir para a construção de esquemas. Neste caso, as limitações deste tipo de memória já se fazem sentir, pelo que se torna importante ter em conta este aspeto do ponto de vista instrucional (Sweller et al., 2011; Sweller, 2016).

Princípios básicos da Arquitetura Cognitiva Humana

A teoria da Evolução é uma teoria biológica que procura explicar a origem e evolução de estruturas biológicas que constituem a evolução das espécies. Pode ser vista, de outra perspetiva, como um sistema de processamento de informações naturais que permite a seleção de indivíduos. Entendendo como funciona, podemos estender os mesmos princípios a outros sistemas de processamento de informação, como os que estão relacionados com a cognição humana.

Na sua forma de lidar com o conhecimento biologicamente secundário, a cognição humana é comparada por analogia a um sistema natural de processamento da informação da resultante da evolução por seleção natural (Sweller & Sweller, 2006; Sweller et al., 2011; Sweller, 2016). Conhecer as características dos sistemas naturais de processamento de informação permite-nos inferir sobre as características centrais da cognição humana, descrito por cinco princípios básicos:

Princípio do Armazenamento da Informação (*Information Store Principle*).

Os sistemas naturais de processamento de informação necessitam de lidar com um ambiente complexo e em constante mudança, o que requer uma grande quantidade de

informação armazenada. À semelhança do genoma, que constitui a fonte de armazenamento da informação biológica, é a memória a longo prazo que desempenha esse papel na arquitetura cognitiva humana, após a aquisição e processamento da informação pela memória de trabalho (Sweller et al., 2011).

Grande parte da informação armazenada é biologicamente primária. Este tipo de informação que nos permitiu a sobrevivência enquanto espécie, é a mesma que constitui a base para o conhecimento biologicamente secundário. O trabalho levado a cabo por De Groot (1965), mostrou que os peritos em xadrez não diferem significativamente dos iniciantes na sua capacidade de memória, cálculo ou raciocínio. A grande diferença reside numa capacidade de reconhecimento de um maior número de padrões de jogo e movimentos com maior probabilidade de sucesso em cada caso, permitindo-lhes assim reduzir o número de hipóteses a considerar na tomada de decisão (Chase & Simon, 1973). Essa informação é adquirida pela prática deliberada na aquisição de informação (análise de partidas e métodos de jogo) e permite-lhes construir um sistema cognitivo que facilita a mobilização da informação adquirida. A forma como a informação é armazenada e a relação entre os vários elementos é importante no que respeita à arquitetura cognitiva humana. A informação deixa de ser biologicamente primária e passa a ser biologicamente secundária, de domínio específico, quando deixa de ser uma informação isolada para passar a constituir um conjunto de informações relacionadas entre si – um esquema – que são utilizadas num determinado fim (Chi et al., 1982). A aquisição de um esquema permite que a informação seja aplicada da mesma forma sempre que o contexto seja o mesmo, independente das diferenças entre situações concretas. Como a informação é tratada como um único elemento, reduzem-se os recursos da memória de trabalho necessários para processar toda a informação como um todo, permitindo-nos lidar com volumes de informação que de outro modo seriam

impossíveis de processar simultaneamente (Sweller et al., 2011) e aumentando a nossa capacidade de apreensão e reação a ambientes de grande complexidade.

Após a aquisição, os esquemas necessitam de processamento consciente e, muitas vezes, com esforço considerável. À medida que a prática decorre, o processamento consciente deixa progressivamente de ser necessário, o que permite a utilização automática e sem esforço do esquema adquirido, libertando a memória de trabalho para outras operações de processamento de novas situações.

Não podemos ignorar que a informação guardada na memória a longo prazo é fundamental no processo cognitivo humano. Quer por conter a informação biologicamente primária que nos permite sobreviver num meio complexo, quer por conter a informação biologicamente secundária que constitui o alvo das nossas instituições de ensino. “O objetivo da instrução é aumentar o armazenamento de conhecimento na memória de longo prazo. Se nada mudou na memória a longo prazo, é porque nada foi aprendido” (Sweller et al., 2011). Assim, no que concerne aos métodos de ensino e de instrução, é fundamental que estes sejam profundamente dedicados a potenciar a aquisição de informação para a memória a longo prazo sob a forma de esquemas (Kirshner et al., 2006).

Princípio do Empréstimo e Reorganização (*Borrowing and Reorganizing*

Principle). Este princípio descreve o modo como a informação armazenada na memória de longo prazo é adquirida, sendo por isso muito importante no que aos métodos de ensino diz respeito.

O armazenamento de informação requer a existência de informação prévia. Essa informação primária necessária para o armazenamento da nova informação é obtida por meio do princípio do empréstimo e reorganização. (Sweller et al., 2011; Sweller et al., 2019). O conhecimento biologicamente secundário depende de informação

transmissível, oriunda a partir de terceiros (foi-nos “emprestada”). Contudo, a nossa capacidade para o receber (e transmitir) depende de características biologicamente primárias que evoluímos para adquirir de forma inconsciente e automática. Uma vez recebida, a nova informação (biologicamente secundária) é recombinação com outra informação pré-existente na memória de longo prazo para construir um novo esquema que ficará armazenado na memória de longo prazo. Contudo, a forma de reorganizar e integrar o novo conhecimento é dependente das características cognitivas do seu recetor e dos esquemas pré-existentes, pelo que o novo esquema adquirido será diferente do esquema que originalmente foi transmitido pelo instrutor (Sweller et al., 2011).

Princípio da Geração Aleatória (*Randomness as Genesis Principle*). De acordo com o princípio descrito anteriormente, a maior parte da informação presente na memória de longo prazo é obtida a partir de terceiros. Contudo, nem sempre existe a presença de outros que possam fazer essa transmissão. Nesses casos, não existindo informação prévia, o conhecimento tem de ser gerado.

Para mobilizar conhecimento com o objetivo de alcançar a resolução de um problema, cognitivamente pode ser usado um de dois processos, consoante a base do problema é ou não reconhecida. Um deles, no caso de a informação pré-existente permitir o reconhecimento dos processos adequados à resolução do problema, permite que esses processos possam ser mobilizados a partir da memória a longo prazo para a resolução. É como se se desencadeasse a rotina biológica codificada em determinada parte do genoma. Contudo, se o problema é novo, é possível que pelo menos parte dos mecanismos necessários para a sua resolução sejam desconhecidos. Na impossibilidade de mobilizar conhecimento prévio, a alternativa é um procedimento que passa por gerar (aleatoriamente) um possível processo de resolução e testar a sua eficácia. Os

procedimentos eficazes são retidos e os não eficazes descartados. Este processo não requer instrução, pois é de caráter biológico primário (Sweller et al., 2011; Sweller et al., 2019).

Princípio dos Limites Estreitos de Mudança (*Narrow Limits of Change*

Principle). Este princípio constitui o ponto central da Teoria da Sobrecarga Cognitiva e descreve o mecanismo necessário para acomodar o conhecimento adquirido na memória a longo prazo, com ênfase nas limitações da memória de trabalho.

A aquisição de nova informação a partir do ambiente pelo Princípio da Geração Aleatória implica que essa informação esteja desorganizada. É a memória de trabalho que faz a ponte entre o ambiente e a memória de longo prazo. Assumindo os limites da memória de trabalho relativamente ao número de novos elementos com que é capaz de lidar, é fácil perceber que a aquisição de nova informação está limitada pelo número de novos elementos em interação. A mudança na memória de longo prazo é, por isso, um processo lento e estreitamente limitado pela capacidade da memória de trabalho (Sweller et al., 2016; Sweller et al., 2019).

Princípio da Organização e Ligação Ambiental (*Environmental Organizing and*

Linking Principle). Como já foi referido, o processamento de nova informação é limitado pela capacidade da memória de trabalho. Contudo, o mesmo já não se passa no que diz respeito ao processamento de informação familiar que já foi armazenada na memória de longo prazo. Os estímulos recebidos do ambiente geram as ações apropriadas para o mesmo. Essas ações são baseadas no conhecimento previamente armazenado e organizado na memória de longo prazo. Este, é mobilizado de forma ligada com o ambiente concreto a que o indivíduo está sujeito em cada momento. Esta ação cognitiva de busca do conhecimento previamente organizado e armazenado é

biologicamente primária e por isso não necessita de instrução para ser realizada (Sweller et al., 2011; Sweller et al., 2019).

Estes princípios de arquitetura cognitiva, no que ao ser humano dizem respeito, foram a base para o estabelecimento da Teoria da Sobrecarga Cognitiva (TSC) e permitem inferir sobre os procedimentos instrucionais mais adequados na transmissão de novos conhecimentos, sobretudo aqueles que são biologicamente secundários, como os que estão relacionados com a instrução formal que é recebida nas instituições de ensino. Biologicamente evoluímos no sentido de aprender com os outros pela via descrita no Princípio da Aquisição e Reorganização. Depois, em linha com o que é postulado pelo Princípio dos Limites Estreitos de Mudança, tal informação deve ser organizada (ou apresentada) de forma a respeitar os limites da memória de trabalho, evitando a sua sobrecarga – pois, de acordo com a TSC, tal acontece aquando do processamento de nova informação de domínio específico, como se descreverá adiante. Assim, adquirir informação a partir de outros permite reduzir a carga cognitiva quando comparado com os processos de autoaquisição de novo conhecimento descritos pelo Princípio da Geração Aleatória. Depois de adquirido e armazenado, a mobilização desse conhecimento a partir da memória a longo prazo para a memória de trabalho já não está limitada pela capacidade desta última e pode ser utilizado para reagir de forma adequada aos estímulos ambientais, conforme descrito pelo Princípio da Organização e Ligação Ambiental.

Teoria da Sobrecarga Cognitiva

Esta teoria é descrita pela primeira vez de forma completa por Sweller em 1988, no seu artigo *Cognitive Load during problema solving: Effects on Learning*. Desde então, vários dos seus efeitos relacionados com métodos instrucionais foram estudados e descritos. Em 1998, o artigo *Cognitive Architecture and Instructional Design* (Sweller et al., 1998) torna-se uma das mais importantes referências no campo da psicologia educacional (Sweller et al., 2019).

A Teoria da Sobrecarga Cognitiva (TSC) tem como objetivo explicar de que modo é que a sobrecarga imposta pelas tarefas de aprendizagem pode interferir com a capacidade de processamento de nova informação por parte de um estudante. Tem por base o modelo de arquitetura cognitiva humana descrito e assenta no pressuposto de que a memória de trabalho tem uma capacidade limitada de processamento. Demasiada exigência no processamento de nova informação pode impedir a transferência de informação para a memória a longo prazo, limitando deste modo a capacidade de construção de conhecimento. As limitações da memória de trabalho devem ser tidas em conta no *design* instrucional, sob pena de o processo de ensino se tornar inconsequente. A apresentação de informação deve ser feita de modo a reduzir a sobrecarga da memória de trabalho e potenciar outros aspetos da carga cognitiva que levam à aprendizagem eficaz (Sweller et al., 2011).

Tipos de carga cognitiva

A natureza do material a aprender e os procedimentos instrucionais podem induzir diferentes tipos de carga cognitiva que importa conhecer. A aquisição de esquemas implica o processamento da informação pela memória de trabalho antes que

esta possa ser armazenada na forma esquemática, isto é, de forma relacionada, como se de um elemento só se tratasse. Uma sobrecarga da memória de trabalho impede a aquisição destes esquemas, comprometendo assim a aprendizagem. Conhecer o tipo de cargas a que a memória de trabalho pode estar sujeita permite-nos adequar as estratégias educativas e potenciar a aprendizagem dos alunos (Sweller et al., 1998; Paas et al., 2003; Sweller et al., 2011).

A carga que é imposta sobre a memória de trabalho pode ser afetada pela natureza intrínseca do material a aprender, pela forma como a informação é apresentada ou pelas atividades de aprendizagem que são propostas aos alunos. Em 1998, Sweller et al. descreveram três tipos de carga cognitiva: intrínseca, extrínseca e germânica. A carga intrínseca é inerente ao próprio material e depende do número de elementos em interação que necessitam de processamento simultâneo. As cargas extrínseca e germânica dependem das atividades de aprendizagem solicitadas aos alunos. Enquanto a carga extrínseca é imposta por atividades que não contribuem para a aquisição e automatização de esquemas (e como tal, é prejudicial à aprendizagem), a carga germânica está relacionada com atividades de aprendizagem que estimulam estes processos. Estes três tipos de carga são aditivos, e apenas ocorrerá aprendizagem eficaz de o seu somatório não exceder a capacidade da memória de trabalho (Paas et al., 2004; Sweller et al., 2011). Passaremos de seguida a uma explicação mais pormenorizada de cada tipo de carga cognitiva com base nos trabalhos de Sweller et al. (2011).

Carga cognitiva intrínseca (*intrinsic cognitive load*). A carga cognitiva intrínseca é causada pela complexidade inerente naturalmente à informação. A carga imposta sobre a memória de trabalho depende do número de elementos que é necessário processar em simultâneo o que, por sua vez, depende da interatividade entre elementos.

Por exemplo, se os elementos puderem ser aprendidos de forma isolada, sem interatividade, não necessitam de processamento simultâneo. Podem ser aprendidos de forma sucessiva, e a tarefa pode ser aprendida sem impor uma carga excessiva na memória de trabalho com o processamento simultâneo de vários elementos. Quando, pelo contrário, a interatividade entre elementos é elevada (sendo uns essenciais para a compreensão dos outros) e os elementos não podem ser aprendidos de forma sucessiva, o processamento simultâneo dos elementos aumenta a carga sobre a memória de trabalho. A aquisição de esquemas e a sua automação são fundamentais na redução deste tipo de carga, pois os esquemas permitem que vários elementos em interação sejam tratados como um só.

Carga cognitiva extrínseca ou ineficaz (*extraneous or ineffective cognitive load*). A carga cognitiva extrínseca é causada pelos métodos de ensino aplicados e não depende da natureza da informação. Acontece quando a forma como a informação é apresentada interfere com a aquisição de esquemas. Tal pode acontecer quando o procedimento instrucional não traz benefícios para a aprendizagem, consumindo recursos da memória de trabalho que seriam importantes na aquisição e automação de esquemas (por exemplo quando as instruções das atividades de aprendizagem são muito complexas e de difícil compreensão por parte dos alunos).

Carga cognitiva germânica ou eficaz (*germane or effective cognitive load*). Este tipo de carga cognitiva também é imposto pelos métodos de ensino e atividades de aprendizagem propostas. Contudo, é um tipo de carga cognitiva que está relacionada com atividades que canalizam os recursos da memória de trabalho inicialmente usados em atividades de natureza extrínseca para a construção e automação de esquemas, pelo que tem um efeito oposto ao da carga extrínseca e contribui para a eficácia da

aprendizagem. Pode ser utilizada como estratégia quando a carga cognitiva imposta pela natureza da informação é baixa, ou quando os métodos de ensino não exercem carga elevada (ou numa combinação das duas situações), em que não existe uma utilização plena dos recursos da memória de trabalho no processo de aprendizagem. A motivação, por exemplo, é uma técnica que pode auxiliar o aprendiz a dedicar mais recursos a uma tarefa. Se estes recursos forem relevantes e aplicados na aquisição e automação de esquemas, ocorrerá um aumento da carga germânica, com efeitos positivos no resultado da aprendizagem (Paas et al., 2004).

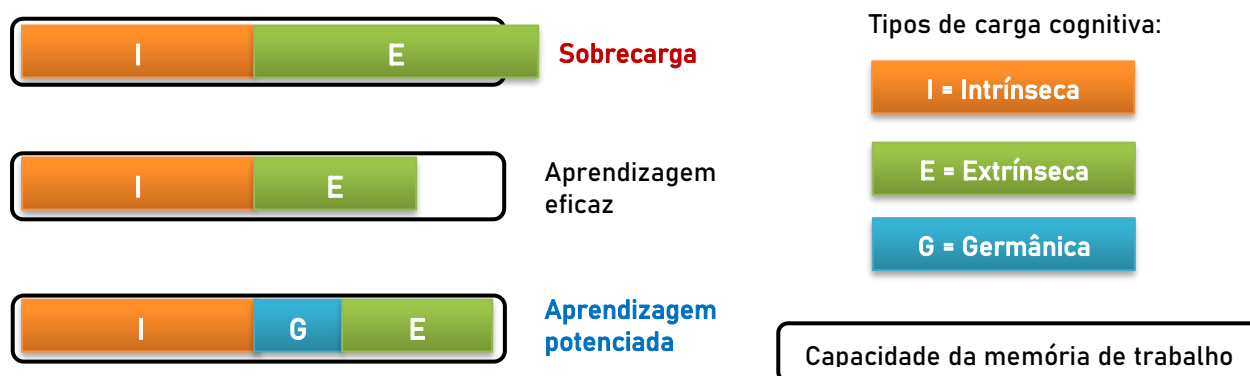
Os diferentes tipos de carga cognitiva são cumulativos. Quando o seu somatório suplanta os recursos da memória de trabalho disponíveis, a mobilização de conhecimento para a memória a longo prazo não ocorre de forma eficaz. Importa, por isso, que os métodos de ensino sejam desenhados por forma a garantir a máxima redução de carga sobre a memória de trabalho. A carga cognitiva intrínseca não depende dos métodos de ensino, mas a carga extrínseca e germânica sim. Assim sendo, serão estes tipos de carga que os métodos de ensino devem considerar. Muito concretamente, os métodos serão tanto mais eficazes quanto mais permitirem a redução da carga extrínseca e o aumento da carga germânica. Coloca-se a questão: como é que isso se faz?

Durante o processo de aquisição de conhecimento, os recursos da memória de trabalho são utilizados primeiramente no processamento da nova informação, na aquisição de esquemas ou na automatização dos que já existem. Depois de lidar com esta carga intrínseca, os recursos que ficam disponíveis podem ser utilizados para lidar com a carga extrínseca e germânica. Se o design instrucional for suficientemente eficaz a ponto de reduzir a carga extrínseca, os recursos que sobram podem ser alocados para a carga germânica e serão aplicados na aquisição de novos e mais complexos esquemas.

Por sua vez, os esquemas adquiridos reduzem a carga intrínseca, libertando recursos para que o aluno possa utilizar os novos esquemas na aquisição de mais conhecimento, como esquematizamos na Figura 3.

Figura 3

Representação esquemática da relação entre a memória de trabalho, os diferentes tipos de carga cognitiva e a qualidade da aprendizagem.



Este ciclo permite aumentar o nível de perícia na área de estudo (Paas et al., 2004; Sweller et al., 2011). Contudo, é importante conhecer o nível de proficiência do aluno para que as atividades sejam desenhadas de maneira a gerir a carga cognitiva da melhor forma. Kalyuga et al. (2003) descreveram o efeito de reversão de perícia (*expertise reversal effect*) – que será abordado com mais pormenor mais adiante – segundo o qual o tipo de atividades que impõem carga germânica sobre um aluno iniciante podem assumir um caráter extrínseco para um perito e vice-versa.

Teoria da Sobrecarga Cognitiva: implicações instrucionais

Baseando-nos no que já foi apresentado a respeito da forma como adquirimos conhecimento (Arquitetura Cognitiva Humana), podemos inferir que o principal objetivo da instrução é facilitar a aquisição de conhecimento biologicamente secundário de domínio específico, promovendo o seu armazenamento na memória de longo prazo a fim de poder vir a ser posteriormente utilizado (Sweller et al., 2011). Contudo, a informação só pode ser armazenada depois de processada pela memória de trabalho, cuja capacidade é limitada. Esta limitação apenas deixa de se fazer sentir quando a informação armazenada é mobilizada na aquisição de novo conhecimento a partir da memória de longo prazo. A importância da memória de trabalho na aquisição de conhecimento e as suas limitações ao lidar com novo conhecimento fazem dela um alvo significativo de atenção e cuidado na definição de estratégias de aprendizagem.

A carga imposta sobre a memória de trabalho está relacionada com duas situações: a primeira é a natureza intrínseca da informação a adquirir (independentemente dos processos instrucionais utilizados na sua aquisição) – carga cognitiva intrínseca; a segunda está relacionada com os procedimentos instrucionais usados na apresentação da informação ou nas atividades que os alunos têm de executar durante o processo de aprendizagem. Este último tipo de carga cognitiva pode impor um fardo desnecessário quando as estratégias implicam o processamento simultâneo de muitos elementos novos em interação, quando não são orientadas no sentido de promover a aquisição ou automatização de esquemas (carga cognitiva intrínseca) ou ainda quando apresentam a informação de forma redundante a alunos com maior grau de proficiência. Neste último caso, é imposta uma carga cognitiva desnecessária, pois a informação instrucional tem de ser comparada com a pré-existente e processada de

modo a promover a integração nos esquemas pré-adquiridos (Sweller, 2016; Kalyuga et al., 2003).

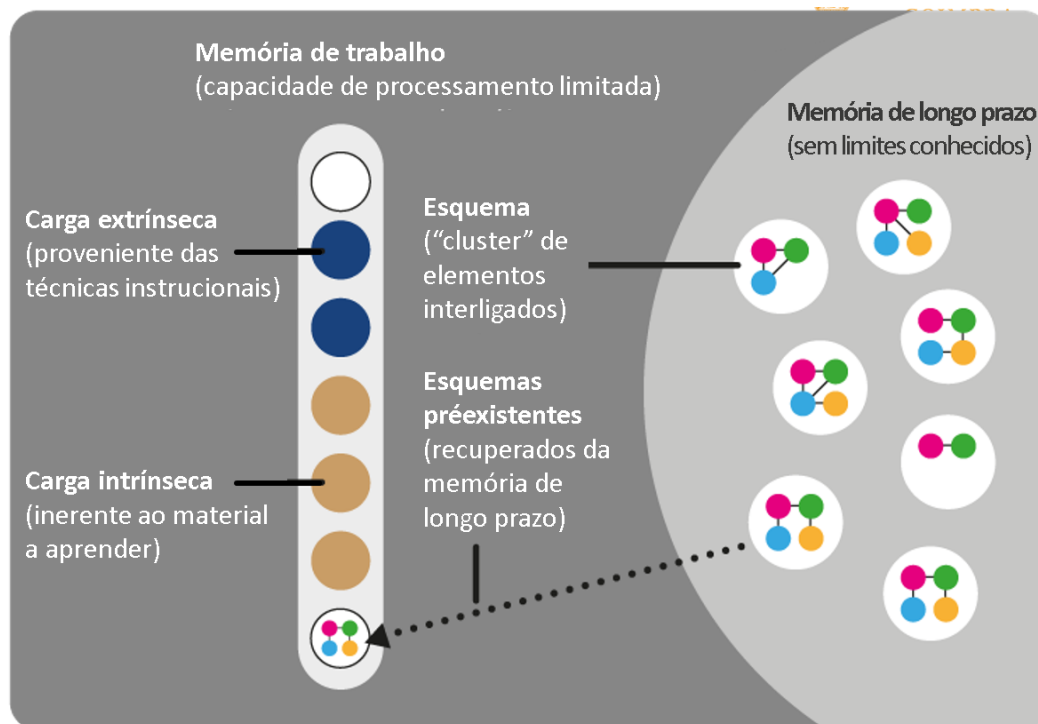
A importância da automatização de esquemas

Após a aquisição e processamento da nova informação, esta é armazenada na forma de esquemas (Rumelhart, 1980). Os esquemas (já aqui referidos) permitem organizar a informação em elementos de conhecimento relacionados e organizados que são usados como uma só entidade no processo de aquisição de novo conhecimento, permitindo a redução da carga cognitiva durante o processo de aprendizagem. Cada esquema pode funcionar como base na aquisição de esquemas progressivamente mais abrangentes à medida que a aprendizagem vai evoluindo ou incorporado noutros esquemas já existentes que se vão amplificando, potencialmente sem limites à sua complexidade informal (Sweller et al., 1998). (Figura 4). Esta organização crescente da informação em elementos que passam a funcionar como um só é fundamental para permitir a aquisição de conhecimento complexo, como é o caso do conhecimento biologicamente secundário – aquele que é transmitido de maneira formal nas nossas instituições de ensino.

Uma vez adquirido um esquema, o recurso a ele de forma sistemática, como acontece quando praticamos determinado tipo de raciocínio ou habilidade (como tocar uma escala num instrumento musical, por exemplo), torna-o cada vez mais automático. O recurso à informação passa a ser feito de forma rápida e inconsciente, permitindo a libertação dos recursos da memória de trabalho.

Figura 4

Relação entre a mobilização de esquemas durante o processamento e a capacidade da memória de trabalho.



Nota. Adaptado de National Centre for Computing Education (2019) [Diagrama]

https://blog.teachcomputing.org/podcast_ep3_cognitive_load_theory_in_computing/

Kotovsky et al., em 1985 (conforme descrito em Sweller, 1998) demonstraram a importância da utilização de regras automatizadas na resolução de problemas. Apresentaram problemas estruturalmente idênticos que apenas diferiam na sua estrutura superficial, isto é, na sua descrição. Os sujeitos a quem foram atribuídos problemas que incluíam descrições familiares (que podiam ser processadas de forma automática) tiveram melhor desempenho que os restantes. A falta de ligação com procedimentos conhecidos implica um maior processamento consciente, ficando a

memória de trabalho ocupada com as regras de resolução em vez de ser aplicada na procura da solução em si. Verificaram também que as diferenças no desempenho se atenuavam quando era pedido aos sujeitos que memorizassem regras menos familiares. Daqui se percebe a importância de desenhar procedimentos instrucionais que visem dar primazia à construção e automatização de esquemas, no sentido de minimizar a carga cognitiva imposta pela integração de grandes quantidades de nova informação, sobretudo quando o aluno ainda não tem um elevado grau de proficiência na área em estudo (Paas et al., 2004).

No entanto, a redução da carga cognitiva por si só pode não ser benéfico, sobretudo nos casos em que o grau de proficiência do aluno já aumentou e a capacidade da memória de trabalho ainda lhe permite a alocação de recursos (isto é, não foi excedida), sendo ainda possível gerir de forma eficaz a carga cognitiva. Enquanto for possível esta gestão, não é o nível de carga cognitiva que é importante, mas a sua fonte (Paas et al., 2004). A carga cognitiva terá efeitos prejudiciais na aprendizagem se for proveniente de processos que interfiram com a construção e automatização de esquemas (carga extrínseca), mas se for proveniente de atividades mentais que o promovam (carga germânica) o efeito será o oposto, isto é, facilitará a aprendizagem (Sweller et al., 2011).

Em suma, para que a aprendizagem eficaz é importante que o design instrucional tenha em conta atividades que permitam uma redução da carga cognitiva extrínseca (com vista à libertação de recursos da memória de trabalho), mas ao mesmo tempo que os materiais possam ser apresentados de maneira a manter carga germânica o mais elevada possível dentro dos limites da capacidade da memória de trabalho.

Efeitos da Teoria da Sobrecarga Cognitiva e procedimentos instrucionais

Baseados nos pressupostos da TSC, Sweller et al. (1998, 2011) descreveram um conjunto de efeitos com base em pesquisa experimental sobre procedimentos instrucionais que demonstraram ser mais facilitadores da aprendizagem relativamente a outros procedimentos mais tradicionais. A descrição destes efeitos e das consequências instrucionais que deles advêm permite, por um lado, fortalecer a TSC, já que foram aplicados com o intuito de reduzirem a carga cognitiva e, por outro, permitir o desenho de procedimentos instrucionais mais eficazes.

Com base nos trabalhos de Sweller et al. (2011) serão descritos os principais efeitos e suas consequências instrucionais, sem nos debruçarmos de forma aprofundada sobre a pesquisa de dados empíricos em que os autores se basearam para os descrever.

Efeito dos Problemas Sem Metas Específicas (*Goal-free problems*).

Os problemas sem metas específicas são apontados como mais favoráveis à aprendizagem do que os problemas que são colocados com o objetivo de levar o estudante a atingir uma meta específica – por exemplo, num típico problema de geometria, a forma de colocar o problema mudaria de “calcula o ângulo ABC” (problema com meta específica) para “calcula o máximo de ângulos que fores capaz” (problema sem meta específica). De acordo com a pesquisa analisada por Sweller et al. (1998, 2011), isto acontece porque os alunos iniciantes tendem a resolver o problema partindo do objetivo final e à procura de uma solução que permita aí chegar através de uma estratégia de análise de meios e fins. Este tipo de estratégias para resolver um problema envolve uma grande carga cognitiva sobre a memória operativa, pois implica que o aluno tenha presente o ponto de partida, o objetivo final, as relações entre ambos, operadores que permitam reduzir a diferença entre a partida e a chegada e ainda

sub-objetivos que permitam avançar no caminho para o objetivo final. Todos estes elementos estão em interação durante o processo de resolução do problema, criando uma carga cognitiva demasiado elevada. Além disso, andar para trás a partir do objetivo final implica que exista conhecimento desse mesmo objetivo, coisa que não existe quando o problema se coloca. Como consequência, também não é possível reduzir a diferença para um objetivo final que não se conhece.

Os peritos, por outro lado, usam uma estratégia diferente. Partem do problema inicial e já conhecem os esquemas que lhes permitem, perante os dados fornecidos, chegar a um objetivo final. A utilização de esquemas armazenados na memória de longo prazo permite a utilização de uma carga cognitiva mínima sobre a memória de trabalho. Por isso, para alunos iniciantes, a utilização de problemas sem objetivos específicos definidos permite que o processo de aprendizagem não fique dominado pela busca de um caminho que permita unir o ponto de partida e o de chegada. O aluno ficará mais focado apenas na forma de sair do estado inicial, isto é, na construção de esquemas de resolução. Os únicos elementos em interação serão os dados iniciais e o tipo de movimentos possíveis, reduzindo a carga cognitiva extrínseca e potenciando uma aprendizagem mais eficaz, já que permite a aquisição de esquemas para a memória de longo prazo (facilitando a futura resolução de problemas). Esses esquemas são adquiridos pela indução das regras necessárias para a partida de um estado inicial, informação que poderá ser aplicada posteriormente em situações similares.

No entanto, segundo Sweller et al. (2011), esta estratégia apenas é mais eficaz quando aplicada à área da matemática e das ciências, e apenas é facilitadora da aprendizagem quando existe um número limitado de opções possíveis de partida do estado inicial. Quando os problemas são mais abrangentes e o número de opções possíveis é muito elevado, muitas das opções não serão relevantes para a aprendizagem, reduzindo assim a eficácia da estratégia.

Efeito dos Exemplos Trabalhados (*Worked Examples Effect*). A técnica dos exemplos trabalhados consiste em dar previamente aos alunos a solução para um determinado problema, solução essa que deverá ser por eles estudada e trabalhada no sentido de ser interiorizada para posterior aplicação a problemas semelhantes. Os alunos são focados numa determinada tipologia de problemas e nos operadores (isto é, passos de resolução) que lhe estão associados. Esta técnica permite a redução da carga cognitiva pois, de acordo com o preconizado pela arquitetura cognitiva humana, maximiza o princípio do empréstimo e da reorganização, permitindo a aquisição de esquemas para a resolução de problemas que ficarão armazenados na memória de longo prazo. Esses esquemas são futuramente mobilizados, de acordo com o Princípio do Empréstimo e Reorganização, reduzindo a carga cognitiva imposta na mobilização da nova informação. Se bem trabalhados, esses esquemas vão acabar por ser automatizados, permitindo uma maior rapidez na resolução de problemas futuros. Apesar de a automatização de esquemas ser um processo demorado, vale a pena o investimento pelos resultados que produz a longo prazo. Zhu e Simon (1987, conforme citado por Sweller et al., 2011) demonstraram num estudo realizado com alunos chineses que, ao substituírem as palestras e outras atividades tradicionais do ensino da matemática por exemplos trabalhados, se conseguia ensinar em dois anos e com melhores resultados o mesmo curso que tradicionalmente era lecionado em três. De facto, comparando esta estratégia com a estratégia alternativa de análise de meios e fins na resolução de problemas, esta última impõe uma maior carga cognitiva, pois implica a interação simultânea de vários elementos, de acordo com o princípio da geração aleatória.

De acordo com as evidências empíricas analisadas por Sweller et al. (1998, 2011), embora esta técnica seja facilitadora da aprendizagem para alunos numa fase inicial, o

mesmo não se aplica a alunos mais avançados, pois não requer a integração com conhecimento pré-existente nem a análise de informação redundante, o que resulta numa diminuição da carga germânica, importante para manter o aluno interessado e motivado na aprendizagem (ver adiante o efeito de reversão da perícia – *expertise reversal effect*).

Efeito dos Problemas de Conclusão (*Completion Problems Effect*).

Os problemas de conclusão, ao contrário dos problemas de exemplos trabalhados, em vez da solução completa para o problema, apresentam apenas parte da solução e o objetivo e os alunos procuram a parte da solução que falta. Neste caso, os alunos são obrigados a estudar bem a parte da solução apresentada (isso pode não acontecer nos problemas de exemplos trabalhados), caso contrário não serão capazes de completar o problema de forma correta. Este tipo de problemas foi sugerido para ser aplicado na área da programação informática por van Merriënboer e Krammer (1987, conforme referido por Sweller et al., 2019), em que são dados aos alunos programas incompletos que devem terminar. Esta estratégia pode ser usada com graus crescentes de conclusão em falta, adaptados aos progressos feitos pelos alunos ao longo do tempo (Sweller et al., 2019). À semelhança do que foi descrito para o Efeito dos Exemplos Trabalhados, a estratégia dos problemas de conclusão permite também a aquisição de esquemas e consequente redução da carga sobre a memória de trabalho.

Segundo Sweller et al. (2011), algumas vozes críticas da TSC consideram que a estratégia dos exemplos trabalhados remete para uma aprendizagem passiva. Não obstante, a estratégia da utilização dos problemas de conclusão é apontada como uma possível solução para contornar essa questão quando a mesma se coloca.

Efeito da atenção dividida (*Split-Attention Effect*). Este efeito faz-se sentir quando a informação que é dada ao aluno se apresenta sob mais do que uma forma, sendo todos os elementos necessários para compreender a informação como um todo. Neste caso, para chegar à solução, o aluno é forçado a dividir a sua atenção entre os diferentes elementos apresentados (por exemplo, uma figura e a sua explicação), integrando a informação presente em cada um, já que por si só nenhum elemento é suficiente para alcançar um resultado final satisfatório. Esta integração mental resulta numa maior carga cognitiva que pode exceder a capacidade da memória de trabalho e prejudicar a aprendizagem (Sweller et al., 2011). Para evitar este efeito é necessário prestar particular atenção à distribuição espacial e temporal das diferentes modalidades sensoriais (auditiva e visual) de informação. Por exemplo, Mayer e Anderson (1992, conforme citado por Sweller et al., 2019) demonstraram que uma animação e a sua narração apenas facilitam a aprendizagem se estiverem coordenadas temporalmente.

Efeito da Redundância (*Redundancy Effect*). Este efeito ocorre quando a informação apresentada ao aluno é redundante, ou seja, quando é apresentada a partir de diversas modalidades sensoriais (ou multimédia) que, por si só, seriam suficientes para permitir ao aluno chegar ao resultado final e à resposta para o problema. O processamento deste tipo de informação requer maior carga cognitiva, pois implica que os alunos sejam capazes de perceber que (e qual) informação das duas fontes/modalidades é idêntica.

Em conjunto, o Efeito da Atenção Dividida e o Efeito da Redundância são importantes para o design instrucional na medida em que indicam que, nos casos em que é necessário apresentar informação sob diversas modalidades com recurso a diversas fontes multimédia, para que a aprendizagem seja eficaz, os diferentes elementos de informação devem não ser redundantes e os elementos que devem ser

considerados simultaneamente devem ser apresentados de forma a reduzir ao máximo qualquer tipo de separação espacial ou temporal entre si (Sweller et al., 2011).

Efeito da Modalidade (*Modality Effect*). Este efeito baseia-se no pressuposto de que a memória de trabalho pode ser dividida em dois tipos de processadores: um relacionado com a memória de trabalho auditiva (que lida com informação verbal) e outro relacionado com a memória de trabalho visual (que lida com informação pictórica). Neste sentido, é possível aumentar a capacidade da memória de trabalho se os dois processadores forem usados simultaneamente.

Este efeito tem uma consequência instrucional importante: ao apresentar um diagrama (ou figura), se a sua explicação verbal a acompanhar, estaremos a estimular o uso dos dois processadores da memória de trabalho, reduzindo a sobrecarga cognitiva que poderá advir do efeito da atenção dividida. Contudo, mesmo quando um diagrama é apresentado aos alunos e acompanhado de uma explicação verbal, os alunos ainda assim necessitam de percorrer visualmente o diagrama, procurando os elementos que estão a ser explicados. Esta estratégia só é eficaz se os alunos forem capazes de reter a informação auditiva enquanto procuram a informação visual que lhe refere. Se a busca pela informação visual relevante for demasiado complexa ou extensa, a aprendizagem poderá não ser eficaz pela sobrecarga cognitiva que pode ocorrer. Assim, este tipo de apresentação de informação requer que sejam utilizadas outras técnicas acessórias para atrair a atenção do aluno para as secções do diagrama que estão a ser alvo de explicação (Sweller et al., 2019).

Utilizar instruções audiovisuais é uma boa forma de lidar com o efeito da atenção dividida, mas é uma técnica que apenas se revela eficaz se efetivamente for aplicada de modo a se conseguir reduzir a carga cognitiva externa. Sweller et al. (2011) elencaram um conjunto de condições necessárias para que tal aconteça, a saber:

a) As informações visuais e textuais devem ser co-referentes e não independentes, isto é, terão de ser processadas em conjunto para que possam ser verdadeiramente entendidas.

b) A interação entre os elementos deve ser elevada, a fim de se poder atingir o Efeito da Modalidade.

c) A informação auditiva deve ser limitada, para que possa ser facilmente retida e rapidamente processada na memória de trabalho, evitando a sua sobrecarga. No caso de a informação acessória à imagem ser longa ou complexa, esta deverá ser apresentada na forma escrita.

d) Os diagramas ou esquemas demasiado extensos ou complexos devem ser acompanhados de elementos que auxiliem os alunos a focarem-se nos elementos visuais que vão sendo progressivamente alvo de explicação verbal.

Reunidas estas condições, a pesquisa revista pelos autores revela maior vantagem na apresentação de informação sob a forma visual combinada com verbal do que apenas sob a forma visual, pois a utilização combinada dos processadores visuais e auditivos permite evitar a sobrecarga de qualquer um quando usado de forma isolada. No entanto, os princípios acima enunciados relativos à apresentação multimédia devem ser respeitados. O ensino da matemática e das ciências são bons exemplos de áreas onde estas condições facilmente se concretizam (Sweller et al., 2011).

Efeito da Variabilidade (*Variability Effect*). Este princípio baseia-se em resultados de investigações que mostram que um aumento na variabilidade da informação permite que a aprendizagem seja mais abrangente, desde que existam recursos cognitivos suficientes disponíveis na memória de trabalho (Sweller et al., 2019). Este aumento da variabilidade aumenta a carga sobre a memória de trabalho, não a diminui. Apesar disso, Paas e van Merriënboer, em 1994 (conforme descrito em Sweller

et al., 2019), à luz da TSC, explicaram que o efeito produz resultados que potenciam a aprendizagem desde que a carga cognitiva extrínseca se mantenha baixa e os valores totais de carga se mantenham dentro do aceitável, apesar do aumento da carga intrínseca acrescentado pela variabilidade do material apresentado. Caso o aumento da carga intrínseca seja demasiado elevado, sendo suplantada a capacidade da memória de trabalho, o efeito será o oposto na qualidade da aprendizagem. Assim, o design instrucional terá resultados mais eficazes se, para além da diminuição da carga cognitiva extrínseca, tiver em conta um aumento da carga germânica, desde que a carga cognitiva total não suplante as limitações da memória de trabalho (Sweller et al., 2019).

Efeito da Interatividade Entre Elementos (*Element Interactivity Effect*).

O grau de interatividade entre os elementos que são necessários processar simultaneamente na memória de trabalho determina grandemente a sua capacidade. Se a interatividade for muito grande, a carga intrínseca do material a aprender é maior, logo, são necessários mais recursos para que os diversos elementos sejam processados de forma simultânea. O mesmo acontece quando as instruções de aprendizagem requerem que vários elementos sejam processados de forma simultânea. Reduzindo o grau de interatividade entre elementos, a carga total é reduzida, libertando os recursos da memória de trabalho (Sweller et al., 2011).

O grau de interatividade entre elementos pode ser reduzido de várias formas: alterando o material apresentado aos alunos, ou alterando o grau de proficiência dos mesmos.

Na apresentação da informação ao aluno é importante que a mesma não se torne ela própria mais um elemento novo de processamento necessário para que o aluno possa fazer a aprendizagem de forma eficaz. Se a informação for apresentada de maneira que o seu processamento recorra a esquemas pré-existentes, reduz-se o grau de

interatividade e libertam-se recursos da memória de trabalho necessários para a aprendizagem. Um bom exemplo são os trabalhos de Marcus et al. (1996, conforme citado em Sweller et al., 2011), que apresentaram a alunos dos primeiros anos de escolaridade problemas de resistência elétrica sob a forma de diagramas e sob a forma de texto. Os diagramas, que incorporavam vários elementos em interatividade, por serem mais familiares aos alunos, eram processados como um todo com base em esquemas pré-existentes. As instruções dadas na forma de texto incluíam os mesmos elementos, mas que, por serem apresentados numa forma menos familiar, eram processados de forma individual, aumentando o número de elementos em interatividade e conseqüentemente a carga cognitiva sobre a memória de trabalho. A dificuldade em perceber as instruções teve como consequência a obtenção de piores resultados. Daqui também se pode concluir que a apresentação da informação na forma de diagramas favorece a compreensão, quando comparada com a apresentação da mesma informação na forma de texto, já que permite a integração da nova informação em esquemas em vez do processamento individual de vários elementos novos em interação (Sweller et al., 2011).

O grau de interatividade entre os elementos apresentados durante a instrução é dependente também do grau de proficiência dos alunos. À medida que os alunos vão evoluindo no conhecimento, elementos interrelacionados são incorporados em esquemas pré-existentes e passam a ser tratados pela memória de trabalho como um só. A interatividade entre elementos deixa, por isso, de ser relevante no acréscimo de carga cognitiva na instrução à medida que a perícia do aluno na área aumenta (Sweller et al., 2011).

Efeito da Reversão de Perícia (*Expertise Reversal Effect*). Este efeito ocorre quando a um aluno com elevado grau de perícia numa determinada área é apresentada informação de forma demasiado básica, o que muitas vezes ocorre quando se procura reduzir ao mínimo a carga cognitiva extrínseca. Neste caso, o aluno (que já possui esquemas pré-adquiridos naquela área de conhecimento) é confrontado com informação que para si é redundante. Com base no Princípio da Aquisição e Reorganização (já discutidos na apresentação da Arquitetura Cognitiva Humana) a nova informação é processada de novo, comparada e integrada com a já existente, o que resultará numa carga cognitiva extrínseca desnecessária (Kalyuga et al., 2003; Sweller et al., 2011). É importante que os procedimentos instrucionais tenham em conta o nível de perícia dos alunos na área, pois um procedimento que vise reduzir a carga extrínseca ao mínimo poderá ser bom para um aluno com um grau de proficiência mais baixo, mas prejudicial para alunos mais proficientes, que beneficiarão de estratégias mais desafiantes como, por exemplo, as que são baseadas na resolução de problemas (Kalyuga et al., 2003).

Efeito dos Elementos Isolados (*Isolated Elements Effect*). De acordo com este efeito, a apresentação de material complexo na forma de elementos isolados, ignorando as relações entre eles, pode reduzir a carga cognitiva extrínseca em alunos com uma baixa proficiência em determinada área. Este tipo de apresentação de informação permite que cada elemento seja processado de forma isolada, construindo esquemas parciais com pouca carga sobre a memória de trabalho. Após a aquisição de vários esquemas parciais, a relação entre os elementos pode ser aprendida depois, integrando os esquemas simples inicialmente isolados em esquemas mais complexos que reflitam a ligação entre os diferentes elementos.

Tendo em conta o que foi acima descrito no Efeito da Reversão de Perícia, este tipo de design instrucional não se aplica a alunos com elevado grau de proficiência, pois

os esquemas que já possuem a respeito do assunto abordado permitem o processamento da totalidade da interação entre os diversos elementos (Sweller et al., 2011).

Efeito do Desvanecimento de Informação (*Guidance-Fading Effect*).

De acordo com o preconizado pelo Princípio da Redução da Perícia, apoiado na Arquitetura Cognitiva Humana e TSC, os alunos iniciados beneficiam de uma redução da carga cognitiva extrínseca imposta pelo design instrucional, conseguida à custa de um maior apoio durante a instrução e redução da interatividade entre elementos instrucionais, enquanto que os alunos com maior grau de proficiência são prejudicados com este tipo de procedimentos instrucionais, pois resultam em redundância com os esquemas que já têm pré-adquiridos e conseqüentemente em carga cognitiva desnecessária. Vindo ao encontro destas premissas, o Efeito do Desvanecimento de Informação consiste numa adequação do procedimento instrucional ao aumento do grau de perícia do aluno à medida que a aprendizagem vai ocorrendo, diminuindo progressivamente (e de forma estruturada) técnicas de maior diretividade instrucional e aumentando o grau de interatividade entre elementos (Sweller et al., 2011, 2019). Sweller et al. (2011) referem alguns exemplos da forma como esta transição pode ser feita. Um desses exemplos consiste em partir de uma técnica de exemplos trabalhados que evoluem para problemas de conclusão com graus crescentes de lacunas de informação até se atingir uma aprendizagem por descoberta inteiramente baseada na resolução de problemas. Segundo os autores, este efeito assume particular importância em programas educacionais temporalmente mais longos.

Adaptação do design instrucional ao nível de proficiência dos alunos

A TSC distingue três tipos de carga cognitiva que interferem com o processo de aprendizagem, como já foi descrito: intrínseca, extrínseca e germânica. Se a carga intrínseca é própria do material a aprender (e por isso é independente dos métodos instrucionais), a carga extrínseca e germânica estão relacionadas com os métodos de ensino e, como tal, devem ser alvo de particular atenção no que respeita ao design instrucional escolhido para aplicar em cada circunstância. Apesar de tudo, o próprio design instrucional pode ser implementado de modo a reduzir a carga intrínseca (como previsto pelo Efeito dos Elementos Isolados).

Com base na TSC podemos identificar dois tipos de situações em que a aprendizagem pode ser comprometida: quando a carga cognitiva é demasiado elevada ou quando é demasiado baixa (como preconizado pelo Efeito da Reversão de Perícia). Para fazer face a esta premissa, as estratégias de aprendizagem deverão por isso centrar-se em atividades cognitivas que permitam, por um lado, aumentar a carga cognitiva para estimular o aluno quando a carga é demasiado baixa e, por outro, reduzir o excesso de carga cognitiva para níveis aceitáveis que permitam uma gestão eficaz da memória de trabalho quando esta se verifica (Paas et al., 2004). A redução da carga cognitiva para alunos iniciados pode ser alcançada através do recurso a técnicas como os exemplos trabalhados ou a apresentação de elementos isolados. À medida que o aluno evolui (e a carga extrínseca também, devido aos esquemas cognitivos entretanto adquiridos com procedimentos instrucionais mais simples), o recurso a elementos com maior interatividade ou a problemas de conclusão com graus crescentes de lacunas permite que, de acordo com o Efeito de Desvanecimento de Informação, haja a redução do apoio instrucional e aumento progressivo da carga germânica e ainda, indo ao encontro do preconizado no Efeito de Reversão da Perícia, manter o aluno mentalmente estimulado

sem carga cognitiva acessória provocada pela redundância da informação instrucional e pré-adquirida.

Perspetivas construtivistas da aprendizagem

O construtivismo é uma das teorias do conhecimento que mais influência tem tido nos sistemas educativos. Tem o aluno como ponto central do processo de aprendizagem e valoriza a descoberta como forma de alcançar o conhecimento. Pode assumir várias modalidades e variantes, mas tem raízes profundas na teoria de Piaget sobre o desenvolvimento cognitivo. A teoria desenvolvida por Piaget nos anos 50 e 60 do século XX procura explicar o desenvolvimento cognitivo das crianças. De acordo com o autor, os nossos processos cognitivos vão evoluindo ao longo da vida (desde o nascimento à maturidade) à medida que vamos procurando dar sentido ao mundo que nos rodeia, através da manipulação de objetos e da exploração do que é novo e não familiar. Contudo, esta mudança não é resultado de uma simples acumulação de conhecimento, mas sim de alterações no conhecimento já adquirido (Piaget, 1970).

O desenvolvimento cognitivo diz respeito à forma como os processos de pensamento das crianças mudam ao longo do tempo. Esse desenvolvimento pode ocorrer através de processos de maturação, aprendizagem ou de uma combinação de ambos (Sternberg & Williams, 2010). Entende-se por maturação qualquer mudança relativamente permanente (seja cognitiva, emocional ou física) que ocorre no decurso do envelhecimento biológico, independentemente da idade ou experiência pessoal. Centrando-nos na maturação cognitiva, esta é um processo pré-programado biologicamente e ocorre de forma independente das interações que a criança possa ter com o ambiente. Já a aprendizagem é uma alteração relativamente permanente no

comportamento que ocorre como resultado de uma experiência. Não estando biologicamente pré-programada, também não pode ocorrer na ausência de estímulo (Sternberg & Williams, 2010). A maturação é indissociável da aprendizagem, já que os processos de aprendizagem se encontram fortemente condicionados pela maturação cognitiva da criança.

À medida que a maturação biológica vai ocorrendo, também aumenta a capacidade de interagir com o ambiente físico e social. Desta interação surge a construção de esquemas – sistemas mentais de informação organizada. Os esquemas são considerados como os elementos básicos do pensamento, podem ser relacionados entre si e organizados em esquemas mentais de ordem superior, mais complexos, durante o processo de desenvolvimento cognitivo (Loewenstein, 1994).

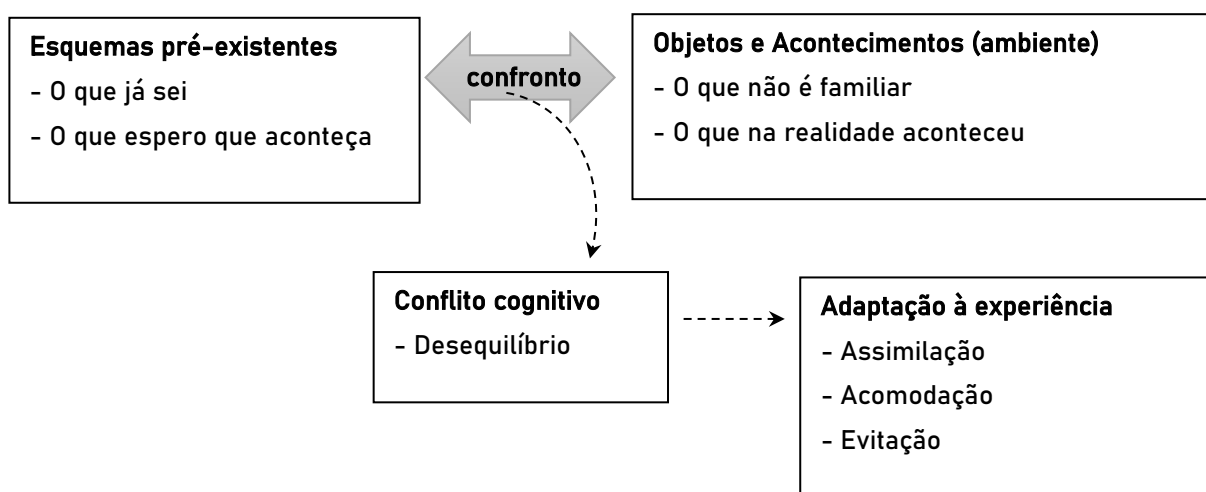
À medida que uma criança vai interagindo com o mundo, depara-se com situações que não correspondem às suas noções pré-concebidas de como o mundo deveria ser. Surge então um conflito cognitivo: o seu pensamento ou os seus esquemas pré-existentes não são consistentes com aquilo que experiencia na sua interação com o mundo. Segundo Piaget, este estado a que chamou de *desequilíbrio* é o que leva ao desenvolvimento cognitivo da criança, já que o desconforto provocado pelo *desequilíbrio* leva à necessidade de procurar o equilíbrio entre o que pensa e o que observa. Para alcançar esse equilíbrio, dois tipos de processos podem ocorrer, ambos envolvendo modificações nos esquemas cognitivos da criança: *assimilação* e *acomodação*.

No processo de *assimilação*, a criança tenta encaixar a nova informação nos esquemas que já tem formados e que são suficientes para compreender essa mesma informação. Na sua essência, o esquema original não é alterado, mas expandido para incluir a nova experiência e o resultado da sua reação. Quando os esquemas pré-existentes não são suficientes para explicar a nova experiência, ocorre *acomodação*.

Neste processo, o esquema existente é ele próprio modificado e dá origem a um novo esquema capaz de assimilar a nova informação e gerar uma resposta adaptativa (Figura 5). Quando o que se conhece não serve numa determinada situação, é necessário tentar algo novo. No fundo, é este o princípio subjacente à aprendizagem baseada na resolução de problemas.

Figura 5

Processo de desenvolvimento cognitivo. Quando o que a criança sabe não se encaixa no que observa, gera-se um desequilíbrio cognitivo. A tendência natural será a procura de um novo equilíbrio mental, que poderá ser alcançado por processos de assimilação e/ou acomodação (Adaptado de Tuckman & Moneti, 2011).



Num primeiro contacto com uma nova experiência, os indivíduos tenderão, inicialmente, a usar os seus esquemas existentes para a compreender (assimilação). Se este processo não resultar, modificarão os esquemas existentes até que estes atribuam sentido à informação (acomodação). Contudo, se a nova relação não tiver qualquer tipo de relação com nenhum esquema pré-existente, não é possível que ocorra nem assimilação nem acomodação. É o que acontece, por exemplo, com as crianças pequenas

que ainda não aprenderam a ler. À medida que folheiam um livro, ignoram (evitam) a informação escrita e concentram-se apenas nas ilustrações para contar a história.

O conjunto de todos os esquemas de um indivíduo constitui a sua inteligência. Neste sentido, o conceito não se refere à quantidade de conhecimento adquirido, mas sim aos mecanismos que permitem alcançar novo conhecimento. É conhecimento de ordem processual, saber como fazer. Quanto mais esquemas a criança adquire, maior é a sua capacidade de integrar nova informação. Por isso, o desenvolvimento cognitivo é fortemente influenciado pela maturação biológica. Piaget estabeleceu quatro estádios de desenvolvimento da inteligência das crianças (sensório-motor, pré-operatório, operações concretas e operações formais), cada um com os seus desafios, condicionados pelo estádio de maturação em que a criança se encontra.

A procura de equilíbrio cognitivo é um processo natural. O desequilíbrio gera desconforto e a busca da harmonia cognitiva serve de motivação para que o aluno busque, ele próprio, construir o seu conhecimento. A aprendizagem é, portanto, um processo construtivo (Piaget, 1973). Para que a assimilação e a acomodação possam ocorrer, é necessário que o aluno tenha um papel ativo, pois as competências de resolução de problemas não podem ser ensinadas, têm de ser descobertas (Piaget & Inhelder, 1958). Assim, a contribuição dos professores para a aprendizagem do aluno passa por lhes propiciar contacto com materiais ou situações que promovam o conflito cognitivo, conferindo ao aluno o tempo e oportunidade para explorar a nova situação em que se vê colocado até encontrar sentido para o que é novo, diferente ou interessante.

Métodos decorrentes das perspectivas construtivistas da aprendizagem: a descoberta, as questões e a resolução de problemas

Todas as variantes do construtivismo têm como fator comum a centralidade do aluno no processo de aprendizagem, construtor do seu próprio conhecimento com base nas atividades que desenvolve (Bidarra & Festas, 2005). Neste sentido, as concepções construtivistas da aprendizagem opõem-se a outras mais tradicionais, em que o professor tem o papel central de transmissor de conhecimento. Defendem-se os métodos ativos de aprendizagem, não diretivos e centrados no aluno. É neste tipo de metodologias que se enquadra a aprendizagem por descoberta (*discovery learning*), a aprendizagem baseada em questões (*inquiry-based learning*) e a aprendizagem baseada na resolução de problemas (*problem-based learning*).

Aprendizagem por descoberta (*discovery learning*). Este tipo de metodologia pressupõe que a informação essencial para a aprendizagem não é fornecida ou apresentada ao aluno por terceiros. É ao próprio aluno que cabe descobrir ou construir a informação necessária para a aquisição da aprendizagem desejada, de forma independente e com base apenas no material que pesquisa ou lhe é fornecido com esse fim (Bruner, 1961; Alfieri et al., 2011). Dentro da aprendizagem por descoberta, é ainda possível fazer a distinção entre a descoberta pura (minimamente orientada pelo professor) e a descoberta guiada.

No caso da aprendizagem por descoberta pura é pedido aos alunos que descubram por si mesmos as regras ou princípios apenas com base em materiais fornecidos e a orientação dada pelo professor é mínima ou inexistente (Bruner, 1961; Tobias e Duffy, 2009). Esta metodologia é apoiada por construtivistas que argumentam

que a descoberta pura permite criar as condições de manipulação, experimentação e testagem de hipóteses, enquanto desenvolvem competências de raciocínio científico (Bruner, 1961; Kuhn, 2007). Contudo, outros autores referem que os alunos envolvidos neste tipo de aprendizagem frequentemente se sentem perdidos e frustrados ao longo do processo, assim como constroem conceitos errados devido à sua confusão ou incapacidade de interpretação da informação recolhida (Brown & Campione, 1994; Mayer, 2004).

O segundo tipo de aprendizagem por descoberta – descoberta guiada – admite que o professor tenha um papel mais interventivo na aprendizagem do aluno, fornecendo pistas e orientando a atividade do aluno no processo de resolução de um problema ou de procura de uma explicação para um fenómeno, evitando sentimentos de frustração quando os alunos se sentem perdidos e evitando a construção de conceitos erróneos (Alfieri *et al.*, 2001).

Aprendizagem baseada em questões (*inquiry-based learning*). Neste tipo de aprendizagem, as questões são o ponto de partida para a ação do aluno. É colocada uma questão inicial, central, à qual se procurará dar resposta. O aluno, após uma pesquisa inicial, formula hipóteses que serão posteriormente por ele testadas e validadas. Para além da questão inicial, o professor pode ir colocando outras questões que possam orientar a ação do aluno. Este reflete, não só nas questões que lhe são colocadas, mas também em todo o processo de raciocínio. Ao professor cabe o papel de orientar o raciocínio do aluno (através das questões que vai colocando) e monitorizar o seu processo (Lashley *et al.*, 2002, citados por Moreno, 2010, p.300).

Aprendizagem baseada na resolução de problemas (*problem-based learning*).

Em 1910, John Dewey propôs que a resolução de problemas é um processo cognitivo deliberado que consiste em: reconhecer a existência de um problema, desenvolver hipóteses de resolução desse problema, testar as hipóteses formuladas e selecionar a alternativa mais apropriada para a resolução do problema inicial (Moreno, 2010). Esta foi a base para uma metodologia de ensino baseada nos mesmos princípios. Neste tipo de abordagem os alunos trabalham em grupos de aprendizagem colaborativa para resolver um problema complexo e pouco estruturado, com base nas premissas estabelecidas por Dewey. No caso específico do ensino das ciências, os professores apresentam aos alunos um problema científico e fornecem os materiais de pesquisa necessários para que os alunos, após identificarem o problema inicial, efetuem pesquisa para formular hipóteses, discutem as falhas no seu entendimento a respeito do assunto, desenham um plano para aprender a respeito das suas falhas identificadas e aplicam o conhecimento que construíram na resolução do problema. O professor deverá, à semelhança do preconizado nos modelos anteriormente descritos (aprendizagem por descoberta guiada e aprendizagem baseada em questões), orientar e apoiar a ação dos alunos, neste caso através da combinação de técnicas como a colocação de questões orientadoras, modelação ou fornecimento de pistas. À medida que os alunos evoluem no conhecimento, espera-se que o apoio dado pelo professor seja gradualmente reduzido, embora continue a monitorizar o progresso dos alunos durante o resto do processo (Hmelo-Silver, 2004).

Métodos de ensino: a instrução e a descoberta

Em Portugal, o Perfil dos Alunos à saída da Escolaridade Obrigatória (PASEO), publicado pela Direção Geral de Educação em 2018, encontra-se organizado em Valores, Princípios, Valores e Competências. De acordo com o documento, “as Áreas de Competências agregam competências entendidas como combinações complexas de conhecimentos, capacidades e atitudes que permitem uma efetiva ação humana em contextos diversificados”. De acordo com o documento citado, estas Áreas de Competência encontram-se em linha com que é preconizado pela OCDE. Assumindo então as competências como sendo combinações complexas de conhecimentos, capacidades e atitudes, um ensino que seja nelas baseado exige a aquisição de processos cognitivos complexos. Pede-se ainda no PASEO que o aluno seja capaz de aplicar essas competências em contextos diversificados, a situações concretas que lhe permitam a tomada de decisão em situações dotadas de novidade ao longo da sua vida (Direção Geral da Educação, 2017). Recordando o que foi apresentado relativamente ao papel da memória de trabalho na secção sobre Arquitetura Cognitiva Humana e à sua limitação na secção sobre Teoria da Sobrecarga Cognitiva, podemos inferir que o grande desafio dos métodos de instrução é serem capazes de desenvolver no aluno tais capacidades complexas de modo eficaz e duradouro no tempo sem comprometer as limitações inerentes à sua memória de trabalho.

No documento das Aprendizagens Essenciais (AE) para a disciplina de Ciências Naturais (3.º ciclo), ao definir as Aprendizagens Essenciais Transversais (AET), pede-se que o professor tenha em conta na definição das suas metodologias “processos de

ensino centrados nos alunos para que estes se assumam como agentes ativos na construção do seu próprio conhecimento, pesquisando e organizando informação, analisando e interpretando dados, planificando e executando atividades práticas” (Direção Geral da Educação, 2018a). Esta premissa facilmente nos remete para as metodologias de aprendizagem por descoberta, alinhadas com os princípios construtivistas, que salientam o papel ativo do aluno na construção do seu próprio saber no decurso do processo de ensino-aprendizagem (Bruner, 1961). Ao longo das últimas décadas, este tipo de abordagens tem vindo a conquistar adeptos e lugar face às abordagens tradicionais. Esta dominância expressa-se nas ideias que servem de base aos documentos de referência da ação educativa (nomeadamente as AE para as diferentes disciplinas e anos de escolaridade e o PASEO) e à formação de professores (Bidarra & Festas, 2005). Contudo, com a evolução do conhecimento relativo à arquitetura humana e o postular da Teoria da Sobrecarga Cognitiva, muitos são os que advogam que métodos mais diretivos poderão ser mais eficazes no que toca à instrução formal (Khlar & Nigham, 2004; Mayer, 2004; Kirshner et al., 2006). Estes autores vêm reacender a discussão aberta por trabalhos de pesquisa que mostram a superioridade dos métodos mais diretivos, como os de Adams & Engelman (1996) ou de Alfieri et al. (2011).

A Instrução Direta (ID) refere-se a uma abordagem do ensino em que o professor assume um papel central enquanto promotor da nova aprendizagem. A ele cabe a apresentação do conteúdo e a promoção da testagem da sua compreensão por parte do aluno através de uma prática orientada. Esta metodologia é, portanto, centrada nos conteúdos académicos que, sendo apresentados em pequenas unidades, serão mais facilmente assimilados pelo aluno, gerando neste um clima de afeto positivo relativamente ao processo de aprendizagem (Festas, 1998).

Rosenshine e Stevens (1986) descreveram um modelo geral de ensino por ID.

Esse modelo de ensino baseia-se em seis etapas (cf., também, Festas, 1998):

1. Revisão e avaliação do trabalho do dia anterior (e novo ensino, se necessário);
2. Apresentação de novos conteúdos;
3. Prática guiada (e avaliação da compreensão);
4. Correção e *feedback* (e novo ensino, se necessário);
5. Prática autónoma;
6. Revisões semanais e mensais.

Na primeira etapa – Revisão e avaliação do trabalho do dia anterior, através de estratégias como, por exemplo, a correção dos trabalhos de casa ou a colocação de questões sobre o trabalho do dia anterior, os alunos recordam as aprendizagens realizadas e o professor pode detetar e ajudar as eventuais dificuldades que os alunos ainda manifestem.

Na segunda etapa, passando para a apresentação de novos conteúdos, o professor deverá primeiramente apresentar claramente os objetivos de aprendizagem e a estrutura da lição. A subsequente apresentação dos novos conteúdos deverá ser estruturada em pequenas unidades e efetuada por pequenos passos que permitam aos alunos acompanhar o desenrolar das atividades. O realce dos pontos essenciais deverá ser sempre efetuado e o recurso a materiais concretos, exemplos e demonstrações são recursos indicados como facilitadores da compreensão. Seguidamente, o professor deverá colocar questões no sentido de verificar se todos os alunos compreenderam todos os conceitos e noções associados à matéria apresentada. Este é um pré-requisito essencial para o prosseguimento para a fase seguinte.

Na terceira etapa – Prática guiada, o professor deverá orientar os alunos na aplicação prática das aprendizagens já feitas e treino das competências adquiridas. Durante o processo, o professor deverá também ir avaliando o desempenho de todos os alunos (através, por exemplo, da colocação de questões), dando retorno ao aluno e ajudando-o a superar dificuldades. O treino sistemático e repetido é essencial para o desenvolvimento de automatismos facilitadores das aprendizagens posteriores.

Para que este processo seja bem sucedido, o professor deverá:

- efetuar um grande número de perguntas
- orientar os alunos no exercício de matérias novas, auxiliando-os numa primeira fase e reduzindo esse apoio quando deixa de ser necessário
- avaliar a compreensão dos alunos
- dar retorno ao aluno da eficácia da sua aprendizagem
- corrigir os erros e voltar a ensinar sempre que se justifique
- dar um grande número de exercícios que os alunos possam realizar com sucesso.

A quarta etapa – Correção e *feedback* é subsequente à prática do aluno. Os seus erros, quando acontecem, deverão ser logo corrigidos, para que não se tornem sistemáticos. O professor deverá sempre dar retorno ao aluno do seu trabalho e propiciar um novo ensino, sempre que tal se revele necessário. Seguidamente o aluno deverá ter a oportunidade de corrigir o erro e treinar a resposta correta. O tipo de intervenção do professor deverá ter em conta o nível de resposta do aluno.

A quinta etapa – Prática autónoma, decorre do objetivo da etapa anterior: dotar o aluno de competências para trabalhar de forma independente. O trabalho individual permitirá ao aluno integrar novos conhecimentos nos já adquiridos e automatizar as aprendizagens já efetuadas. A transição entre a prática guiada e autónoma poderá ser auxiliada pelo trabalho de grupo.

A sexta e última etapa – Revisões semanais e mensais permitem, não só avaliar a progressão das aprendizagens dos alunos, mas também a prática do professor. Com base nos resultados recolhidos, professores e alunos poderão ajustar as suas práticas sempre que necessário no sentido de as ajustar às reais necessidades de cada um e potenciar a eficácia do processo.

Apesar de a ID ser assim inicialmente definida por Rosenshine, tem havido vários entendimentos para este conceito, que acabou por ser estendido a diversas metodologias de ensino mais diretivas. Todas elas assentam no pressuposto que todos os alunos são capazes de aprender com base numa instrução bem delineada, isto é, bem estruturada (com instruções adequadas), inequívoca e não-ambígua (Stockard et al., 2018). Tal como referido em Magliaro et al. (2005), a ID não se refere a um método de ensino de cariz expositivo (como uma palestra, por exemplo), mas sim a um modelo instrucional focado na interação entre professor e alunos.

Rosenshine (2008), apresenta uma clarificação do termo que, de acordo com o autor, apresenta um significado geral e outro mais específico. O significado geral refere-se a qualquer instrução que seja liderada pelo professor (independentemente da qualidade da instrução). Os significados específicos aplicam-se em três situações:

- (a) aos procedimentos instrucionais usados em estudos experimentais por professores em áreas de ensino bem estruturadas (como computação e aritmética) baseados em metodologias de ensino mais diretivas.;
- (b) aos procedimentos instrucionais utilizados em estudos experimentais onde os alunos recebem instruções específicas sobre estratégias cognitivas para desempenhar atividades menos estruturadas (como a compreensão da leitura ou escrita).

(c) aos procedimentos instrucionais associados especificamente às aulas onde se aplicava o método Distar. DISTAR é o acrónimo de *Direct Instruction Systems in Arithmetic and Reading*, um programa de ensino específico baseado numa estratégia de instrução explícita em pequenos passos desenvolvido nos Estados Unidos no final dos anos 70 e que não desenvolvemos por não se enquadrar no âmbito deste trabalho.

Estes três significados têm em comum pontos como a prática guiada e apoiada pela ação do professor, uma participação ativa por parte do aluno (e neste sentido afasta-se de um significado mais restrito, frequentemente confundido com metodologias expositivas) e a redução progressiva do apoio do professor à medida que o aluno adquire mestria nas sucessivas etapas da sua aprendizagem. As metodologias aplicadas têm em comum elementos instrucionais que podem ser agrupados nas seguintes categorias:

- 1) redução da dificuldade da tarefa durante a prática inicial, nomeadamente através da apresentação do material em pequenas secções;
- 2) fornecimento de apoio e suporte durante a aprendizagem através de técnicas como a modelação de procedimentos pelo professor, apresentação de sugestões e verbalização do raciocínio necessário para desempenhar a tarefa;
- 3) fornecimento de feedback, através de apoio e correções sistemáticas à ação do aluno ou fornecimento do resultado esperado na conclusão da tarefa;
- 4) providenciar a prática pelo aluno de forma ampla e sistemática para a aquisição de mestria (Rosenshine, 2008; Magliaro et al., 2005).

A discussão é acesa e polémica e por vezes as duas conceções – uma baseada na aprendizagem por descoberta, de conceção construtivista e socioconstrutivista, outra em

métodos de ensino mais diretivos, estruturados em tornos de instruções – são vistas como antagónicas e irreconciliáveis (Festas, 2020). Contudo, mais do que tentar encontrar supremacia de um ou outro tipo de métodos como se ambos fossem irreconciliáveis, o caminho passará sobretudo por tentar perceber quando, em que circunstâncias e para quem é mais eficaz optar por métodos mais diretivos ou por métodos que permitem maior espaço de descoberta (Sternberg, 2009; Festas, 2020). Neste sentido, a abordagem que faremos neste trabalho será a de fazer uma breve exposição do que atualmente se entende por métodos baseados na aprendizagem por descoberta, de cariz construtivista, e métodos diretivos, no sentido de clarificar conceitos que serão mais tarde úteis para a discussão dos resultados deste trabalho.

O construtivismo e a aprendizagem por descoberta

Nas últimas décadas, o construtivismo tem assumido um papel preponderante nos meios educativos, encontrando ampla aceitação quer entre as comunidades académicas (particularmente das Ciências da Educação), quer entre as comunidades escolares. Esta dominância expressa-se nas ideologias que servem de base à maioria aos documentos de referência da ação educativa e à formação de professores (Bidarra & Festas, 2005).

O construtivismo é uma teoria do conhecimento humano e assume várias modalidades, de acordo com as diferentes bases que lhe estão subjacentes. Comum a todas as diferentes perspetivas está a ideia de que o aluno é o centro do seu processo de aprendizagem, assumindo um papel ativo na construção do seu conhecimento. Esse conhecimento é adquirido com base na procura de respostas e soluções de resolução para problemas concretos com que o aluno/aprendiz se depara no seu contexto (Festas, 2020). O professor assume aqui um papel orientador do processo de busca, mais do que

o de transmissor de conteúdos ou de conhecimentos pré-estabelecidos como acontecia na escola dita “tradicional” (Solé & Coll, 2001; Schwartz et al., 2009).

Partindo do pressuposto de que o indivíduo tem um papel ativo na construção do seu próprio conhecimento, então o estímulo para a aprendizagem, isto é, a motivação, torna-se fundamental para que o processo seja bem-sucedido. A aprendizagem é facilitada se feita em contexto real, permitindo ao aluno envolver-se em atividades de aprendizagem autênticas e atribuir um significado ao conhecimento que está a construir (Duffy, 2009). Argumentando que nas atividades do dia-a-dia a necessidade de resolução de problemas é omnipresente, as correntes construtivistas valorizam os mecanismos de aprendizagem (aprender a aprender) em detrimento dos conteúdos em si, preparando o indivíduo para lidar diariamente com os constantes novos desafios a que está sujeito no seu quotidiano. Em contexto de aprendizagem cabe ao professor colocar o aluno perante problemas de contexto (isto é, relacionados com o mundo com que interage), motivando-o para a sua realização e permitindo-lhe assumir o controlo dos processos que levarão à aprendizagem significativa. Estamos assim perante a defesa de uma aprendizagem a partir de problemas, cuja resolução é procurada pelo aluno, preparando-se para a aprendizagem ao longo da vida - em que o aprendiz parte para a resolução de um problema com uma pré-atitude de descoberta e procura de solução (Duffy, 2009; Schwartz et al., 2009). Também estes princípios estão de acordo com os documentos de referência da prática educativa em Portugal. No PASEO, encontramos bem claro que “a ação educativa promove intencionalmente o desenvolvimento da capacidade de aprender, base da educação e formação ao longo da vida” (Direção Geral de Educação, 2017).

Os métodos pedagógicos que melhor se encaixam na perspetiva construtivista são caracterizados por ser pouco diretivos, permitindo ao aluno ensaiar e descobrir os procedimentos necessários à resolução de problemas (Festas, 2020). Kirshner e os seus

colaboradores (2006) enquadram nesta abordagem minimamente guiada diversas metodologias que consideram pedagogicamente equivalentes: a aprendizagem por descoberta, a aprendizagem baseada na resolução de problemas, a aprendizagem experiencial e a aprendizagem construtivista. As orientações recebidas pelos alunos são na forma de informação relevante para o processo de aprendizagem e não relacionadas com os conteúdos a aprender (Kirshner et al., 2006). Assume-se também como aceitável que seja dado suporte instrucional (*scaffolding*) ao aluno de forma pontual quando se verifica que este não é capaz de sozinho construir determinada aprendizagem, mas este é retirado à medida que o aluno ganha autonomia (Festas, 2020).

Do que foi dito se infere que a aprendizagem baseada na resolução de problemas é, no âmbito desta perspectiva construtivista, desenvolvida com base em métodos que estimulam a aprendizagem por descoberta. Entende-se por aprendizagem por descoberta aquela em que não é dada ao aluno informação a respeito da informação ou compreensão de conceitos específicos que se pretende que este adquira, que terão de ser descobertos por ele de forma independente apenas com base nos materiais inerentes à tarefa que lhe são colocados à disposição pelo professor (Alfieri et al., 2010). Esta aprendizagem pode ser feita recorrendo a metodologias de investigação, levadas a cabo pelo aluno no sentido de encontrar as respostas para o problema com que inicialmente é confrontado (Kuhn et al., 2000).

No caso particular das ciências experimentais, coloca-se a questão da rapidez de mudança que se verifica na evolução do conhecimento científico. Se por um lado é importante que o aluno aprenda as leis básicas que regem o mundo natural, por outro lado o conhecimento científico está em permanente mudança, correndo-se o risco de ensinar hoje o que amanhã poderá já ter mudado (Kuhn, 2007). Contudo, se o aluno adquirir as competências necessárias para desenvolver uma aprendizagem baseada na sua própria investigação científica (formular questões, recolher e analisar dados, tirar

conclusões e relacioná-las com uma base teórica) estará também a adquirir a capacidade de construir o seu próprio conhecimento em qualquer área a que tal se proponha (Kuhn et al., 2000).

Outra grande vantagem que os defensores das metodologias investigativas baseadas na resolução de problemas advogam é o facto de estas permitirem aos alunos desenvolver competências inerentes ao trabalho científico, trabalhando no espírito da verdadeira natureza da ciência (McGinn & Roth, 1999; Kirshner, 1992; Kirshner et al., 2006). Estariam assim mais bem preparados para assumir um papel ativo e informado numa sociedade em que a ciência e a tecnologia assumem um papel cada vez mais preponderante, na linha do que se encontra preconizado no PASEO: “É responsabilidade da escola desenvolver nos alunos a cultura científica que permite compreender, tomar decisões e intervir sobre as realidades naturais e sociais no mundo” (Direção Geral de Educação, 2017).

A apologia de maior diretividade nos métodos de ensino

Em 2004, Mayer analisa a relação entre as concepções construtivistas de aprendizagem e a forma como se traduzem em métodos de ensino capazes de potenciar (ou não) essa mesma aprendizagem. Segundo o autor, uma aprendizagem ativa do ponto de vista cognitivo (alinhada com as perspetivas construtivistas) não tem necessariamente de se traduzir em atividade comportamental como a que é preconizada num método de aprendizagem por descoberta. Mesmo recebendo instrução direta, o aluno pode manter-se ativo do ponto de vista cognitivo. Recebe a informação, processa-a e constrói com ela o seu próprio conhecimento.

Uma maior diretividade nas metodologias de ensino é apoiada por estudos que remontam ao final dos anos 60. Nos estudos levados a cabo por Craig (1956), Kittel

(1957) e Gagne e Brown (1961), citados por Mayer (2004), verificou-se que grupos a quem era dado maior grau de instrução obtinham melhores desempenhos na descoberta de regras de resolução de problemas lógicos.

Craig (1956) procurou perceber qual a melhor forma de os alunos encontrarem a regra lógica que permite a resolução de um problema. Era pedido aos alunos que procurassem a palavra “estranha” entre um conjunto de palavras. O grupo que recebeu pistas (por exemplo “prestar atenção ao som inicial”), mas a quem não foram dadas respostas nem regras (grupo de aprendizagem por descoberta guiada), teve melhor desempenho na aprendizagem e transferência para novos problemas do que o grupo a quem não foi dada qualquer informação (grupo de aprendizagem por descoberta pura).

Kittel (1957) obteve resultados semelhantes no seu estudo. Utilizou problemas semelhantes, mas utilizou três grupos: um a quem não era dada qualquer informação (aprendizagem por descoberta pura), outro a quem eram dadas pistas a respeito das regras de resolução para cada conjunto de problemas (aprendizagem por descoberta guiada) e um terceiro a quem eram explicadas as regras de resolução e dadas as respostas finais (instrução expositiva). O grupo de aprendizagem por descoberta pura foi o que evidenciou piores resultados na retenção de informação e transferência para novos problemas e o grupo de aprendizagem por descoberta guiada o que evidenciou melhores resultados.

Gagne e Brown (1961) pediam a alunos que derivassem e escrevessem as fórmulas que permitiam computar somas de séries de números tais como “1, 3, 5, 7, ...”. Os alunos foram divididos em grupos de aprendizagem por descoberta pura, descoberta guiada e método expositivo. Verificou-se que o grupo de aprendizagem por descoberta guiada foi o que apresentou um melhor desempenho na resolução de problemas, embora demorassem mais tempo.

Adams e Engelman (1996), após uma revisão de 25 anos de pesquisa em que é feita a comparação entre metodologias de ensino baseadas na ID e outras metodologias menos diretivas, verificaram que as pontuações em pós-teste dos alunos sujeitos a ID eram superiores em 87% dos casos às dos alunos que aprenderam com base nas estratégias menos diretivas.

Também vários estudos levados a cabo com a aprendizagem do método LOGO de computação (ex: Fay & Mayer, 1994; Lee & Thompson, 1997; citados por Mayer, 2004) demonstraram a superioridade dos métodos de descoberta guiada relativamente aos métodos de aprendizagem por descoberta, conduzindo a uma maior compreensão dos mecanismos que orientam o método de computação e ao design de melhores programas.

No caso da descoberta pura, os alunos nem sempre apreendem a regra subjacente à resolução do problema, o que lhes confere piores resultados (Mayer, 2004). Será necessária uma quantidade apropriada de informação que permita ao aluno, por um lado, construir mentalmente a aprendizagem desejada, e por outro lado integrar novo conhecimento com os esquemas pré-existentes. A ausência desta informação basilar para a construção do conhecimento (como acontece nas metodologias de aprendizagem por descoberta pura) faz com que o aluno possa não chegar a perceber qual o princípio a aprender e, neste caso não tem informação para integrar, não chegando a ser adquirido novo conhecimento. O ideal, segundo Mayer (2004), é dar ao aluno a liberdade necessária para se manter cognitivamente ativo a par com a diretividade necessária para que esta liberdade cognitiva se traduza em conhecimento útil.

Outros estudos, reforçam a necessidade de maior instrução: verificou-se que os alunos que aprendem ciências com base em métodos de descoberta e feedback mínimo se sentem frequentemente desorientados e frustrados, para além de apresentarem mais

equivocos de raciocínio devido à confusão gerada pela falta de conhecimento prévio (Brown & Campione, 1994); as falsas partidas (isto é, partir de pressupostos incorretos) é também algo comum nas aprendizagens baseadas na descoberta pura, contribuindo para a sua ineficácia (ex: Schauble, 1990; conforme citado em Kirshner et al., 2006). Em Alfieri et al. (2011) é possível acompanhar uma meta-análise de 164 estudos que comparam métodos de ensino mais diretivos com métodos de aprendizagem por descoberta. Os resultados desta análise mostram que a instrução direta é mais favorável à aprendizagem quando comparada com a aprendizagem por descoberta pura e que a aprendizagem por descoberta guiada é a que apresenta resultados mais favoráveis quando comparadas com outras metodologias de instrução.

Começa-se a abandonar a perspectiva da aprendizagem por descoberta pura, advogando-se a utilidade da diretividade na orientação dos alunos ao longo do processo de aprendizagem. Entenda-se que, neste caso, o conceito de maior diretividade na orientação do aluno afasta-se do conceito geral de Instrução Direta apresentado por Rosenshine (2008) para se tornar num novo conceito mais próximo das características comuns aos significados específicos antes explanados.

Em 2004, Khlar e Nigam levaram a cabo um estudo importante em que testaram a eficácia relativa da aprendizagem por descoberta e da instrução direta durante a aquisição inicial de conhecimento, bem como a forma como mais tarde os conhecimentos adquiridos eram transferidos e aplicados em novas situações. Verificaram que, de todas as crianças que alcançaram o objetivo pretendido, foram mais as crianças que aprenderam por instrução direta do que as que aprenderam por descoberta. Comparando a transferência de conhecimento para novas situações, não houve diferença entre o desempenho das crianças, independentemente da metodologia de aprendizagem inicial.

Em 2006, Kirshner e os seus colaboradores chamam a atenção para o que se conhece a respeito da arquitetura cognitiva humana e o impacto que esse conhecimento deve ter sobre o design instrucional, advogando que a diretividade nos métodos de ensino é fundamental para reduzir a sobrecarga imposta pelo excesso de nova informação sobre a memória de trabalho. Uma metodologia de ensino minimamente guiada, como a que é característica da aprendizagem por descoberta, implica que o aluno esteja exposto a um grande volume de informação que para si é novo. Sendo inexperiente no assunto que está a investigar, a inexistência de esquemas prévios na memória a longo prazo do aluno dificulta a seleção de informação e a definição de estratégias de pesquisa conducentes a uma resolução adequada para o problema com que inicialmente se deparou. O processo de procura da informação constitui uma sobrecarga que impede que a memória de trabalho faça o processamento necessário de toda a informação com que se depara.

Uma outra crítica feita à aprendizagem por descoberta é o facto de esta mudar a ênfase da aprendizagem de uma disciplina enquanto corpo de conhecimento para a aprendizagem dos métodos e processos inerentes a essa disciplina. (Kirshner et al., 2006). Utilizar os métodos e processos inerentes à ciência para aprender essa mesma ciência pode conduzir ao fracasso, na medida em que a forma como os cientistas avançam na sua área científica é um processo de contexto, condicionado por inúmeros fatores que vão desde o contexto económico-social (necessidade de investigação, financiamento de projetos) à disponibilidade de equipamentos ou o conhecimento existente sobre as potencialidades de utilização dos equipamentos disponíveis num determinado laboratório, numa interação complexa de pessoas, instituições, materiais, instrumentos, políticas governativas e interesses individuais e coletivos (McGinn & Roth, 1999). A isto acresce todo o conhecimento prévio que os cientistas possuem a respeito do conteúdo que constitui a área científica em que trabalham e que os alunos,

iniciados nessa mesma área de conhecimento, estão longe de possuir. A falta de esquemas prévios implica uma maior carga sobre a memória de trabalho, que se torna incompatível com a construção de novos conhecimentos quando os alunos não dominam os métodos de que necessitam para procurar as respostas para o problema inicial (Sweller, 1988; Kalyuga et al., 2003; Paas et al., 2003; Sweller & Kalyuga, 2011). Assim, à carga cognitiva intrínseca à informação que se pretende adquirir, soma-se a carga extrínseca, imposta por uma metodologia de ensino que implica que o aluno recorra a processos inerentes ao processo investigativo que não domina (sejam eles técnicas de pesquisa e seleção de informação ou o manuseamento de material de laboratório e aplicação de técnicas laboratoriais específicas) (Paas et al., 2003; Sweller & Kalyuga, 2011).

A aplicação dos conhecimentos sobre a arquitetura cognitiva humana ao design instrucional levou a que se tornasse a dar importância à diretividade nas metodologias de ensino. A diretividade permite reduzir a carga cognitiva intrínseca e extrínseca, libertando os recursos da memória de trabalho para a construção de esquemas relevantes para a aquisição de novos conhecimentos estruturados, promovendo uma aprendizagem significativa (Sweller, et al., 1998).

Contudo, à medida que a proficiência dos alunos aumenta, o nível de conhecimento que serve de suporte à aprendizagem vai sendo cada vez maior. Os esquemas pré-adquiridos permitem a mobilização de grandes quantidades de informação da memória a longo prazo sem sobrecarregar a memória de trabalho, promovendo uma capacidade de resolução de problemas com menos esforço envolvido (Kalyuga et al., 2003; Paas et al., 2003; Sweller & Kalyuga, 2011). Admite-se assim que, para os alunos mais avançados, o grau de diretividade seja menor.

Um maior grau de proficiência permite a um perito (ou a um aluno mais avançado) mobilizar um grande número de esquemas pré-adquiridos que constituem

por si só a base a partir da qual podem procurar novo conhecimento. Nestes casos, se o método de instrução fornece mais informação de forma direta, o aluno não consegue evitar a sua análise e integração dentro dos esquemas que já possui. Esta redundância e cruzamento de informação resulta num esforço acrescido da memória de trabalho, correndo o risco de originar uma sobrecarga cognitiva indesejável. O recurso a vários esquemas para integrar a mesma informação é cognitivamente prejudicial face a situações de aprendizagem em que os esquemas adquiridos são suficientes para orientar a resolução do problema inicial. Assim, se para alunos com baixo grau de proficiência é essencial que os métodos de ensino sejam mais diretivos, para alunos com um elevado grau de proficiência essa diretividade pode vir a ser prejudicial - *expertise reversal effect* (Kalyuga et al., 2003).

Pontos comuns

Apesar das divergências, podemos encontrar alguns pontos comuns entre as duas abordagens. Quer as metodologias baseadas na resolução de problemas de cariz mais construtivista, quer as metodologias cognitivistas apologistas de maior diretividade, defendem que o conhecimento é construído de forma ativa pelo aluno. Na perspetiva cognitivista existe o pressuposto de que o conhecimento implica um envolvimento ativo do aluno do ponto de vista cognitivo, pois a aquisição de informação só ocorre de forma significativa se o aluno fizer a seleção de informação e a integrar num conjunto de esquemas pré-adquiridos, mobilizando um complexo sistema de memórias. Por outro lado, mesmo os defensores das metodologias construtivistas argumentam que por vezes é necessário que os métodos de ensino envolvam alguma diretividade quando o aluno não consegue sozinho alcançar a resposta para o seu problema em contexto. Esse suporte (*scaffolding*) seria depois retirado à medida que o

aluno se vai tornando autónomo – recordando o Efeito de Reversão de Perícia (*Expertise Reversal Effect*) descrito por Kalyuga et al. (2003). Não podendo ignorar as características, potencialidades e limitações do sistema cognitivo humano, o desafio será perceber quando é que maior ou menor diretividade são desejados e desenhar metodologias de ensino equilibradas entre diretividade de instruções e fases de aprendizagem por descoberta que permitam potenciar as condições de aprendizagem, motivando os alunos e dotando-os da capacidade de resolver os problemas com que se deparam ao longo da vida.

O Trabalho Laboratorial no ensino das Ciências: clarificação de conceitos

O trabalho laboratorial, reconhecido como uma importante ferramenta ao serviço do ensino das Ciências (Leite & Dourado, 2013), começou a ser introduzido nos currículos em diversos países no final do sec. XIX e, apesar da sua lenta afirmação inicial e variações na sua forma de utilização (Leite, 2001), ainda hoje assume um papel de relevo nos documentos orientadores da ação educativa dos professores (referimo-nos concretamente às AE) de Ciências Naturais e de Biologia e Geologia, como já foi referido (DGE, 2018a, 2018b). Contudo, estes documentos referem alguns termos cujos conceitos são frequentemente confundidos. Por exemplo, as AE para a disciplina de Ciências Naturais do 2º e 3º ciclos referem que “as atividades práticas devem ser valorizadas e consideradas como parte integrante e fundamental dos processos de ensino e de aprendizagem dos conteúdos programáticos” (DGE, 2018a). No caso das Ciências Naturais para o 3º ciclo, o mesmo documento refere na sua secção relativa às Aprendizagens Essenciais Transversais que se espera que o aluno seja capaz de

“Construir explicações científicas baseadas em conceitos e evidências científicas, obtidas através da realização de atividades práticas diversificadas – laboratoriais, experimentais, de campo - e planeadas para procurar responder a problemas formulados.” (DGE, 2018a). De acordo com a terminologia usada pelos autores dos documentos referidos, os mesmos incluem o trabalho laboratorial dentro das atividades que genericamente designam como práticas, juntamente com outro tipo de atividades, designadamente as experimentais e as de campo. Assim, parece-nos importante apresentar uma clarificação de termos, nomeadamente no que diz respeito a Trabalho Prático (TP), Trabalho Laboratorial (TL), Trabalho de Campo (TC) e Trabalho Experimental (TE).

O conceito de Trabalho Prático é o mais geral. Segundo Hodson (1988), refere-se a todas as atividades em que o aluno está envolvido de forma ativa, seja no domínio psicomotor, cognitivo ou afetivo. Neste sentido, o TP pode incluir atividades de campo, de laboratório ou outro tipo de atividades como a resolução de exercícios ou utilização de simuladores, conforme referido por Leite (2001) e Dourado (2001). A distinção entre as designações de trabalho experimental, trabalho de campo e trabalho laboratorial será apresentada com base nos trabalhos destes dois autores.

Entende-se como trabalho experimental todo o tipo de atividades que envolvem controlo e manipulação de variáveis, podendo estas ser de campo, de laboratório ou outro tipo de atividades (como, por exemplo, a utilização de simuladores).

O trabalho laboratorial refere-se às atividades que recorrem à utilização de materiais específicos de laboratório e que, por isso, se destinam a ser realizadas maioritariamente dentro de laboratório, embora também possam ser realizadas numa sala de aula normal, desde que sejam verificadas as devidas condições de segurança. Contudo, é de salientar que nem todas as atividades laboratoriais envolvem a manipulação de variáveis e, portanto, não se podem confundir com atividades experimentais. São exemplo disso atividades que tenham como finalidade aprender a

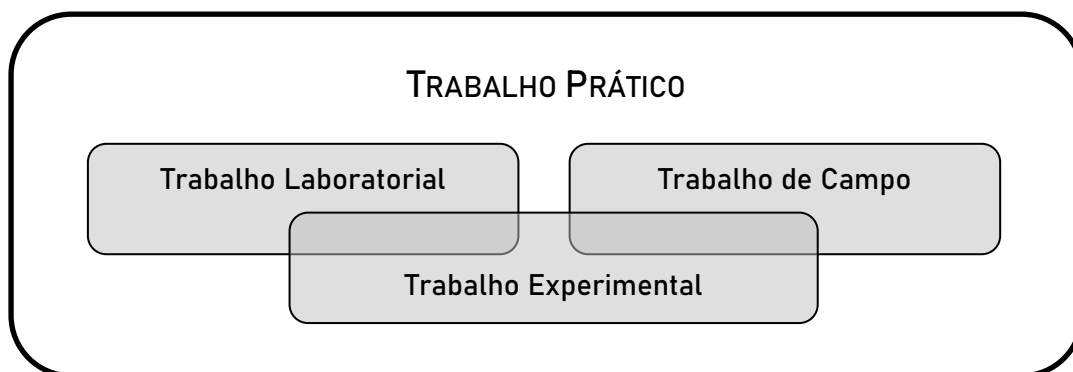
executar procedimentos específicos (ex: executar preparações microscópicas, efetuar titulações ou medições) ou a utilizar materiais como um microscópio ou uma balança de precisão, por exemplo.

O trabalho de campo tem como premissa a realização de atividades ao ar livre, onde os acontecimentos a estudar ocorrem naturalmente. Também este pode ser de caráter experimental (como num caso em que se aplicam diferentes fertilizantes em culturas para verificar o grau de eficácia relativa) ou não (como por exemplo a observação de formas de erosão num modelado cársico).

Da relação apresentada entre os diferentes conceitos, sistematizada na Figura 6, salienta-se que a realização do trabalho experimental não se esgota no trabalho de campo e trabalho laboratorial e ainda que as atividades laboratoriais apenas são de caráter experimental quando envolvem a manipulação de variáveis.

Figura 6

Representação esquemática das relações entre trabalho prático, trabalho experimental, trabalho laboratorial e trabalho de campo.



Nota. Adaptado de Leite (2001).

O recurso ao trabalho laboratorial no Ensino das Ciências é apoiado em argumentos que vão desde a motivação do aluno ao desenvolvimento de competências associadas à metodologia de investigação tipicamente identificada com o método científico. Segundo Hodson (1994), os motivos indicados pelos professores para utilização deste tipo de trabalho são muito diversos, mas passíveis de ser agrupados nas seguintes categorias:

- Motivação do aluno para a aprendizagem;
- Aprendizagem de competências científicas procedimentais (ex: técnicas laboratoriais necessárias para a realização das atividades);
- Aprendizagem dos conceitos científicos (princípios, leis, teorias);
- Aprendizagem a respeito do método científico e desenvolvimento da sua capacidade de implementação;
- Desenvolvimento de atitudes científicas, tais como a objetividade, raciocínio crítico, análise de dados, rigor, persistência...

Apesar de ninguém contestar o apreço dos alunos pela realização do trabalho laboratorial (e gostam tanto mais quanto mais espetacular for o resultado final) isso não significa que o aluno compreenda o que está a observar, mesmo que mais tarde se recorde do resultado em si. Como refere Leite (2001), “tal como não faz sentido realizar atividades laboratoriais só para motivar os alunos, também não faria muito sentido usar atividades laboratoriais só para desenvolver atitudes científicas”. É, por isso, importante que a decisão e planificação da execução de atividades laboratoriais no contexto do Ensino das Ciências tenha em conta os objetivos preconizados nas AE em vigor, nomeadamente a importância da aquisição dos conceitos científicos, mas também das competências procedimentais, fundamentais para a consecução da atividade e obtenção

dos dados a partir dos quais os alunos desenvolvem as competências de análise e raciocínio científicos.

Se a aquisição de competências procedimentais ocorre pela repetição e exercício, relativamente à aquisição de conhecimento conceptual as atividades laboratoriais podem ser estruturadas e integradas com a teoria de várias formas:

- Como forma de confirmação ou concretização de conhecimento previamente apresentado aos alunos;
- Como ponto de partida para a construção de conhecimento conceptual que surge após a análise dos dados obtidos (atividades de resolução de problemas ou atividades estruturadas que conduzem o aluno para o resultado possível);
- Como forma de promoção da reconstrução de ideias pré-adquiridas, testando essas mesmas ideias no sentido de as suportar ou colocar em causa. Nestes casos é obrigatória a formulação de uma previsão fundamentada por parte do aluno, que interpretará os dados obtidos para formular uma conclusão (atividades do tipo prevê-observa-explica-reflete) embora o protocolo lhe possa ser ou não fornecido (Leite, 2001).

O tipo de abordagem na implementação das atividades laboratoriais deverá sempre ter em conta o objetivo de aprendizagem que se pretende atingir, integrando-se o trabalho laboratorial com a teoria de modo adequado (Leite, 2001).

Neste trabalho procuraremos obter dados que nos permitam inferir a melhor forma de implementação das atividades laboratoriais em contexto real de sala de aula com o objetivo de ajudar os alunos a adquirir conhecimento de ordem conceptual. De forma mais concreta, será comparada a eficácia da utilização das atividades laboratoriais

como forma de consolidação de conhecimento previamente adquirido com a sua utilização como ponto de partida para a aquisição de novo conhecimento.

METODOLOGIA

Neste trabalho procurámos obter dados que nos permitam identificar a melhor forma de utilizar o trabalho prático laboratorial em contexto de sala de aula. Pretendeu-se saber se o ensino das ciências é mais eficaz partindo das atividades práticas ou de uma instrução liderada pelo professor e posteriormente desenvolvida em contexto laboratorial. De uma forma muito concreta: as atividades laboratoriais devem ser utilizadas como ponto de partida para a construção de novo conhecimento, ou antes como forma de consolidação de um conhecimento que já foi previamente transmitido pelo professor? Pretendemos também testar se as atividades práticas contribuem de forma mais eficaz para a realização das aprendizagens se forem baseadas em instruções (utilizando protocolos previamente desenhados) ou se aplicadas de forma mais livre pelos alunos, que desenham a atividade a desenvolver numa lógica de investigação orientada para a resolução de problemas. Foi nossa intenção proceder a um estudo quase experimental, desenvolvido com turmas reais e em contexto de atividade letiva de acordo com a planificação realizada pelos professores da disciplina de Ciências Naturais para a abordagem dos temas que foram utilizados como meio de estudo da questão em causa.

Contexto e Participantes

O estudo quase experimental que consta deste trabalho foi desenvolvido numa instituição de ensino particular, da zona centro do país, inserida num meio com raízes rurais, mas com grande influência de meio urbano e industrializado, já que a indústria

tem tido um grande crescimento e contribui como setor dominante na economia da região. O seu universo de estudantes era constituído na altura por cerca de 1100 alunos distribuído pelos três ciclos do ensino básico e ensino secundário. O corpo docente era constituído por 97 profissionais.

Fizeram parte da amostra 92 participantes com dados completos no pré e pós teste, do 9.º ano de escolaridade e com uma média de idades de 13.88 anos ($DP = 0.61$). Estes alunos constituíram os quatro grupos que integraram o estudo, conforme descreve a tabela 1. Os grupos constituídos corresponderam a quatro turmas do 9.º ano de escolaridade. A distribuição dos sujeitos por grupo não foi aleatória, pois tal distribuição iria interferir de forma muito significativa com a dinâmica de horários de alunos e professores já estabelecida na instituição de ensino, condição essa que não seria aceite por parte da Direção da mesma. Contudo, a distribuição das turmas pelos grupos de estudo foi feita aleatoriamente.

Na tabela 1 encontra-se descrita a distribuição da amostra por grupo, sexo média de idades e respetivo desvio-padrão.

O grupo um era composto por 20 participantes (21.74%), o grupo dois por 24 participantes (26.09%), o grupo três por 27 participantes (29.35%) e o grupo quatro por 21 participantes (22.83%). A diferença no número de sujeitos por grupo não foi estatisticamente significativa ($\chi^2(3) = 1.304, p = .73$).

Na amostra total, 52.17% dos participantes eram do sexo feminino e 47.83% do sexo masculino. A distribuição por sexo e por grupo não foi estatisticamente significativa ($\chi^2(3) = 3.46, p = .326$). A diferença entre as médias de idades nos quatro grupos também não foi estatisticamente significativa ($F(3,21) = .26, p = .86$).

Tabela 2

Distribuição da amostra por grupo, sexo e média e desvio padrão das idades.

	Grupo1		Grupo2		Grupo3		Grupo4		Amostra total	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Feminino	11	55,00	16	66,67	12	44,44	9	42,86	48	52,17
Masculino	9	45,00	8	33,33	15	55,56	12	57,14	44	47,83
Total	20	21.74	24	26.09	27	29.35	21	22.83	92	100.00
	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP	M	DP
Idade	13,85	0,67	13,96	0,81	13,81	0,40	13,90	0,54	13,88	0,61

Estudo da equivalência entre grupos

Na amostra, 87% (n = 80) dos sujeitos não tinha qualquer retenção no seu percurso escolar, 9.8% (n = 9) tinha uma retenção e 3.3% (n = 3) duas retenções. Se for efetuada uma análise por grupo verificamos: no grupo 1 (n = 20), 85% (n = 17) não tinha qualquer retenção, 10% (n = 2) tinha uma retenção e 5% (n = 1) tinha duas retenções; no grupo 2 (n = 24), 83.3% (n=20) dos alunos não apresentava qualquer retenção, 8.3% (n=2) tinha uma retenção e 8.3% (n = 2) tinha duas retenções; no grupo 3 (n = 27), 92.6% (n = 25) não tinha qualquer retenção, 7,4% (n = 2) tinha uma retenção e nenhum tinha duas retenções; por fim, no grupo 4 (n = 21), 85.7% (n = 18) não tinha qualquer retenção, 14.3% (n = 3) tinha uma retenção e nenhum tinha duas retenções. O número de retenções é uma variável com nível de mensuração *ratio*, mas como se pode verificar na descrição anterior a sua distribuição é muito assimétrica, por este motivo o teste de diferenças entre grupos foi efetuado com o teste estatístico não paramétrico Kruskal Wallis (Corder, & Foreman, 2009; Van Hecke 2012). Não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos no número de reretenções ($H(3) = 1.262$, $p = .738$).

Na Tabela 3 são apresentadas as estatísticas descritivas das classificações na disciplina de Ciências Naturais obtidas nos 7.º e 8.º anos pelos alunos dos quatro grupos em estudo. No 7º ano os sujeitos de todos os grupos obtiveram níveis de classificação entre 3 e 5, com mediana de 4. O grupo 4 obteve a média mais baixa com 3.6 ($DP = 0.6$) e o grupo 3 a média mais elevada, 4.2 ($DP = 0.6$). O teste de Kruskal-Wallis foi significativo [$H(3) = 9.59, p = .022$], o que nos informa que existem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Sendo o Kruskal-Wallis um teste *omnibus*, foi necessário recorrer a testes *post hoc* para identificar entre que grupos as diferenças foram significativas. As classificações obtidas pelo grupo 3 no 7.º ano foram significativamente superiores às obtidas pelo grupo 4 ($z = 2.987, p = .017$).

Considerado o 8.º ano a amplitude dos níveis de classificação foi entre 2 e 5, com o grupo 3 a obter a média mais elevada ($M = 4, DP = 0.7$) e o grupo 4 a média mais baixa ($M = 3.2, DP = 0.7$). A diferença entre os grupos foi estatisticamente significativa ($H = 13.421, p = .004$), e os testes *post hoc* identificaram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos 3 e 4 ($z = 3.660, p = .002$).

Tabela 3

Níveis de classificação máximo e mínimo, média, desvio-padrão e mediana por grupo nos 7º e 8º anos de escolaridade.

		Máximo	Mínimo	Média	DP	Mediana	H(3)	p
7º ano	Grupo 1	5	3	4.1	0.8	4.0	9.594	.022
	2	5	3	3.9	0.7	4.0		
	3	5	3	4.2	0.6	4.0		
	4	5	3	3.6	0.6	4.0		
8º ano	Grupo 1	5	3	3.6	0.6	4.0	13.421	.004
	2	5	2	3.6	0.8	3.5		
	3	5	3	4.0	0.7	4.0		
	4	5	2	3.2	0.7	3.0		

Para testar as diferenças entre grupos na escolaridade do pai e da mãe foram agregadas algumas habilitações criando três graus de habilitações literárias: ensino básico (até ao 9.º ano), ensino secundário (10.º a 12.º anos) e ensino superior (licenciatura a doutoramento).

Na Tabela 4 podemos verificar que nos grupos 1, 2 e 4 a maior parte dos pais e das mães têm o nível básico de escolaridade. A exceção ocorre no grupo 3 com 65.4% dos pais e 57.1% das mães com formação a nível do ensino superior. A diferença foi estatisticamente significativa nas distribuições das habilitações nos grupos, tanto para pais ($\chi^2(6) = 28.72$, $p < .001$) como para mães ($\chi^2(6) = 33.06$, $p < .001$).

Tabela 4

Distribuição das habilitações literárias dos pais pelos grupos.

	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		$\chi^2(6)$	<i>p</i>
	n	%	n	%	n	%	n	%		
Habilitações do pai										
Ensino básico	13	65.0	13	54.2	4	15.4	10	50.0	28.722	<.001
Ensino secundário	4	20.0	6	25.0	5	19.2	9	45.0		
Ensino superior	3	15.0	5	20.8	17	65.4	1	5.0		
Habilitações da mãe										
Ensino básico	12	60.0	12	50.0	5	18.5	12	57.1	33.056	<.001
Ensino secundário	5	25.0	11	45.8	4	14.8	6	28.6		
Ensino superior	3	15.0	1	4.2	18	66.7	3	14.3		

O teste de Qui-quadrado é um teste *omnibus*, porém não possui testes *post hoc* que comparem as diferenças entre células da tabela de contingência e que dessa forma sejam indicativos de quais são as diferenças estatisticamente significativas. Contudo, a análise dos resíduos padronizados pode dar alguns elementos relevantes para a

interpretação dos resultados (Agresti, 2002). O resíduo é a diferença entre as frequências observadas e as frequências esperadas para cada célula e é convertido para um *z-score*. Se o valor do resíduo padronizado estiver dentro do intervalo 1,96 a -1,96 a diferença entre a frequência esperada e a frequência observada para a célula em causa não é estatisticamente significativa. Se o resíduo padronizado for superior a 1,96 ou inferior a -1,96 então a diferença é significativa para $p < .05$. Se for superior a 2,58 ou inferior a -2,58 então é significativo para $p < .01$. Se o resíduo padronizado for positivo significa que a frequência observada foi superior à esperada, se for negativo então a frequência esperada foi superior à observada.

Clarificada a utilização dos resíduos padronizados neste contexto, verificamos que relativamente às habilitações dos pais, no grupo 3 as frequências observadas no ensino básico são significativamente inferiores às esperadas ($z = -2.2, p < .05$), e no ensino superior são significativamente superiores ($z = 3.5, p < .01$). No grupo 4 no ensino superior as frequências observadas são significativamente inferiores às esperadas ($z = -2.0, p < .05$).

Procedimento

Numa primeira fase, após o pedido de colaboração no estudo à Direção da instituição de ensino, foram feitas várias reuniões com os professores de Ciências Naturais do 9º ano de escolaridade para lhes dar a conhecer o projeto, tomar conhecimento das planificações que tinham feito para a disciplina e solicitar a sua colaboração, no sentido de não abordar antes de tempo alguns conteúdos que poderiam ajudar a responder à questão problema que seria colocada aos alunos. O passo seguinte

foi fazer o pedido de consentimento informado aos encarregados de educação dos alunos que iriam integrar o estudo.

Foram depois distribuídos questionários aos alunos com a finalidade de recolher dados a respeito do seu passado escolar (número de retenções e nível de classificação auferido na disciplina de Ciências Naturais no 7º e 8º anos de escolaridade) e a respeito das habilitações académicas do pai e da mãe.

Escolheu-se como situação-problema o modo como o pH do meio e o tipo de substrato afetam as enzimas na sua atividade digestiva. Foram elaborados o pré e pós teste (Cfr. Anexos 1 e 2, respetivamente), um documento de apoio à elaboração de um protocolo experimental que versava sobre testes específicos para a identificação da presença de nutrientes (Cfr. Anexo 3) e um protocolo experimental para implementação (Cfr. Anexo 4).

O pré e o pós testes eram constituídos por um conjunto de dez perguntas de escolha múltipla que versavam sobre os conceitos a adquirir sobre a atividade enzimática (Cfr. Anexos).

Em todos os grupos foi feita a introdução do conceito de enzima durante a formulação da situação problema. Os conceitos de digestão, nutriente e unidades constituintes dos nutrientes já tinham sido abordados nas aulas de Ciências Naturais que precederam o início do estudo, de acordo com o previsto pelas planificações da disciplina.

O estudo aqui presente foi realizado durante duas semanas do mês de novembro de 2016 nas aulas regulares de Ciências Naturais das turmas intervenientes. Teve início em cada grupo na aula em que os professores iriam abordar esta questão de acordo com a planificação da disciplina de Ciências Naturais. As condições experimentais foram distribuídas e implementadas de acordo com o que a seguir se descreve.

Os alunos pertenciam a quatro turmas do 9º ano de escolaridade. Por motivos de logística por parte da instituição, conforme já explicado, cada turma constituiu um grupo experimental. Cada grupo/turma foi distribuído por sorteio pelas diferentes condições experimentais. Todos realizaram pré e pós-teste. A todos foi apresentada a questão inicial e proposta a realização de uma atividade experimental para responder à mesma. As variáveis em estudo foram duas: o momento de realização da atividade laboratorial em relação à apresentação/discussão de conceitos/princípios e o grau de instrução prévia dada aos alunos antes da realização da atividade experimental.

Ao Grupo 1 não foi dada qualquer instrução prévia, nem distribuído protocolo. Foram convidados a elaborar um protocolo experimental e executá-lo. Para isso, foi-lhes distribuído material de consulta com alguns pressupostos teóricos e informação sobre os testes que poderiam implementar para identificar alguns nutrientes e o modo como se executam (Anexo 3). Pretendia-se verificar se os alunos seriam capazes de responder ao problema inicial de forma autónoma, elaborando e executando a sua própria metodologia de investigação.

Ao Grupo 2 foi administrada instrução prévia, não sobre os conceitos a adquirir, mas sobre controlo de variáveis. Os alunos foram igualmente convidados a elaborar o seu protocolo de investigação, com base no mesmo material de consulta fornecido ao Grupo 1. Continuam a efetuar um esquema de aprendizagem baseado na resolução de problemas, com protocolo elaborado por si (à semelhança do Grupo 1), mas procurou-se eliminar um fator externo que seria a interferência do facto de os alunos não chegarem a uma resposta por não terem previsto a existência de controlos para comparação de resultados.

Com estes dois grupos pretendia-se verificar se os alunos seriam capazes de responder ao problema inicial através da sua própria linha investigativa, numa lógica de estimular a aprendizagem baseada na resolução de problemas em que os alunos tinham um papel ativo na construção do seu caminho investigativo.

Ao Grupo 3 foi fornecido e explicado o protocolo experimental (Anexo 4). Receberam instrução sobre os procedimentos, mas não sobre os conceitos a adquirir. Deste modo, pretendeu-se testar até que ponto a execução da atividade experimental, corretamente desenhada e interpretada, seria ou não eficaz por si só para que os alunos fossem capazes de alcançar a resposta ao problema inicial e adquirir os conceitos pretendidos.

O Grupo 4 recebeu instrução direta previamente à realização da atividade experimental, quer relativamente à resposta à questão problema, quer relativamente ao protocolo que iriam executar (Anexo 4). Pretendia-se assim verificar se a instrução direta de conceitos previamente à realização da atividade experimental permitiria uma aprendizagem mais significativa dos conceitos a apreender.

A tabela 5 resume as condições experimentais de cada grupo. Seguidamente descreve-se em pormenor as condições experimentais de cada um dos grupos.

Tabela 5*Resumo das condições experimentais de cada grupo.*

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
<i>Tipo de instrução prévia</i>	Nenhuma	Controlo de variáveis	Protocolo e procedimentos experimentais a executar	Protocolo e procedimentos experimentais + conceitos e conteúdos
<i>Planificação da atividade laboratorial</i>	Atividade planificada e executada pelos alunos	Atividade planificada e executada pelos alunos	Protocolo experimental previamente fornecido e explicado	Protocolo experimental previamente fornecido e explicado
<i>Momento da realização da atividade laboratorial</i>	Antes da apresentação de conceitos	Antes da apresentação de conceitos	Antes da apresentação de conceitos	Após a apresentação de conceitos
<i>Número de aulas</i>	4 aulas	4 aulas	3 aulas	3 aulas
<i>Tempo total (minutos/aula)</i>	45 + 45 + 90 + 45	45 + 45 + 90 + 45	45 + 90 + 45	45 + 90 + 45

Grupo 1. A) Primeira aula (45 minutos): Realização de pré-teste e apresentação da situação-problema, com solicitação aos alunos para que desenhassem e implementassem uma atividade laboratorial para lhe dar resposta. Foi distribuído a todos os elementos do grupo um documento de apoio com alguns pressupostos teóricos necessários para o desenho de testes específicos para a identificação de nutrientes. Em pequenos grupos (de três ou quatro elementos) os alunos analisaram os documentos e discutiram de que modo poderiam usar essa informação para a resolução da questão em causa. B) Segunda aula (45 minutos): os grupos fizeram o desenho de uma atividade laboratorial. C) Terceira aula (90 minutos): realização da atividade experimental. O

material para cada pequeno grupo tinha sido preparado previamente no laboratório da escola pelos professores de acordo com os protocolos desenhados pelos alunos. D)

Quarta aula (45 minutos): os alunos interpretaram e discutiram os resultados em contexto de pequeno grupo e realizaram o pós-teste.

Grupo 2. A) Primeira aula (90 minutos): Realização de pré-teste e apresentação da situação-problema, com solicitação aos alunos para que desenhassem e implementassem uma atividade laboratorial para lhe dar resposta. Primeiramente foi dada instrução direta sobre a importância de realizar controlo de variáveis durante a realização de uma atividade laboratorial e a forma como isso pode ser feito. Depois foi distribuído a todos os elementos do grupo um documento de apoio com alguns pressupostos teóricos necessários para o desenho de testes específicos para a identificação de nutrientes. Em pequenos grupos (de três ou quatro elementos) os alunos analisaram os documentos e discutiram de que modo poderiam usar essa informação para a resolução da questão em causa. B) Segunda aula (45 minutos): os grupos fizeram o desenho de uma atividade laboratorial. C) Terceira aula (90 minutos): realização da atividade experimental. O material para cada pequeno grupo tinha sido preparado previamente no laboratório da escola pelos professores de acordo com os protocolos desenhados pelos alunos. D) Quarta aula (45 minutos): os alunos interpretaram e discutiram os resultados em contexto de pequeno grupo e realizaram o pós-teste.

Grupo 3. A) Primeira aula (45 minutos): Realização de pré-teste e apresentação da situação-problema. Seguidamente, foi feita a apresentação de um protocolo experimental que os alunos iriam implementar no laboratório da escola para responder à questão. Todos os pressupostos subjacentes à elaboração do protocolo foram

devidamente explicados aos alunos, que o analisaram e discutiram em pequenos grupos. B) Segunda aula (90 minutos): realização da atividade experimental em pequenos grupos (de três ou quatro elementos). O material também tinha sido preparado previamente pelos professores. C) Terceira aula (45 minutos): os alunos interpretaram e discutiram os resultados em contexto de pequeno grupo e realizaram o pós-teste.

Grupo 4. A) Primeira aula (45 minutos): Realização de pré-teste e apresentação da situação-problema. Os alunos receberam instrução de forma direta sobre a questão levantada. O protocolo a implementar foi-lhes em seguida distribuído e explicado, à semelhança do que foi feito com o grupo três. B) Segunda aula (90 minutos): realização da atividade experimental em pequenos grupos (de três ou quatro elementos). O material também tinha sido preparado previamente pelos professores. C) Terceira aula (45 minutos): os alunos interpretaram e discutiram os resultados em contexto de pequeno grupo e realizaram o pós-teste.

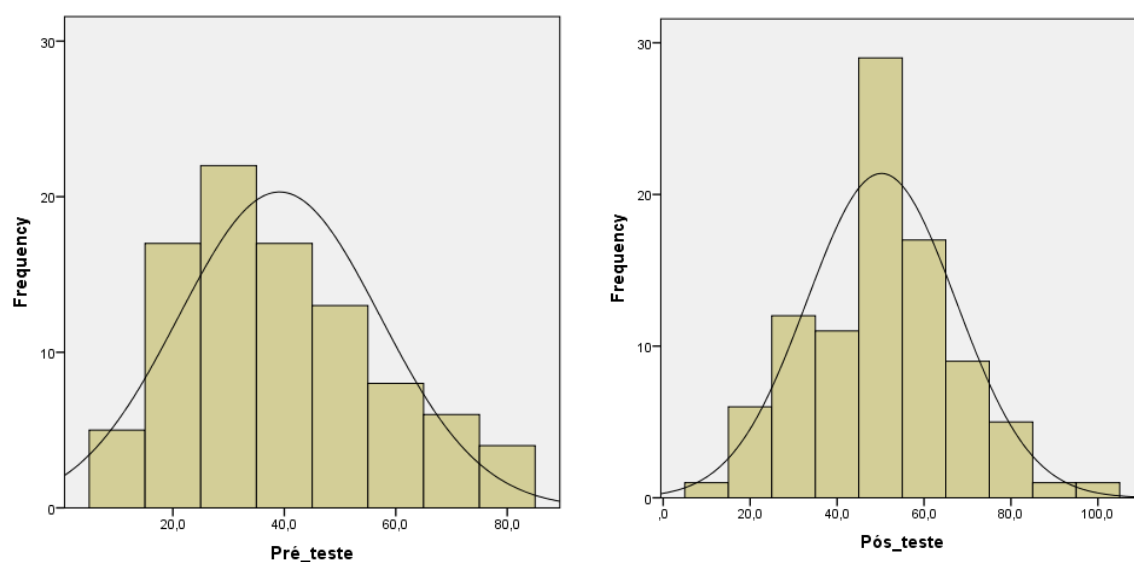
Para todos os grupos, o intervalo entre aulas foi de três ou quatro dias, de acordo com o horário de cada turma e as aprendizagens avaliadas foram apenas as de caráter conceptual.

RESULTADOS

Relativamente à distribuição dos resultados em pré e pós-teste, representada na Figura 7, foi obtida uma assimetria padronizada de 2.11 no pré-teste e de 0.55 no pós-teste.

Figura 7

Histogramas das pontuações em pré e pós-teste.



Verificámos se os grupos diferiam aquando do pré-teste e no pós-teste. Foi efetuado o cálculo de análise de variância (ANOVA) e foi considerado o *Sheffé test* para as comparações *post hoc* (Howell, 2011). Foram consideradas significativas diferenças com $p < .05$ (Howell, 2010). Os resultados estão expressos na Tabela 6.

O teste de Levene para avaliar a homocedasticidade não foi significativo, nem em pré-teste ($F_{Levene}(3,88) = 1.36, p = .261$) nem em pós-teste ($F_{Levene}(3,88) = 0.44, p = .727$).

Foram observadas diferenças estatisticamente significativas no pré-teste entre os grupos. No pré-teste o grupo 1 não diferiu significativamente dos restantes. O Grupo 2 obteve uma média significativamente superior ao Grupo 3 ($p = .012$) e ao Grupo 4 ($p = .000$).

No pós-teste os grupos não diferiram significativamente.

Tabela 6

Médias, desvios-padrão e ANOVA entre grupos no pré e pós-teste.

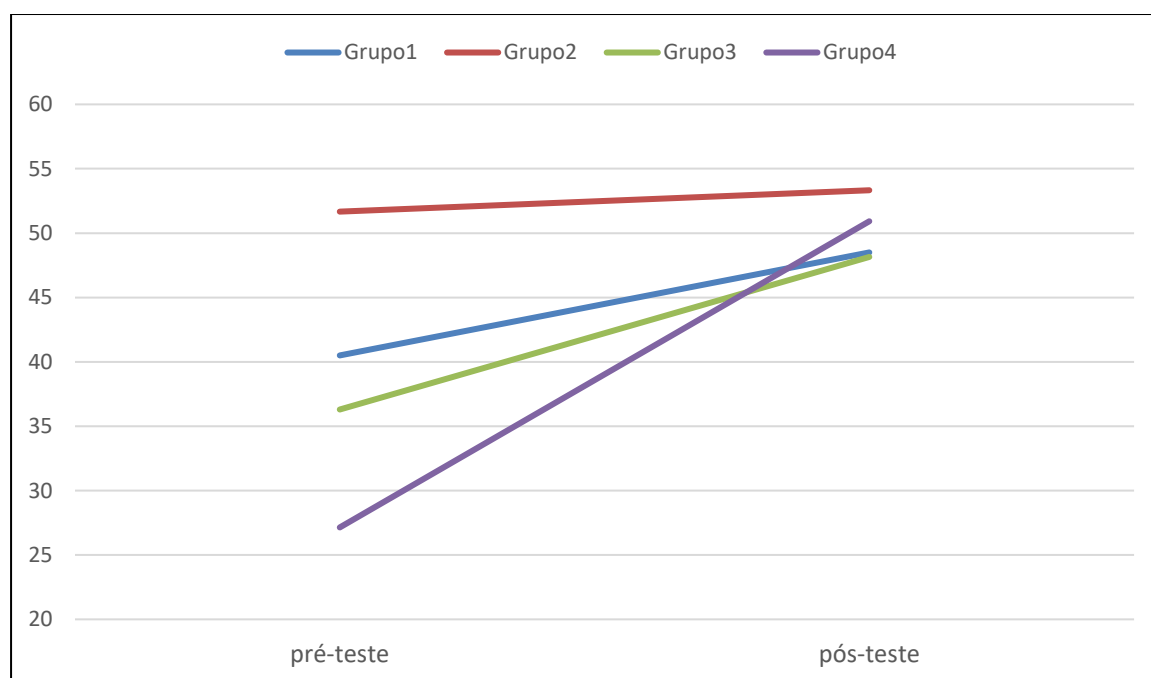
	Pré_teste						Pós-teste			
	N	Média	DP	N	$F(3,88)$	p	Média	DP	$F(3,88)$	p
Grupo 1	20	40,50	13,17	20	9,108	0,000	48,50	15,99	0,466	0,707
Grupo 2	24	51,67	17,36	24			53,33	16,33		
Grupo 3	27	36,30	18,22	27			48,15	18,19		
Grupo 4	21	27,14	13,84	21			50,95	18,41		
Total	92	39,13	18,08	92			50,22	17,16		

A figura 8 representa a evolução do desempenho dos diferentes grupos em pré e pós teste. As diferenças entre os grupos foram testadas com recurso a prova ANOVA com medidas repetidas (Tabachnick & Fidell, 2006). O grupo foi considerado como variável independente *between-subjects* e o momento de avaliação como variável independente *within subjects*, pré-teste e pós-teste, com medidas repetidas. As suposições foram verificadas com a prova M de Box, o teste de Levene.

Apesar da Manova ser robusta a violações moderadas da normalidade, é importante a análise dos *outliers* (Tabachnick & Fidell, 2006). Foram considerados *outliers* pontuações que se distanciassem $2.5DP$ da média. Estava nestas condições a pontuação em pós-teste de um sujeito do Grupo 4 (valor padronizado 2.90). Para o cálculo da Manova este valor foi truncado (Howell, 2011).

Figura 8

Médias em pré e pós-teste dos quatro grupos em estudo.



A homogeneidade das matrizes de variância-covariância foram testadas com o Box's M test, que obteve o valor de 8.88 ($F(9,72) = 0.945$, $p = .485$), não tendo sido estatisticamente significativo, por isso, deve ser considerada a equivalência das matrizes de covariância (Tabachnick & Fidell, 2006). A esfericidade é testada com o teste de Mauchly quando são analisados mais de dois momentos de avaliação, o que não é o caso e não foi aqui considerado. O teste de Levene não foi estatisticamente significativo nem no pré-teste ($F(3,88) = 1.36$, $p = .261$), nem no pós-teste ($F(3,88) = 0.57$, $p = .638$). Foi testada a interação entre o grupo e o momento de avaliação que foi estatisticamente significativo ($F(3,88) = 6.089$, $p = .001$), com uma magnitude do efeito de $\eta^2 = .17$. Entre o pré e o pós-teste o efeito foi estatisticamente significativo ($F(1,88) = 37.91$, $p = .000$) com uma magnitude do efeito de $\eta^2 = .301$. O efeito entre grupos também foi estatisticamente significativo ($F(3,88) = 3.94$, $p = .011$) com uma magnitude do efeito de $\eta^2 = .12$. Nas

comparações múltiplas com o Tukey test a diferença foi estatisticamente significativa entre o grupo 2 e 4 ($p = .009$).

Em seguida, e com o objetivo de aprofundar os resultados obtidos, procederemos ao estudo da mudança entre o pré e o pós-teste. Para o efeito, para cada sujeito foi subtraída a pontuação do pré-teste à pontuação do pós-teste (pós – pré = mudança). Os resultados encontram-se expressos na tabela 7.

Tabela 7

Médias, desvios-padrão e ANOVA da mudança em função do grupo.

Grupo	N	Média	DP	F	p
1	20	8,45	19,38	6,288	.001
2	24	1,67	18,34		
3	27	11,85	14,69		
4	21	23,81	16,58		

Em média os grupos no seu conjunto obtiveram uma mudança entre pré-teste e pós-teste de 11.09 ($DP = 18.90$), a assimetria padronizada foi de -0.52.

Foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos na mudança média ($F(3,88) = 6.29$, $p = .001$). O teste de Levene não foi significativo ($F(3,88) = .720$, $p = .543$). O grupo 1 obteve em média uma mudança estatisticamente inferior ao grupo 4 ($p = .027$), o mesmo acontecendo com o grupo 2 ($p = .000$).

Na Figura 9 é apresentada a representação gráfica da mudança, para cada sujeito, ocorridas entre o pré-teste e o pós-teste, para cada grupo. Cada coluna representa a magnitude da mudança de um sujeito. Os sujeitos que baixaram a pontuação do pré para o pós-teste têm um valor negativo, os que mantiveram têm o valor zero e os que aumentaram têm um valor positivo.

DISCUSSÃO

O trabalho que aqui apresentamos é quase-experimental, pois os alunos não foram distribuídos de forma aleatória pelos grupos de teste. A vontade de realizar o estudo em contexto de prática letiva real levantou-nos o problema da impossibilidade de constituir os grupos de teste de forma aleatória. Os alunos pertenciam a turmas que já estavam constituídas, cada qual com o seu horário definido desde o início do ano letivo para durar até ao seu término. No funcionamento de uma escola é extremamente difícil o ajuste de horários, pois uma alteração, por mais pequena que seja, interfere com os horários dos professores e de todas as turmas que os mesmos lecionam. Tivemos por isso de nos adaptar a essa situação e os grupos experimentais acabaram por forçosamente coincidir com as turmas que estavam já constituídas. Apenas por esse motivo o estudo aqui apresentado é quase-experimental e não experimental. Contudo, procurou-se minimizar este constrangimento com a distribuição aleatória dos grupos-turma pelas condições experimentais.

Com as condições experimentais criadas, procurámos implementar diferentes estratégias com um grau crescente de diretividade para levar os alunos a compreenderem como é que o pH e o substrato influenciam a atividade enzimática tendo como base a realização de uma atividade laboratorial. Esta prática está em linha com o que é preconizado nas aprendizagens essenciais específicas para o 9º ano de escolaridade da disciplina de Ciências Naturais, nomeadamente quando se refere que as temáticas abordadas “promovem a educação científica dos alunos, ajudando-os a (...) planejar e implementar investigações práticas, baseadas na observação sistemática, na modelação e no trabalho laboratorial/experimental, para ajudar a compreender o funcionamento do organismo humano” (DGE, 2018a).

O Grupo 1 e o Grupo 2 foram colocados em situações de aprendizagem minimamente guiadas, pois em ambos os casos os alunos procuraram a resposta para a questão inicial (aprendizagem baseada em resolução de problemas) num contexto de aprendizagem por descoberta. Foi-lhes apresentado um problema inicial e pedido que descobrissem a resposta ao mesmo (que faz parte de conceitos já bem conhecidos da ciência), modelando as atividades dos investigadores profissionais num contexto em que existe informação disponível de apoio à investigação (Kirshner et al., 2006; Alfieri et al., 2011).

No entanto, enquanto o Grupo 1 não recebeu qualquer instrução, o grupo dois foi sujeito a instrução prévia sobre Estratégia de Controlo de Variáveis (ECV), uma vez que esta é um pilar fundamental na correta interpretação de dados experimentais. Ao desenhar um procedimento experimental, é importante que se altere apenas uma variável de cada vez, para assegurar que o resultado se deve apenas e só à única alteração aplicada. Foi demonstrado por Chen e Khlar (1999) que a instrução direta sobre ECV promove uma melhoria significativa na capacidade de os alunos desenharem procedimentos experimentais inequívocos. De acordo com os autores, a instrução direta sobre ECV é necessária, pois não dominando os processos cognitivos envolvidos numa tarefa de investigação, ao contrário do que acontece com os investigadores experientes, os alunos sem experiência no domínio do raciocínio científico poderão simplesmente não ser capazes de saber como utilizar corretamente o material que têm à disposição (Chen e Khlar, 1999). Os autores argumentam ainda que, mesmo que os alunos adquiram as competências necessárias à realização adequada da tarefa de aprendizagem, demorariam muito mais tempo – que poderia ser poupado se utilizado na instrução direta da ECV.

Tendo em conta os resultados apresentados em vários estudos já descritos na introdução e apresentados, por exemplo, por Alfieri et al. (2011) que mostram a menor

eficácia da aprendizagem por descoberta minimamente guiada relativamente a métodos mais diretivos, esperaríamos que estes dois grupos apresentassem resultados menos promissores relativamente aos grupos com maior grau de diretividade na metodologia usada. Com a presença deste grupo, pretendia-se minimizar a probabilidade de os alunos desenharem maus procedimentos experimentais, potencialmente capazes de os induzir à obtenção de conclusões erradas. Permitir-nos-ia assim sustentar a hipótese de as diferenças registadas na metodologia de aprendizagem por descoberta minimamente guiada serem devidas às características da metodologia e menos ao potencial mau desenho experimental elaborado pelos alunos.

O Grupo 3 foi sujeito também a uma metodologia de aprendizagem por descoberta, mas com maior grau de diretividade. Alguns estudos apontam para que a instrução direta sobre um procedimento facilita a aprendizagem de conhecimento por descoberta (Klahr & Carver, 1988; Moreno, 2004). Por isso, neste grupo os alunos receberam protocolos corretamente elaborados que lhes foram explicados, para que o seu grau de entendimento relativamente à lógica do procedimento a seguir fosse semelhante ao do Grupo 1 e Grupo 2, que desenharam a sua própria metodologia experimental. A instrução dada foi sobre procedimentos e não sobre os conceitos a adquirir (Alfieri et al., 2011), por isso, a utilização da atividade laboratorial enquadra-se também neste caso numa perspetiva construtivista de aprendizagem por descoberta (Kirshner et al., 2006). Assegura-se com este grupo que as diferenças registadas não se devem a maus desenhos experimentais que conduzam a conclusões equívocas. Os grupos referidos, 1, 2 e 3, enquadram-se numa perspetiva de aprendizagem por descoberta, embora com diferentes graus de apoio, pois os conceitos a adquirir são descobertos pelos alunos e não instruídos pelo professor, dentro dos limites da tarefa e dos materiais disponíveis (Alfieri et al., 2011).

O Grupo 4 foi sujeito a uma metodologia de instrução direta sobre os conceitos que se pretendia que os alunos adquirissem, tendo sido a atividade laboratorial aplicada como forma de consolidação e ampliação dos conhecimentos, com a sua aplicação a um contexto real, e não como metodologia de investigação. O protocolo foi igualmente fornecido e explicado, à semelhança do que foi feito para o Grupo 3, para que os alunos compreendessem o propósito da realização de cada teste laboratorial e dar mais significado aos resultados obtidos.

Nos resultados dos pré-testes verificaram-se diferenças significativas entre grupos. Caso os alunos tivessem sido distribuídos de forma aleatória pelos grupos de teste, esperar-se-ia que estas diferenças não se registassem. Apesar de tudo, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos no número de alunos, idades ou sexo.

Relativamente ao percurso escolar dos alunos, não existe diferença estatisticamente significativa entre os grupos no que respeita ao número de retenções. Contudo, nos níveis de classificação auferidos na disciplina de Ciências Naturais (quer no 7º, quer no 8º ano de escolaridade) e nas habilitações académicas dos pais há diferenças estatisticamente significativas entre o Grupo 3 e o Grupo 4. O Grupo 3 é o grupo que apresenta a média de níveis de classificação mais elevada na disciplina de Ciências Naturais no 7º e 8º anos de escolaridade e o Grupo 4 é o que apresenta a média de níveis mais baixa, também nos dois anos de escolaridade considerados (tabela 2). Quanto ao grau de escolaridade dos pais, o Grupo 3 é o que apresenta pais com habilitações académicas mais elevadas, com frequências observadas no ensino básico inferiores ao esperado e no ensino superior superiores ao esperado, e o Grupo 4 o que apresenta pais com menores habilitações académicas, com frequências observadas significativamente inferiores ao esperado no ensino superior (tabela 3). Perante estes dados, o Grupo 3 parece ter vantagem inicial, já que os melhores resultados académicos

em anos anteriores podem ser um fator importante na presença de pré-requisitos que poderiam influenciar os resultados. Do mesmo modo, o Grupo 4 seria aquele em que os alunos poderiam manifestar mais dificuldades. Os pais dos alunos que constituíram o Grupo 3 apresentam habilitações académicas ao nível do ensino básico que são inferiores ao esperado e superiores ao esperado ao nível do ensino superior. A maior valorização do estudo e potencialmente melhores capacidades socioeconómicas poderão justificar o facto de estes terem sido os alunos com melhor desempenho escolar prévio que se reflete nas médias mais altas registadas no 7.º e 8.º ano de escolaridade. Esperar-se-ia, por isso, que estes fossem os alunos com melhores pré-requisitos e por isso com melhores pontuações no pré-teste. Tal não aconteceu.

Ao analisar os resultados do pré-teste, verificou-se que existe diferença estatisticamente significativa entre os grupos. Salienta-se a diferença significativa entre os resultados do Grupo 2 e os resultados dos grupos 3 e 4, o que mostra que estes grupos partiram de bases diferentes. Estes resultados indicam-nos que o Grupo 2 apresentava mais pré-requisitos que os grupos 3 e 4 (sendo que o Grupo 1 se situava numa posição intermédia, pois não diferia estatisticamente dos dois extremos – Grupo 2 por um lado e grupos 3 e 4 por outro).

Assumindo que a evolução é traduzida pela mudança dos resultados obtidos em pós teste e pré teste, verificou-se que o Grupo 4 foi o que mais evoluiu (Figura 2), e é também neste grupo que se verifica um maior número de indivíduos a superar as suas pontuações iniciais (Figura 3). Seguiram-se então o Grupo 3 e Grupo 1 (sucessivamente) e o Grupo 2 foi aquele em que se operou menos mudança.

Tendo em conta que se pretende avaliar o grau de eficácia da metodologia utilizada na evolução do conhecimento dos alunos, colocaremos de parte na nossa discussão o Grupo 2, pois neste caso particular, os alunos apresentam já um desempenho em pré-teste estatisticamente superior aos restantes grupos.

No caso concreto deste grupo, evolução do conhecimento é bastante incipiente. Comparando os resultados deste grupo com os dos restantes em pós-teste, a mudança é de apenas 1,67 em média, um valor significativamente inferior ao registado pelo grupo que apresenta o valor mais baixo seguinte – o Grupo 1, que apresenta uma mudança média de 8,45 (diferença estatisticamente significativa). A diferença para os restantes grupos acentua-se ainda mais (ver Tabela 7). Quem já sabe pouco tem para aprender; o mesmo não se passa nos outros grupos, que tiveram evoluções entre pré e pós-teste mais expressivas.

Todos os grupos atingiram o mesmo ponto de chegada, sem diferenças estatisticamente significativas entre si nos resultados obtidos em pós-teste. Todos atingiram o mesmo objetivo de aprendizagem. A este dado importante, junta-se outro: o Grupo 2 é o que apresenta um menor número de alunos a aumentar a sua pontuação. É ainda de salientar que o número de alunos que superou a sua pontuação (dez alunos) não constitui a maioria da amostra (apenas 41,67%) e é muito próximo do número de alunos que baixaram a sua pontuação (nove alunos), verificando-se uma evolução negativa entre pré e pós teste num número significativo de alunos neste grupo.

Estes resultados vêm na linha dos trabalhos de Clark (1989), que fez uma revisão de aproximadamente 70 estudos em que se procurou determinar até que ponto os resultados obtidos por diferentes métodos instrucionais podem ou não ser influenciados pelas aptidões e características dos alunos. Os estudos revistos incluíam situações muito diversas, com alunos desde os primeiros anos de escolaridade até ao ensino superior, e uma grande diversidade de tarefas e tipos de problemas. Clark verificou que, em vários dos estudos analisados, alunos com menos aptidões a quem foram atribuídos métodos de aprendizagem menos estruturados ou com menor grau de instrução acabaram por alcançar pontuações em pós-teste significativamente inferiores às que tinham obtido em pré-teste. De acordo com o autor, quando os alunos apresentam aptidões menos

desenvolvidas, a falta de estrutura e apoio durante a instrução pode resultar numa perda efetiva de conhecimento, o que poderá ajudar a explicar o número de alunos que reduziram as suas pontuações entre pré e pós teste. Também os alunos que integraram este estudo apresentam aptidões menos desenvolvidas na área de conhecimento que se estava a trabalhar, pois o conceito de enzima apenas é abordado oficialmente pela primeira vez no nível de escolaridade de que os alunos faziam parte.

Comparando os resultados deste grupo com o Grupo 1, que também partiu de uma condição em que a instrução direta prévia não existiu, verificamos que é o Grupo 1 que segue o Grupo 2 no que concerne ao número de alunos que baixaram as pontuações entre pré e pós teste. O Grupo 2 tinha os alunos que, à partida, obtiveram melhores pontuações em pré-teste. Existia maior conhecimento prévio que se perdeu. No Grupo 1 essa diferença não é tão expressiva porque o nível de conhecimento prévio é inferior, embora se verifique que foram estes dois grupos – os que receberam menor grau de instrução – aqueles em que maior número de alunos baixaram as suas pontuações.

Face ao exposto, sendo os alunos do Grupo 2, à partida, melhores que os que constituíam os outros grupos, não podemos afirmar com segurança que os resultados obtidos se devam ao método instrucional por si só, ou às características destes alunos, que à partida já apresentavam mais pré-requisitos que os restantes. Não será por isso possível estabelecer uma comparação justa entre este grupo e os restantes.

Este poderia ser um ponto de partida para investigações futuras – testar diferentes métodos de ensino em alunos com diferentes graus de pré-requisitos, determinando qual o método mais adequado para cada um.

Centremo-nos agora nos grupos 1, 3 e 4.

O facto de haver interação mostra que o tipo de instrução afetou os resultados. Pela análise da figura 2, vê-se que é o Grupo 4 quem se destaca do 1 e do 3 no que concerne à mudança entre pré e pós-teste.

Nos grupos 1 e 3 não existe instrução prévia sobre conceitos (apenas sobre procedimentos, no caso do grupo 3) e a atividade laboratorial é utilizada como forma de alcançar o objetivo da aprendizagem. No Grupo 4 a atividade laboratorial é utilizada como uma forma de consolidação da instrução direta prévia que é dada aos alunos sobre o objetivo da aprendizagem.

Considerando o resultado obtido pelos grupos no que respeita à mudança dos resultados, podemos verificar que a metodologia aplicada ao Grupo 4 (instrução direta prévia seguida de experimentação laboratorial) se revelou mais eficaz do que a metodologia de aprendizagem por descoberta, mais ou menos apoiada – figura 2 (sendo a diferença estatisticamente significativa entre os grupos 1 e 4 – tabela 6). O Grupo 4 é aquele em que há maior mudança ($M = 23,81$), seguido do Grupo 3 ($M = 11,85$) e do Grupo 1 ($M = 8,45$).

As metodologias mais diretivas são apoiadas num vasto conjunto de estudos (por exemplo, Gersten & Keating, 1987; Klahr & Carver, 1988; Chen & Klahr, 1999; Mayer, 2004; Toth et al., 2000; Klahr e Nigam, 2004; Rittle-Johnson, 2006) e são defendidas por vários autores cognitivistas, apoiados no que se sabe sobre a arquitetura cognitiva humana e na Teoria da Carga Cognitiva, como Kirshner et al. (2006). Como vimos, de acordo com esta teoria, a memória de trabalho tem uma capacidade muito limitada de processamento de informação. O excesso de informação nova com que um aluno tem de lidar ao procurar resolver um problema sobrecarrega a memória de trabalho durante o processamento da nova informação, levando a que a aprendizagem não seja efetuada de forma eficaz (Sweller et al., 1998; Paas et al., 2003). No caso do Grupo 4, estes alunos já apresentavam informação prévia sobre a questão a que a atividade laboratorial pretendia responder. Tiveram apenas de lidar com a nova informação, relacionada com a interpretação de dados e domínio de procedimentos laboratoriais. No caso deste

grupo, os alunos estavam apenas sujeitos a uma carga cognitiva intrínseca, relacionada com a complexidade naturalmente inerente à informação.

Comparemos agora o Grupo 3 com o Grupo 1. O Grupo 3 pouco diferiu do grupo 1 em pré-teste, apesar de ter registado uma maior mudança nos resultados de pós teste quando comparado com o Grupo 1. Neste caso, os alunos não tiveram de se preocupar com o delinear da atividade que lhes iria permitir alcançar o objetivo (como aconteceu com o Grupo 1). O protocolo foi fornecido e explicados os seus princípios. Apenas se centraram na sua execução e interpretação dos resultados obtidos.

No caso do Grupo 1, sem qualquer grau de instrução prévia, os alunos viram-se obrigados a pesquisar sobre procedimentos, escolher os procedimentos a executar e planificar a forma de os fazer (selecionar materiais e definir os métodos). Em alguns casos, os procedimentos escolhidos pelos alunos não eram adequados e/ou faltavam controlos para as suas condições experimentais o que não lhes permitiu a obtenção de dados fiáveis que lhes permitisse chegar a uma conclusão, reforçando a ideia já avançada da importância do domínio de competências relacionadas com a ECV.

Nestes grupos, à carga cognitiva intrínseca soma-se a carga cognitiva extrínseca, inerente aos métodos de ensino que não favorecem a aprendizagem. O Grupo 1 desenhou o seu próprio protocolo, que depois seguiu com o objetivo de vir a ser capaz de responder à questão inicial. O Grupo 3 recebeu instrução sobre o procedimento. Este apoio no processo de aprendizagem terá sido um fator importante na redução da carga cognitiva a que os alunos estavam sujeitos, o que poderá justificar a maior mudança verificada neste grupo relativamente ao Grupo 1 (embora estes resultados sejam incipientes, uma vez que não são estatisticamente significativos).

O Grupo 4, sujeito a uma metodologia de ensino de instrução direta, é aquele em que se opera maior mudança entre pré e pós-teste. Estes resultados vêm na linha dos estudos analisados por Alfieri et al. (2011), onde se constata que a instrução direta é

mais favorável quando comparada com metodologias de ensino baseadas na descoberta pura. Recordando os pressupostos da arquitetura cognitiva humana e da teoria da sobrecarga cognitiva, estando os alunos em contacto com uma elevada quantidade de elementos que requerem processamento simultâneo (informação relacionada com os conceitos a aprender e informação relacionada com os procedimentos laboratoriais), a memória de trabalho responsável pelo processamento da informação adquirida e seu armazenamento na memória de longo prazo pode ser sobrecarregada, impedindo a aprendizagem. Contudo, a carga cognitiva pode ser minimizada se a interação entre elementos a ser processados simultaneamente for reduzida (Sweller, 2011). A instrução direta prévia, neste caso, permitiu a aquisição de esquemas relacionados com os conceitos teóricos a adquirir e quando os alunos partiram para a atividade laboratorial, a nova informação trazida pelos resultados da mesma foi integrada nos esquemas previamente adquiridos, libertando os recursos da memória de trabalho para o processamento de informação e aquisição de novo conhecimento.

A superioridade da metodologia aplicada ao Grupo 4 reflete-se ainda na percentagem de alunos que reduziram as suas pontuações entre pré e pós teste (Cfr. tabela 7). O Grupo 4 é aquele em que menor percentagem de alunos reduz a sua pontuação (9,52%), seguindo-se depois os grupos 3 e 1 (com 11,1% e 20%, respetivamente). Verifica-se que quanto maior o grau de diretividade aplicado no método instrucional, menor é a percentagem de alunos que reduz as suas pontuações entre pré e pós teste, o que vem em linha com os trabalhos de Clark (1989), já referidos aquando da análise dos resultados do Grupo 2.

No entanto, colocar-se-ia ainda a questão: então e se os alunos que constituíam o Grupo 4 já tinham melhor desempenho escolar prévio que os alunos dos restantes grupos? Eventualmente o seu melhor desempenho poderia não estar relacionado apenas com o método aplicado nesta investigação. Cruzando estes resultados com os dados

sociodemográficos e do percurso escolar dos alunos, podemos ter uma melhor perspectiva sobre esta questão.

Embora não existam diferenças significativas entre os grupos no que toca ao número de retenções prévias, o Grupo 4 é aquele cujos alunos apresentaram uma média mais baixa quer no 7.º, quer no 8.º ano de escolaridade (Tabela 2). Os pais dos alunos deste grupo são também aqueles cujas habilitações académicas ao nível do ensino superior são significativamente inferiores ao esperado (Tabela 3). Estes seriam, à partida, os alunos com menos pré-requisitos (isso verificou-se nos resultados do pré-teste – os mais baixos de todos os grupos) e cuja sobrecarga cognitiva poderia ser um maior impedimento à aquisição de novos conceitos. No entanto, este foi o grupo que maior mudança registou entre os resultados de pré e pós teste (Figura 2) e em que se verificou um maior número de alunos a superar os resultados obtidos em pós teste (Figura 3). Parece-nos então claro que o desempenho auferido pelo Grupo 4 se deve à metodologia de ensino de que foram alvo e não a um possível melhor desempenho escolar que os restantes grupos. Estes resultados levantam ainda outra questão: poderão os métodos diretivos ser mais eficazes com este tipo de alunos, isto é, com alunos que à partida têm menos pré-requisitos para a aquisição de novos conhecimentos? Khlar e Li (2005) referem um estudo em que tal efetivamente se verifica (aplicado a instrução sobre ECV). Talvez mais estudos futuros nos possam trazer outras luzes a respeito deste assunto.

Vários autores argumentaram a respeito da limitação da capacidade dos mecanismos de processamento cognitivo (Sweller, 1998; Sweller et al., 1998; Kirshner, 2002; Paas et al., 2003; Klahr & Nigam, 2004). Na prática, a instrução prévia poderá ter ajudado a reduzir a carga cognitiva dos alunos do Grupo 3, determinando o seu maior sucesso relativamente ao Grupo 1 – o que corrobora a hipótese levantada relativamente ao Grupo 4.

Como já foi referido, todos os grupos atingiram o mesmo objetivo de aprendizagem, já que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos no pós-teste. Contudo, o tempo necessário para alcançar esse mesmo objetivo não foi o mesmo. Os grupos 1 e 2, colocados numa situação de aprendizagem minimamente guiada (tinham de desenhar o seu próprio protocolo experimental para além da sua implementação) necessitaram de mais uma aula de 45 minutos do que os restantes (Tabela 4). Os estudos analisados e elencados por Alfieri et al. (2011) mostraram que as metodologias baseadas em descoberta guiada se revelaram mais eficazes quando comparadas com outros tipos de metodologias, mas os autores também referem que as metodologias menos diretivas necessitam de mais tempo para uma implementação com resultados satisfatórios. Face a estes resultados, verifica-se que neste trabalho faltou criar uma situação experimental na qual os alunos pudessem usufruir de mais tempo e ser-lhes dado mais apoio quer na elaboração dos protocolos (em que estes fossem revistos pelos professores e devidamente reformulados antes de serem colocados em prática pelos alunos) quer na análise dos resultados obtidos por via experimental.

Numa metodologia de aprendizagem por descoberta, apoiada na planificação e realização de atividades experimentais, provavelmente, a revisão e orientação por parte do professor (ajudando a retificar erros e sugerindo meios de pesquisa) poderia permitir aos alunos atingir uma maior mudança e alcançar os objetivos em plenitude. Talvez até aprender mais sobre procedimentos e práticas científicas. Os estudos que já referimos (Alfieri et al., 2011) indicam que a extensão do apoio que é dado ao aluno influencia o grau de dificuldade inerente ao processo de descoberta da informação alvo. Contudo, isso iria implicar muito mais tempo de aulas para a consecução do objetivo da aprendizagem. Comparando, por exemplo, os trabalhos de Toth, Chen e Klahr (2000) com os de Dean e Kuhn (2007), verifica-se que os primeiros alcançam um elevado nível

de proficiência em controlo de variáveis ao fim de quatro sessões de quatro minutos por instrução direta, enquanto os segundos só ao fim de 12 sessões de 45 minutos conseguiram que os sujeitos começassem a fazer inferências simples válidas usando o método de aprendizagem por descoberta. Os resultados da análise de Alfieri et al. (2001) apontam no mesmo sentido, sugerindo que os alunos demoram mais tempo para encontrar as soluções para os problemas ou a alcançar um determinado objetivo de aprendizagem quando são envolvidos em tarefas de descoberta guiada (pois esta envolve acompanhamento, *feedback* e correção de procedimentos de investigação sempre que necessário até que se chegue ao resultado final). Também Zhu e Simon (1987) demonstraram que com recurso a métodos de maior diretividade se poderia lecionar em dois anos cursos de matemática que tradicionalmente se lecionavam em três usando métodos menos diretivos.

Khlar (2009) afirma que até pessoas sem qualquer tipo de pré-requisito podem aprender sem qualquer tipo de auxílio. No entanto, “o facto de aprenderem não significa que não tivessem aprendido mais em menos tempo caso tivessem recebido alguma instrução” (traduzido).

CONCLUSÕES

No nosso trabalho procurámos determinar qual a melhor metodologia para ensinar ciências, nomeadamente no que concerne ao grau de instrução direta versus aprendizagem por descoberta e à forma de utilizar as atividades laboratoriais nesse processo – como forma de chegar ao conhecimento numa lógica de aprendizagem por descoberta ou de consolidação dos conhecimentos adquiridos por instrução direta. Verificámos que a instrução prévia se revela mais eficaz, sendo fundamental para que os alunos possam dar significado à atividade laboratorial. Estes resultados são coincidentes com outros estudos que indicam a supremacia da instrução direta face à descoberta pura (analisados por Alfieri et al., 2011). Contudo, também se verifica que a aprendizagem por descoberta guiada é mais eficaz face a outras metodologias. Neste trabalho implementámos apenas condições experimentais em que se confrontou a aprendizagem por descoberta pura com a aprendizagem via instrução direta. Ficará para trabalhos futuros a comparação destas metodologias com uma situação de aprendizagem por descoberta guiada em contexto real escolar.

No atual contexto escolar das escolas portuguesas, verificou-se que as atividades laboratoriais permitem uma aprendizagem mais significativa quando utilizadas como forma de consolidação de conhecimentos previamente apresentados pelo professor. Neste caso em concreto, percebe-se que com alunos com menores pré-requisitos a instrução direta é um método de ensino que resulta. Diminui a carga cognitiva extrínseca e permite aos alunos alocar mais recursos da sua memória de trabalho na construção de esquemas.

No entanto, há alguns desafios importantes que se colocam ao sistema de ensino português tal como está desenhado/implementado. Para muitos autores, o ensino das ciências não pode passar apenas pelo ensino de conteúdos. É importante também

ensinar a pensar como um cientista, compreender e aplicar o método científico (Kirschner, et al., 2006; Sweller et al., 2007; Duschl & Duncan, 2009). Os trabalhos de Dean e Kuhn (2007), corroborados pela análise levada a cabo por Alfieri et al. (2011) vem mostrar que para desenvolver uma metodologia de ensino baseada na descoberta guiada (na qual o trabalho laboratorial possa assumir um papel de relevo) é necessário despende mais tempo no processo de ensino-aprendizagem. Os currículos desenhados para a disciplina de Ciências Naturais e de Biologia e Geologia, embora valorizem as concepções construtivistas e a capacidade de analisar dados e implementar atividades laboratoriais na aprendizagem de conceitos e princípios básicos da ciência, não têm uma relação adequada entre a extensão de conceitos e princípios básicos a abordar e o tempo semanal da disciplina que para isso é disponibilizado.

Em Portugal, a partir do início dos anos 90 e durante cerca de uma década os currículos das disciplinas científicas tiveram disciplinas inteiramente focadas no trabalho laboratorial – Técnicas Laboratoriais de Biologia, Geologia, Química, e Física, que permitiam aos alunos numa base semanal e sistemática treinar competências de manuseamento de materiais e reagentes, domínio de procedimentos, interpretação de resultados, desenho experimental e raciocínio científico (Leite, 2001). Rosenshine (2009), entre os vários estudos que apresenta, refere também trabalhos que demonstram que a prática e automatização de procedimentos são fundamentais para que o aluno possa dedicar mais atenção à compreensão e aplicação de novos conhecimentos. Os nossos atuais alunos não dominam as técnicas laboratoriais porque não as executam de forma sistemática nem tão pouco têm tempo para aplicar as competências inerentes à aplicação do método científico. A sobrecarga cognitiva é enorme e condena ao fracasso todas as metodologias que pretendam uma aprendizagem por descoberta baseada em atividades laboratoriais sem o tempo adequado para que os alunos possam dar significado ao que estão a fazer.

Nesse sentido, torna-se importante fazer opções no que toca ao currículo e carga horária das disciplinas de caráter científico, acompanhadas da adequação do tamanho das turmas às metodologias pretendidas.

Para que o trabalho laboratorial possa ser implementado nas disciplinas científicas conforme preconizado nas Aprendizagens Essenciais e no PASEO, é necessário dotar estas disciplinas da carga horária e materiais necessários para que o trabalho laboratorial possa ser desenvolvido de forma sistemática, permitindo aos alunos eliminar a sobrecarga cognitiva inerente à execução de procedimentos e desenvolver as competências relacionadas com a aplicação do método científico. Ao mesmo tempo, uma abordagem construtivista do ensino, tal como preconizado nestes documentos de referência, implica que o professor possa dar apoio ao trabalho desenvolvido pelos alunos, tarefa que não se afigura fácil com um elevado número de alunos para apoiar em simultâneo. Será por isso importante repensar também o número de alunos por turma.

Com as condições adequadas, é possível a implementação de metodologias de ensino baseadas nos princípios construtivistas, desde que sejam dadas a professores e alunos as condições adequadas. Caso tal não aconteça, poderemos estar a condenar ao insucesso este tipo de práticas.

BIBLIOGRAFIA

- Adams, G., & Engelmann, S. (1996). *Research on direct instruction: 20 years beyond DISTAR*. Seattle, WA: Educational Achievement Systems.
- Agresti, A. (2002). *Categorical Data Analysis (2nd Ed.)*. New York: Wiley.
- Alberts, B. (2009). Redefining science education. *Science*, 323(5913), 437.
<https://doi.org/10.1126/science.1170933>
- Alfieri, L.; Brooks, P. J., Aldrich, N. J. & Tenenbaum, H. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103(1), pp. 1-18.
<https://doi.org/10.1037/a0021017>
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence, *The psychology of learning and motivation: II*. Academic Press.
[https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Ayres, P.; Paas, F. (2012). Cognitive Load Theory: New Directions and Challenges. *Applied Cognitive Psychology*, 26, 827–832. <https://doi.org/10.1002/acp.2882>
- Baddeley A. (2010). Working memory. *Current biology: CB*, 20(4), R136–R140.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014>
- Bidarra, M. G., & Festas, M. I. (2005). Construtivismo(s): Implicações e interpretações educativas. *Revista Portuguesa de Pedagogia*, 39(2), 177-195.
<http://hdl.handle.net/10316/11548>
- Brown, A. L., & Campione, J. C. (1994). Guided discovery in a community of learners. In K. McGilly (Ed.), *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice* (pp. 229–270). The MIT Press.

- Caviglioli, O. (2020) [representação esquemática do modelo de memória de Willingham]
<https://teacherhead.com/2020/03/10/a-model-for-the-learning-process-and-why-it-helps-to-have-one/>
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4(1), 55–81. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(73\)90004-2](https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90004-2)
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the Control of Variables Strategy. *Child Development*, 70(5), 1098–1120.
<https://doi.org/10.1111/1467-8624.00081>
- Chi, M. T. H., Glaser, R., & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (vol. 1, pp. 7-76). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Clark, R. E. (1989). When teaching kills learning: Research on mathemathantics. In H. N. Mandl, N. Bennett, E. de Corte & H. F. Freidrich (Eds.) *Learning and instruction: European research in an international context* (Vol. 2, pp. 1-22). London: Pergamon.
- Clark, R., Kirschner, P. & Sweller, J. (2012). Putting students on the path to learning: The case for fully guided instruction. *American Educator*, 36, 6-11.
- Cobern, W. W., Schuster, D., Adams, B., Applegate, B., Skjold, B., Undreiu, A., Loving, C. C. & Gobert, J. D. (2010). Experimental comparison of inquiry and direct instruction in science. *Research in Science & Technological Education*, 28, 81-96.
<https://doi.org/10.1080/02635140903513599>
- Corder, G.W. & Foreman, D.I. (2009). *Nonparametric Statistics for Non-Statisticians: A Step-by-Step Approach*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.

- Coll, C., Martin, E., Mauri, T., Miras, M., Onrubia, J., Solé, I. & Zabala, A. (2001). *O Construtivismo na sala de aula. Novas perspetivas para a acção pedagógica*. Coleção Em Foco, Edições Asa.
- Craig, R. C. (1956). Directed versus independent discovery of established relations. *Journal of Educational Psychology*, 47(4), 223-234.
<https://doi.org/10.1037/h0046768>
- De Groot, A. D. (1965). *Thought and choice in chess*. The Hague, Netherlands: Mouton.
- Dean, D., Jr., & Kuhn, D. (2007). Direct instruction vs. discovery: The long view. *Science Education*, 91(3), 384–397. <https://doi.org/10.1002/sce.20194>
- Departamento do Ensino Secundário (2003). *Documento orientador da Revisão Curricular do Ensino Secundário*. Lisboa: Ministério da Educação.
- Direção-Geral da Educação da República Portuguesa (2018a), *Aprendizagens Essenciais – 2º e 3º Ciclos do Ensino Básico de Ciências Naturais 9º ano de escolaridade*. Disponível em: <https://www.dge.mec.pt/programas-e-metas-curriculares/ciencias-naturais> (consultado em maio 2021)
- Direção-Geral da Educação da República Portuguesa (2018b), *Aprendizagens Essenciais – Biologia e Geologia*. Disponível em <https://www.dge.mec.pt/biologia-e-geologia> (consultado em maio 2021)
- Dourado, L. (2001). Trabalho prático, trabalho laboratorial, trabalho de campo e trabalho experimental no ensino das ciências – contributos para uma clarificação de termos. In A. Veríssimo, A. Pedrosa, R. Ribeiro (Eds.), *(Re)Pensar o Ensino das Ciências* (pp. 13-18). Lisboa: Ministério da Educação – Departamento do Ensino Secundário.

- Duffy, T. M. (2009). Building Lines of Communication and a Research Agenda. In S. Tobias & T. Duffy (Eds.), *Constructivist theory applied to instruction. Success or failure?* (pp. 351-367). New York: Routledge.
- Duschl, R. A. & Duncan, R. G. (2009). Beyond the Fringe – Building and Evaluating Knowledge Systems. In S. Tobias & T. M. Duffy (Eds.), *Constructivist theory applied to instruction: Success or failure?* (pp. 311–332). New York, NY: Taylor & Francis
- Fay, A. L., & Mayer, R. E. (1994). Benefits of teaching design skills before teaching Logo computer programming: Evidence for syntax-independent learning. *Journal of Educational Computing Research*, 11(3), 187–210. <https://doi.org/10.2190/5MN5-P7LW-JRB4-W9T5>
- Festas, I. (1998). Intervenção nos problemas de desenvolvimento e de aprendizagem. In N. Raposo, G. Bidarra, e I. Festas (Eds.), *Dificuldades de desenvolvimento e de aprendizagem* (pp. 171-182). Lisboa: Universidade Aberta.
- Festas, I. (2020). Métodos de ensino: as instruções e a descoberta serão inconciliáveis? In Abrantes, I.; Callapez, P. M.; Correia, G. P.; Gomes, E.; Lopes, B.; Lopes, F. C.; Pires, E. & Rola, A. (Eds.), *Uma visão holística da Terra e do Espaço nas suas vertentes naturais e humanas. Homenagem à Professora Celeste Romualdo Gomes*. Coimbra: CITEUC. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4411596>
- Festas, I.; Castro, S. L. (2013). "Aprendizagem e cognição em áreas específicas: Leitura, escrita, compreensão, composição de textos, ciências e estudos sociais". In *Psicologia da Educação: Teoria, Investigação e Aplicação*, 395-443. Lisboa: Climepsi – Escolar Editora.

- Fiolhais, C. (2011). *A Ciência em Portugal*. Fundação Francisco Manuel dos Santos. Relógio D'Água Editores.
- Ford, M. J., & Forman, E. A. (2006). Redefining disciplinary learning in classroom contexts. *Review of Research in Education*, 30, 1–32.
<https://doi.org/10.3102%2F0091732X030001001>
- Fosnot, C. T. (1999). *Construtivismo e Educação – Teoria, perspectivas e prática*. Coleção Horizontes Pedagógicos. Instituto Piaget.
- Gagne, R. M. (1962). The acquisition of knowledge. *Psychological Review*, 69(4), 355–365.
<https://doi.org/10.1037/h0042650>
- Geary, D. (2007). Educating the evolved mind: Conceptual foundations for an evolutionary educational psychology. In J. S. Carlson, & J. R. Levin (Eds.), *Psychological perspectives on contemporary educational issues* (pp. 1–99). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Gersten, R. & Keating, T. (1987). Long-Term Benefits from Direct Instruction. *Educational Leadership*. 44(6), 28–31.
- Glaserfeld E. von (1995) A constructivist approach to teaching. In: Steffe L. P. & Gale J. (eds.) *Constructivism in education*. Erlbaum, Hillsdale: 3–15.
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how students learn? *Educational Psychology Review*, 16, 235-266.
<https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G. & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42, 99–107.
<https://doi.org/10.1080/00461520701263368>

- Hodson, D. (1988). Experiments in Science Teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 20(2), 53-66. <https://doi.org/10.1111/j.1469-5812.1988.tb00144.x>
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4417>.
- Hodson, D. (2014) Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*. 36(15), 2534-2555. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.899722>
- Howell, D. (2011). *Fundamental Statistics for the Behavioral Sciences (7ªEd.)*. Belmont: Wadsworth Cengage Learning.
- Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, practical work and Academic skills in science education. *Science & Education*, 1, 273–299. <https://doi.org/10.1007/BF00430277>
- Kirshner, P. A. (2002). Cognitive load theory: implications of cognitive load theory on the design of learning [Editorial]. *Learning and Instruction*, 12(1), 1 – 10. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(01\)00014-7](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00014-7)
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006) Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86, http://dx.doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- Kittell, J. E. (1957). An experimental study of the effect of external direction during learning on transfer and retention of principles. *Journal of Educational Psychology*, 48(7), 391-405. <https://doi.org/10.1037/h0046792>
- Klahr, D. (2000). Exploring science: The cognition and development of discovery processes. Cambridge, MA: MIT Press.

Klahr, D. (2005). Early science instruction: Addressing fundamental issues. *Psychological Science*, 16(11), 871–872.

<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01629.x>

Klahr, D. (2009). “To everything there is a season, and a time to every purpose under the heavens”: What about direct instruction? In S. Tobias & T. M. Duffy (Eds.), *Constructivist theory applied to instruction: Success or failure?* (pp. 291–310). New York, NY: Taylor & Francis.

Klahr, D., & Carver, S. M. (1988). Cognitive objectives in a LOGO debugging curriculum: Instruction, learning, and transfer. *Cognitive Psychology*, 20, 362–404.

[https://doi.org/10.1016/0010-0285\(88\)90004-7](https://doi.org/10.1016/0010-0285(88)90004-7)

Klahr, D., & Li, J. (2005). Cognitive Research and Elementary Science Instruction: From the Laboratory, to the Classroom, and Back. *J Sci Educ Technol* 14, 217–238.

<https://doi.org/10.1007/s10956-005-4423-5>

Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15, 661–667. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00737.x>

Kotovsky, K.; Hayes, J.R. & H.A Simon (1985). Why are some problems hard? Evidence from Tower of Hanoi, *Cognitive Psychology*, 17(2), 248-294.

[https://doi.org/10.1016/0010-0285\(85\)90009-X](https://doi.org/10.1016/0010-0285(85)90009-X)

Kuhn, D. (2005). What Needs to Be Mastered in Mastery of Scientific Method? *Psychological Science*, 16(11), 873–874.

<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01630.x>

Kuhn, D. (2007). Is direct instruction the answer to the right question? *Educational Psychologist*, 42, 109–113. <https://doi.org/10.1080/00461520701263376>

- Kuhn, D., Black, J., Keselman, A. & Kaplan, D. (2000) The Development of Cognitive Skills To Support Inquiry Learning. *Cognition and Instruction*, 18(4),495-523.
https://doi.org/10.1207/S1532690XCI1804_3
- Kuhn, D., & Dean, D. (2005a). Is developing scientific thinking all about learning to control variables? *Psychological Science*, 16, 866–870.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01628.x>
- Lashley, T.; Matczynsky, T. & Rowley, J. (2002). *Instructional models: Strategies for teaching in a diverse society* (2nd ed.). Belmont, CA: Wadsworth.
- Lee, M. O. C., & Thompson, A. (1997). Guided Instruction in Logo Programming and the Development of Cognitive Monitoring Strategies among College Students. *Journal of Educational Computing Research*, 16(2), 125–144.
<https://doi.org/10.2190/PW3F-HLFD-1NNJ-H77Q>
- Leite, L. (2001). *Contributos para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das ciências*. In H. V. Caetano & M. G. Santos (Orgs.), *Cadernos Didáticos de Ciências – Volume 1*. Lisboa: Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário (DES), pp. 77-96.
- Leite, L. (2002). As actividades laboratoriais e o desenvolvimento conceptual e metodológico dos alunos, *Boletín das Ciências*, 51, 83-92.
<http://hdl.handle.net/1822/10038>
- Leite, L. & Dourado, L. (2013) Laboratory Activities, Science Education and Problem-solving Skills, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 106, 1677-1686.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.190>

- Magliaro, S., Lockee, B. & Burton, J. (2005) Direct instruction revisited: A key model for instructional technology. *Educational Technology Research and Development*, 53, 41-55. <https://doi.org/10.1007/BF02504684>.
- Marcus, N., Cooper, M., & Sweller, J. (1996). Understanding instructions. *Journal of Educational Psychology*, 88(1), 49–63. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.88.1.49>
- Martins, G. O.; Gomes, C. A. S.; Brocardo, J. M. L.; Pedroso, J. V.; Carrillo, J. L. A.; Silva, L. M. U.; Encarnação, M. M. G. A.; Horta, M. J. V. C.; Calçada, M. T. C. S.; Nery, R. F. V.; Rodrigues, S. M. C. V. (2017). Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória, Editorial do Ministério da Educação. Disponível em <https://www.dge.mec.pt/noticias/perfil-dos-alunos-saida-da-escolaridade-obrigatoria> . Acedido em maio de 2021.
- Mayer, R. E. (2003). *Learning and instruction*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Mayer, R.E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist*, 59, 14–19. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.59.1.14>
- Mayer, R. E. (2009). Constructivism as a theory of learning versus constructivism as a prescription for instruction. In S. Tobias & T. M. Duffy (Eds.), *Constructivist theory applied to instruction: Success or failure?* (pp. 184–200). New York, NY: Taylor & Francis.
- Mayer, R. & Anderson, R. (1992). The Instructive Animation: Helping Students Build Connections Between Words and Pictures in Multimedia Learning. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 444-452. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.444>.

McGinn, M. K., & Roth, W.-M. (1999). Preparing Students for Competent Scientific Practice: Implications of Recent Research in Science and Technology Studies. *Educational Researcher*, 28(3), 14–24.

<https://doi.org/10.3102/0013189X028003014>

Moreno, R. (2004) Decreasing Cognitive Load for Novice Students: Effects of Explanatory versus Corrective Feedback in Discovery-Based Multimedia. *Instructional Science*, 32, 99–113.

<https://doi.org/10.1023/B:TRUC.0000021811.66966.1d>

Moreno, R. (2010). *Educational Psychology*. University of Mexico. John Wiley and Sons.

Moreno, R. & Park, B. (2010). Cognitive Load Theory: Historical Development and Relation to Other Theories. In Plass, J.L., Moreno, R., Brunken, R(Ed.), *Cognitive Load Theory* (pp. 9-28). New York: Cambridge University Press.

National Centre for Computing Education (2019) [Diagrama representativo das limitações da memória de trabalho]

https://blog.teachcomputing.org/podcast_ep3_cognitive_load_theory_in_computing/

Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38, 1–4.

https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1

Paas, F. Renkl, A. & Sweller, John. (2004). Cognitive Load Theory: Instructional Implications of the Interaction between Information Structures and Cognitive Architecture. *Instructional Science*. 32. 1-8.

<https://doi.org/10.1023/B:TRUC.0000021806.17516.d0>

- Paas, F., & Ayres, P. (2014). Cognitive Load Theory: A Broader View on the Role of Memory in Learning and Education. *Educational Psychology Review*, 26, 191–195. <https://doi.org/10.1007/s10648-014-9263-5>
- Piaget, J. (1973). *Psychology and Epistemology: Towards a Theory of Knowledge*. Record: Rio de Janeiro
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1958). *The Growth Of Logical Thinking From Childhood To Adolescence: An essay on the construction of formal operational structures* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315009674>
- Reis, P.R. (1996). O trabalho de laboratório na aprendizagem e avaliação em ciências. *Noesis*. 38, 48-50.
- Rosenshine, B. (2008). *Five meanings of direct instruction*. *Academic Development Institute*. Disponível em: <http://www.centerii.org/search/Resources/FiveDirectInstruct.pdf>. Acedido em maio de 2021.
- Rosenshine, B. (2009). The empirical Support for Direct Instruction. In S. Tobias & T. M. Duffy (Eds.), *Constructivist theory applied to instruction: Success or failure?* (pp. 201 –220). New York, NY: Taylor & Francis.
- Rittle-Johnson B. (2006). Promoting transfer: effects of self-explanation and direct instruction. *Child development*, 77(1), 1–15. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00852.x>
- Ruby, A. (2001). *Hands-on Science and Student Achievement*, RAND, Santa Monica, CA, em <http://www.rand.org/publications/RGSD/RGSD159/>. Acedido em dezembro de 2020.

- Rumelhart, D. (1980). *Shemata: the building blocks of cognition*. In R. Spiro, B. Bruce, & W. Brewer (Eds.), *Theoretical issues in reading comprehension: perspectives from cognitive psychology, linguistics, artificial intelligence, and education* (pp. 33-58). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Schauble, L. (1990). Belief revision in children: The role of prior knowledge and strategies for generating evidence. *Journal of Experimental Child Psychology*, 49(1), 31–57. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(90\)90048-D](https://doi.org/10.1016/0022-0965(90)90048-D)
- Schmidt, H. G., Loyens, S.M. M., van Gog, T. & Paas, F. (2007). Problem-Based Learning is Compatible with Human Cognitive Architecture: Commentary on Kirschner, Sweller, and Clark. *Educational Psychologist*, 42(2), 91-97. <https://doi.org/10.1080/00461520701263350>
- Serra, P. & Galvão, C. (2015). Evolução do Currículo de Ciências em Portugal: Será Bloom Incontornável? *Interações*. 39, 255-271.
- Simpson, G. (2001) Learner characteristics, learning environments and constructivist epistemologies. *Australian Science Teachers Journal*, 47(2), 17-24.
- Solé, I. & Coll, C. (2001). Os professores e a concepção construtivista. In Coll, C.; Martin, E.; Mauri, T.; Miras, M.; Onrubia, J.; Solé, I. & Zabala, A. (Eds.), *O Construtivismo na sala de aula. Novas perspectivas para a sala de aula*. Porto, Edições Asa.
- Sternberg, R. J. (2009) In S. Tobias & T. M. Duffy (Eds.), *Constructivist theory applied to instruction: Success or failure?* – Prólogo. New York, NY: Taylor & Francis.
- Sternberg, R. J. & Williams, W. M. (2010). *Educational Psychology*. 2nd Edition, Pearson Education, Upper Saddle River, New Jersey.

- Stockard, J., Wood, T. W., Coughlin, C., & Rasplica Khoury, C. (2018). The Effectiveness of Direct Instruction Curricula: A Meta-Analysis of a Half Century of Research. *Review of Educational Research*, 88(4), 479–507.
<https://doi.org/10.3102/0034654317751919>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Sweller, J. (2009). What Human Cognitive Architecture tells us about Constructivism. In S. Tobias & T. M. Duffy (Eds.), *Constructivist theory applied to instruction: Success or failure?* (pp. 127–143). New York, NY: Taylor & Francis
- Sweller, J. (2016). Working Memory, long-term memory, and instructional design. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 5, 360–367.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmac.2015.12.002>
- Sweller, J., & Sweller, S. (2006). Natural information processing systems. *Evolutionary Psychology*, 4, 434–458. <https://doi.org/10.1177/147470490600400135>
- Sweller, J., Ayres, P. & Kalyuga, Slava. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York: Springer. [DOI:10.1007/978-1-4419-8126-4](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4).
- Sweller, J., Kirschner, P. & Clark, R. (2007). Why minimally guided teaching techniques do not work: A reply to commentaries. *Educational Psychologist*, 42(2), 115–121.
<https://doi.org/10.1080/00461520701263426>
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251–296.
<https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>

- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2006). *Using Multivariate Statistics* (5.º ed.). Pearson Education.
- Tobias, S. & Duffy, T. (2009). The Success or Failure of Constructivist Education. In S. Tobias & T. M. Duffy (Eds.), *Constructivist theory applied to instruction: Success or failure?* (pp. 3–10). New York, NY: Taylor & Francis.
- Toth, E. E., Klahr, D., & Chen, Z. (2000). Bridging research and practice: A cognitively based classroom intervention for teaching experimentation skills to elementary school children. *Cognition and Instruction*, 18(4), 423–459.
https://doi.org/10.1207/S1532690XCI1804_1
- Tricot, A., & Sweller, J. (2014). Domain-specific knowledge and why teaching generic skills does not work. *Educational Psychology Review*, 26(2), 265–283.
<https://doi.org/10.1007/s10648-013-9243-1>
- Tuckman, B. W. & Monetti, D. M. (2011). *Educational Psychology*. International Edition. Wadsworth, Belmont, USA.
- Tuovinen, J. E., & Sweller, J. (1999). A comparison of cognitive load associated with discovery learning and worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 91, 334–341. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.91.2.334>
- Valke, M. (2002). Cognitive load: updating the theory?. *Learning and Instruction*, 12, 147–154. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(01\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(01)00022-6)
- Van Merriënboer, J. J. G. & Krammer, Hein. (1987). Instructional strategies and tactics for the design of introductory computer programming courses in high school. *Instructional Science*. 16. DOI: 251-285. [10.1007/BF00120253](https://doi.org/10.1007/BF00120253).

- Van Merriënboer, J. J. G., Kirschner, P. A., & Kester, L. (2003). Taking the load off the learner's mind: Instructional design for complex learning. *Educational Psychologist*, 38, 5–13. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_2
- Van Heckea, T. (2012). Power study of anova versus Kruskal-Wallis test, *Journal of Statistics and Management Systems*, 15, 2-3. <https://doi.org/10.1080/09720510.2012.10701623>
- Von Glaserfeld, E. (1995). A constructivist approach to teaching. In L. Steffe, & J. Gale (Eds.), *Constructivism in education* (pp.3-17). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Wadsworth, B. (2004). *Piaget's Theory of Cognitive and Affective Development: Foundations of Constructivism*. London: Longman Publishing.
- Wilson, B. G., & Cole, P. (1996). Cognitive teaching models. In D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research in instructional technology* (pp. 601–621). New York: MacMillan.
- Zhu, X., & Simon, H. A. (1987). Learning mathematics from examples and by doing. *Cognition and Instruction*, 4, 137–166. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0403_1

ANEXOS



Nome: _____ n.º _____ turma _____

Pré-teste

1. As enzimas são:
 - (A) moléculas responsáveis pela digestão dos nutrientes.
 - (B) bactérias que ajudam na digestão.
 - (C) uma parte do tubo digestivo.
 - (D) nunca ouvi falar de enzimas.
2. A ação das enzimas permite:
 - (A) a divisão dos alimentos nos seus nutrientes constituintes ou em partículas menores.
 - (B) a transformação dos alimentos em partículas mais pequenas para ser absorvidas.
 - (C) a transformação dos nutrientes em alimentos.
 - (D) a divisão dos nutrientes em unidades menores capazes de ser absorvidas.
3. As enzimas atuam:
 - (A) sobre todos os nutrientes.
 - (B) apenas sobre um pequeno grupo de nutrientes de cada vez.
 - (C) apenas sobre o nutriente para o qual são específicas.
 - (D) sobre o nutriente que se encontra em maior quantidade.
4. Num meio muito ácido:
 - (A) nenhuma enzima consegue atuar, por isso não há digestão.
 - (B) a digestão ocorre mais rapidamente do que num meio neutro ou básico.
 - (C) a digestão ocorre, mas mais lentamente do que num meio neutro ou básico.
 - (D) a digestão ocorre mais rapidamente do que num meio neutro ou básico para algumas enzimas.
5. Relativamente ao seu funcionamento:
 - (A) todas as enzimas apresentam as mesmas condições de atuação.
 - (B) as condições de atuação das enzimas são específicas para o meio onde se encontram.
 - (C) as enzimas adaptam-se às alterações do meio para manter constante a sua atividade.
 - (D) as condições de atuação das enzimas não são influenciadas pelo meio.
6. Relativamente à forma como o pH do meio influencia a atividade enzimática, podemos afirmar que:
 - (A) todas as enzimas atuam em meios ácidos.
 - (B) as enzimas só atuam se o pH do meio for neutro.
 - (C) todas as enzimas atuam em meios básicos.
 - (D) cada enzima tem um valor de pH ótimo de funcionamento, dependendo do órgão onde vão atuar.

7. Num meio básico:
- (A) as enzimas atuam sempre melhor do que num meio ácido.
 - (B) nenhuma enzima consegue atuar, pois só os meios neutros são favoráveis.
 - (C) a atividade da enzima mantém-se constante, pois só os meios ácidos reduzem a sua atividade.
 - (D) a atividade da enzima pode ser reduzida, se o seu pH de atuação for neutro ou ácido.
8. Relativamente à forma como as enzimas humanas reagem à temperatura, podemos afirmar que:
- (A) a atividade enzimática se mantém constante, independentemente da temperatura.
 - (B) a atividade enzimática aumenta à medida que a temperatura aumenta.
 - (C) as enzimas aumentam a sua atividade se as temperaturas forem mais baixas.
 - (D) a atividade enzimática é maior quando a temperatura é mais próxima de 37 °C.
9. Se a uma protease (enzima responsável pela digestão de proteínas) adicionar um pouco de amido, o que irá acontecer é:
- (A) a atividade da enzima mantém-se constante desde que as condições do meio não se alterem.
 - (B) não haverá atividade enzimática pois a enzima não é específica para o novo substrato.
 - (C) a enzima fará a digestão do amido mais lentamente, pois não é específica para o novo substrato.
 - (D) a digestão será mais rápida pois a enzima ainda não teve contacto com o amido.
10. Os resultados das experiências:
- (A) são sempre fiáveis, pois são baseados em princípios científicos.
 - (B) só são fiáveis se a experiência for controlada em todas as suas variáveis.
 - (C) são sempre fiáveis se utilizarem reagentes biológicos.
 - (D) só são fiáveis se as variáveis forem controladas de maneira a obter os resultados pretendidos.

Muito obrigada pela colaboração.

Ana Rita Rainho



Nome: _____ n.º _____ turma _____

Pós-teste

1. As enzimas são:

- (A) moléculas responsáveis pela digestão dos nutrientes.
- (B) bactérias que ajudam na digestão.
- (C) uma parte do tubo digestivo.
- (D) nunca ouvi falar de enzimas.

2. A ação das enzimas permite:

- (A) a divisão dos alimentos nos seus nutrientes constituintes ou em partículas menores.
- (B) a transformação dos alimentos em partículas mais pequenas para ser absorvidas.
- (C) a transformação dos nutrientes em alimentos.
- (D) a divisão dos nutrientes em unidades menores capazes de ser absorvidas.

3. As enzimas atuam:

- (A) sobre todos os nutrientes.
- (B) apenas sobre um pequeno grupo de nutrientes de cada vez.
- (C) apenas sobre o nutriente para o qual são específicas.
- (D) sobre o nutriente que se encontra em maior quantidade.

4. Num meio muito ácido:

- (A) nenhuma enzima consegue atuar, por isso não há digestão.
- (B) a digestão ocorre mais rapidamente do que num meio neutro ou básico.
- (C) a digestão ocorre, mas mais lentamente do que num meio neutro ou básico.
- (D) a digestão ocorre mais rapidamente do que num meio neutro ou básico para algumas enzimas.

5. Relativamente ao seu funcionamento:

- (A) todas as enzimas apresentam as mesmas condições de atuação.
- (B) as condições de atuação das enzimas são específicas para o meio onde se encontram.
- (C) as enzimas adaptam-se às alterações do meio para manter constante a sua atividade.
- (D) as condições de atuação das enzimas não são influenciadas pelo meio.

6. Relativamente à forma como o pH do meio influencia a atividade enzimática, podemos afirmar que:

- (A) todas as enzimas atuam em meios ácidos.
- (B) as enzimas só atuam se o pH do meio for neutro.
- (C) todas as enzimas atuam em meios básicos.
- (D) cada enzima tem um valor de pH ótimo de funcionamento, dependendo do órgão onde vão atuar.

7. Num meio básico:

- (A) as enzimas atuam sempre melhor do que num meio ácido.
- (B) nenhuma enzima consegue atuar, pois só os meios neutros são favoráveis.
- (C) a atividade da enzima mantém-se constante, pois só os meios ácidos reduzem a sua atividade.
- (D) a atividade da enzima pode ser reduzida, se o seu pH de atuação for neutro ou ácido.

8. Relativamente à forma como as enzimas humanas reagem à temperatura, podemos afirmar que:

- (A) a atividade enzimática se mantém constante, independentemente da temperatura.
- (B) a atividade enzimática aumenta à medida que a temperatura aumenta.
- (C) as enzimas aumentam a sua atividade se as temperaturas forem mais baixas.
- (D) a atividade enzimática é maior quando a temperatura é mais próxima de 37 °C.

9. Se a uma protease (enzima responsável pela digestão de proteínas) adicionar um pouco de amido, o que irá acontecer é:

- (A) a atividade da enzima mantém-se constante desde que as condições do meio não se alterem.
- (B) não haverá atividade enzimática pois a enzima não é específica para o novo substrato.
- (C) a enzima fará a digestão do amido mais lentamente, pois não é específica para o novo substrato.
- (D) a digestão será mais rápida pois a enzima ainda não teve contacto com o amido.

10. Os resultados das experiências:

- (A) são sempre fiáveis, pois são baseados em princípios científicos.
- (B) só são fiáveis se a experiência for controlada em todas as suas variáveis.
- (C) são sempre fiáveis se utilizarem reagentes biológicos.
- (D) só são fiáveis se as variáveis forem controladas de maneira a obter os resultados pretendidos.

Muito obrigada pela colaboração.

Ana Rita Rainho

Fatores que influenciam a atividade enzimática

As enzimas são moléculas responsáveis pela digestão dos alimentos, decompondo os nutrientes complexos em unidades mais simples, a fim de serem absorvidas ao nível dos intestinos.

Com base na informação aqui presente, pede-se que elabore um protocolo experimental que lhe permita conhecer algumas condições em que as enzimas atuam, nomeadamente no que refere ao **pH** e **especificidade** de atuação.

PRESSUPOSTOS TEÓRICOS.

- A amilase e a pepsina são duas enzimas.
- O amido e a sacarose são glícidos (açúcares) complexos.
- A albumina é uma proteína, muito abundante, por exemplo, na clara do ovo. A melhor forma de ser usada em atividades laboratoriais é numa solução de 1:4, ou seja, para cada mL de clara de ovo, adicionar 4 mL de água.
- As proteínas são biomoléculas que, por alterações do meio, podem sofrer nas suas estruturas naturais modificações reversíveis ou irreversíveis. A desnaturação é um processo irreversível de alteração da estrutura tridimensional das proteínas. Os principais agentes dessas modificações são a temperatura e o pH.
- São quatro os processos que permitem identificar proteínas:

I - Reações de precipitação

Processo irreversível de desnaturação da proteína com formação de precipitados visíveis à vista desarmada (flóculos brancos, de tamanho variável). A precipitação é provocada por agentes de desnaturação como ácidos ou bases fortes.

II - Coagulação por ação do calor.

É também um processo irreversível de desnaturação da proteína, que se pode apresentar sob a forma de flocos ou coágulos brancos.

III - Reação xantoproteica

Permite a identificação de alguns grupos funcionais de aminoácidos específicos na estrutura das proteínas (tirosina e triptofano), que são identificados pela adição de um ácido forte (ácido nítrico) e posterior aquecimento. Este procedimento provoca o aparecimento de um coágulo amarelo (coagulação com formação de nitroproteínas). Estas ficam alaranjadas após a alcalinização com uma base (amónia).

IV - Reação do biureto

Permite identificar a presença de ligações peptídicas entre aminoácidos, dando positiva para proteínas ou péptidos com três ou mais aminoácidos. Consiste em adicionar a uma amostra igual volume de hidróxido de sódio e, de seguida, algumas gotas de sulfato de cobre. A ocorrência de formação de flocos azuis de hidróxido de cobre que precipitam, ficando a solução com um anel violeta, indicador da presença de proteínas. A intensidade da cor varia com a concentração de proteínas.

- O teste do licor de Fehling permite identificar a presença de açúcares redutores (açúcares simples). Se isto acontecer, forma-se um precipitado cor de tijolo.
- O soluto de Lugol permite identificar a presença de amido, confirmada pela cor roxa.
- O HCl (ácido clorídrico) permite tornar o pH do meio ácido. Existe no nosso estômago, onde o pH é de cerca de 2 (a escala de pH vai de 1 a 14. Quanto mais baixo for o valor, mais ácido é o meio. Quando o pH é 7 ou próximo disso o meio é neutro. Para valores superiores a 7, quanto mais elevado o valor, mais básico é o meio).
- O NaOH (hidróxido de sódio) é uma base e permite tornar o pH do meio mais básico.

PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS:

Reação xantoproteica

- 1 - Pipetar 2 mL da solução a testar para um tubo de ensaio.
- 2 - Adicionar 1 mL de ácido nítrico e aquecer cuidadosamente à chama da lamparina até à ebulição.
- 3 - Deixar arrefecer o tubo e adicionar algumas gotas de amónia.

Reação do biureto

- 1 - Pipetar 2 mL da solução a testar para um tubo de ensaio.
- 2 - Adicionar 2 mL de hidróxido de sódio
- 3 - Adicionar de seguida 3 gotas de sulfato de cobre.

Teste do Licor de Fehling

- 1 - Pipetar 2 mL da solução a testar para um tubo de ensaio.
- 2 - Adicionar ao tubo 1 mL de solução A de Licor de Fehling e ao tubo 2 1 mL de solução.
- 3 - Aquecer o tubo à chama da lamparina, com o auxílio da pinça de madeira, até à ebulição.

FATORES QUE INFLUENCIAM A ATIVIDADE ENZIMÁTICA

ESPECIFICIDADE ENZIMÁTICA E PH

INTRODUÇÃO

As enzimas são moléculas orgânicas de natureza proteica que têm como principal função catalisar as reações que ocorrem nas células, isto é, permitem que as reações biológicas ocorram com recurso a uma quantidade de energia relativamente baixa, a temperaturas compatíveis com a vida. A digestão dos nutrientes ocorre graças à intervenção das enzimas, que degradam as moléculas de grandes dimensões nas suas unidades constituintes, a fim de poderem ser absorvidas ao nível da parede intestinal.

Neste trabalho pretende-se estudar dois aspetos importantes do funcionamento das enzimas: a sua especificidade (capacidade de atuar sobre um ou sobre vários substratos) e a forma como o pH influencia a sua atividade. Para isso, usaremos duas enzimas: a amilase salivar e a pepsina.

- A amilase salivar, ou ptialina, é uma enzima que se encontra na saliva e que actua sobre o amido, transformando-o em moléculas mais simples, as maltoses.
- A pepsina é uma enzima produzida nas glândulas estomacais e atua sobre as proteínas, desdobrando-as em aminoácidos e péptidos mais simples.

Para verificar se as enzimas atuaram ou não, é importante realizar testes que permitam verificar a presença dos produtos das reações catalisadas. Para isso existem testes específicos, que permitem a identificar determinados nutrientes.

Identificação de açúcares - teste do Licor de Fehling

A presença de amido, um açúcar de grandes dimensões, pode facilmente ser identificada através da adição de soluto de Lugol, que ficará roxo caso o amido se encontre presente.

Quando o amido é desdobrado, a presença de açúcares simples pode ser identificada pelo teste do **Licor de Fehling**. Os açúcares simples são identificados pela formação de um precipitado cor de tijolo. Quando estão presentes açúcares de cadeia longa, após aquecimento a solução permanece com um tom azulado.

Identificação de proteínas - reação do Biureto

Este teste permite identificar a presença de ligações peptídicas entre aminoácidos, dando positivo para proteínas ou péptidos com três ou mais aminoácidos. Consiste em adicionar a uma amostra igual volume de hidróxido de sódio e, de seguida, algumas gotas de sulfato de cobre. A ocorrência de formação de flocos azuis de hidróxido de cobre que precipitam, ficando a solução com um anel violeta, indicador da presença de proteínas. A intensidade da cor varia com a concentração de proteínas.

PROTOCOLO EXPERIMENTAL

Material

Tubos de ensaio	Clara de ovo
Suportes de tubos de ensaio	Cozimento de amido
Pipetas e controladores	Pepsina comercial
Banho maria a 37°C	Licor de Fehling solução A e B
Lamparina de álcool	Hidróxido de Sódio (1M)
Molas de madeira	Ácido Clorídrico (1M)
Conta gotas	Solução de Sulfato de Cobre
Papel absorvente	Água destilada

Procedimento

Especificidade enzimática

- 1 - Numere 4 tubos de ensaio.
- 2 - Prepare os tubos com os seguintes reagentes:
 - Tubo 1 - 5 mL de cozimento de amido + 1 mL de saliva (aproximadamente)
 - Tubo 2 - 1 mL de cozimento de amido + 5 mL de pepsina + 3 gotas de ácido clorídrico
- 3 - Nos tubos 3 e 4 coloque 1 mL de albumina e 4 mL de água destilada. Agite os tubos.
- 4 - Prepare os tubos como se indica a seguir:
 - Tubo 3 - adicione 1 mL de saliva (aproximadamente).
 - Tubo 4 - adicione 3 gotas de ácido clorídrico e 5 mL de pepsina comercial
- 5 - Coloque os tubos preparados anteriormente no banho maria a 37 °C e aguarde 10 minutos.
- 6 - Realize nos tubos 1 e 2 o teste do Licor de Fehling de acordo com o seguinte procedimento:
 - 6.1 - adicionar ao tubo 2 mL de solução A de Licor de Fehling e 2 mL de solução B.
 - 6.2 - Aquecer o tubo à chama da lamparina, com o auxílio da da pinça de madeira, até à ebulição.
- 7 - Proceda ao teste do biureto nos tubos 3 e 4, de acordo com o seguinte procedimento:
 - 7.1 - Adicionar 5 mL de hidróxido de sódio
 - 7.2 - Adicionar de seguida 4 gotas de sulfato de cobre.

Registo de resultados:

Tubo	Conteúdo	Teste realizado	Resultado	Reação? (sim/não)
1	Amido + saliva	Fehling		
2	Amido + pepsina + HCl	Fehling		
3	Albumina + saliva	Biureto		
4	Albumina + pepsina + HCl	Biureto		

Que pode concluir relativamente à especificidade de atuação das enzimas?

Influência do pH na atividade enzimática

1 - Prepare 5 tubos de ensaio, marcados devidamente, e coloque em cada um deles 1 mL de clara de ovo (albumina) e 4 mL de água destilada. Agite os tubos.

2 - Proceda à preparação dos tubos como se indica a seguir:

Tubo 5 - adicione 5 mL de pepsina comercial.

Tubo 6 - adicione 3 gotas de ácido clorídrico.

Tubo 7 - adicione 3 gotas de ácido clorídrico e 5 mL de pepsina comercial.

Tubo 8 - adicione 5 gotas de hidróxido de sódio.

Tubo 9 - adicione 5 gotas de hidróxido de sódio e 5 mL de pepsina comercial.

3 - Coloque os tubos preparados anteriormente no banho Maria a 37 °C e aguarde 15 minutos.

4 - Entretanto prepare mais 5 tubos de ensaio, adicionando a cada um 5 mL de cozimento de amido.

5 - Proceda à preparação dos tubos como se indica a seguir:

Tubo 10 - adicione 1 mL de saliva (sensivelmente).

Tubo 11 - adicione 3 gotas de ácido clorídrico.

Tubo 12 - adicione 3 gotas de ácido clorídrico e 1 mL de saliva.

Tubo 13 - adicione 5 gotas de hidróxido de sódio.

Tubo 14 - adicione 5 gotas de hidróxido de sódio e 1 mL de saliva.

6 - Coloque os tubos preparados anteriormente no banho Maria a 37 °C e aguarde 15 minutos.

7 - Proceda ao teste do biureto nos tubos de 1 a 5, de acordo com o seguinte procedimento:

7.1 - Adicionar 5 mL de hidróxido de sódio

7.2 - Adicionar de seguida 4 gotas de sulfato de cobre.

8 - Realize nos tubos 10 a 14 o teste do Licor de Fehling, de acordo com o seguinte procedimento:

8.1 - Adicionar ao tubo 2 mL de solução A de Licor de Fehling e 2 mL de solução B.

8.2 - Aquecer o tubo à chama da lamparina, com o auxílio da da pinça de madeira, até à ebulição.

Registo de resultados:

Tubo	Conteúdo	Teste realizado	Resultado	Reação? (sim/não)
5	Albumina + pepsina	Biureto		
6	Albumina + ácido	Biureto		
7	Albumina + pepsina + ácido	Biureto		
8	Albumina + base	Biureto		
9	Albumina + pepsina + base	Biureto		
10	Amido + saliva	Fehling		
11	Amido + ácido	Fehling		
12	Amido + saliva + ácido	Fehling		
13	Amido + base	Fehling		
14	Amido + saliva + base	Fehling		

Que pode concluir relativamente à forma como o pH influencia a atuação das enzimas?

Todas as enzimas têm o mesmo pH de atuação ou existe um valor ótimo para cada enzima?