



A modelação no Ensino da Biologia e Geologia: modelos da estrutura interna da Terra e da célula no 10^o ano de escolaridade

João Nuno Monteiro Coimbra Ribeiro

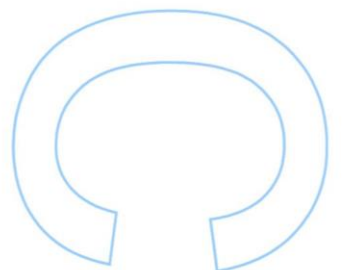
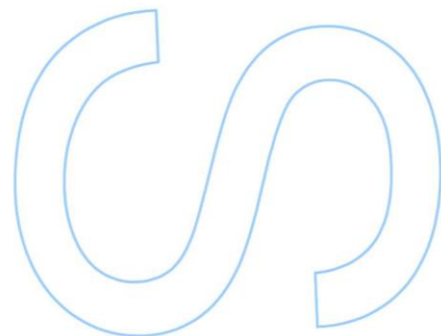
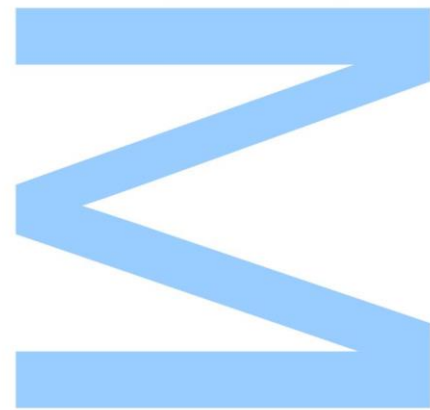
Mestrado em Ensino da Biologia e da Geologia no 3^o ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário

Departamento de Biologia e Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2014

Orientadores

Clara Maria da Silva de Vasconcelos, Professora Auxiliar com Agregação, FCUP

Vasco Manuel Leal Martins de Almeida, Professor Auxiliar, FCUP

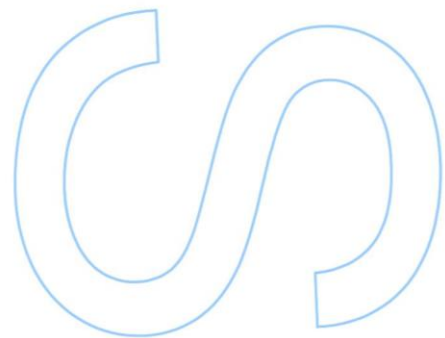
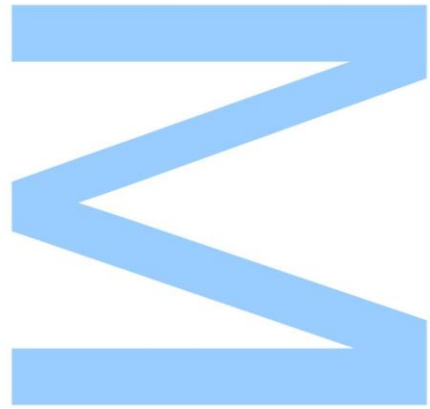




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____ / ____ / ____



Agradecimentos

Este é o culminar, não só do ano de estágio como de toda uma vida académica. Ao longo destes anos, centenas de pessoas ajudaram-me a crescer como pessoa. Um(a)s afastaram-se, com motivos ou sem motivos, e muitas ficaram.

Este é o tributo que deixo a quem confia em mim e nas minhas decisões e que, se eu quiser, está lá para me ajudar. À minha família e aos meus amigos. Obrigado, Inês!

A vida está cheia de encruzilhadas e um dia cheguei a um entroncamento decisivo no meu percurso profissional. Optei pela educação, quero fazer a diferença – cliché dos clichés – mas sei que a vou fazer, pouco a pouco. A esta escolha devo em grande parte ao G.A.S. Porto. Abriu-me os horizontes, abriu-me o coração e mudou a minha vida. Aliado ao G.A.S. Porto, os meus meninos do Cerco estarão sempre na minha mente – fizeram-me ver que era possível!

Durante o mestrado, tive colegas e professores que me marcaram e ensinaram imenso. Destaco a Professora Ludovina, a Professora Clara, o Professor Calafate e a Professora Ariana. Todos bastante diferentes mas que complementaram grandemente a minha formação.

Já durante o estágio, houve pessoas que me ajudaram a chegar até aqui. Destaco sobretudo a Cátia e a Sara, por me fazerem sentir que o meu núcleo até era constituído por 1+2, os meus alunos – que força e coragem que tu tens, Inês – e os meus orientadores.

À Professora Alda, agradeço por todo o apoio, experiência e compreensão. Não me cortou as asas, poliu as minhas ideias e acreditou em mim.

À Professora Clara, agradeço a sua orientação, clarividência e garra. Fez do céu nublado do meu projeto um céu limpo e soalheiro.

Ao Professor Vasco, agradeço a disponibilidade, a ponderação e a tranquilidade. Não o procurei muitas vezes mas, das nossas reuniões, saí sempre desapontado por não o ter feito mais vezes.

Obrigado.

Resumo

A Biologia e a Geologia são ciências em constante crescimento. Todas as semanas são publicados artigos que nos permitem conhecer cada vez melhor o nosso mundo. Contudo, cada vez mais se estuda o “invisível” e surgem conceitos cuja escala é grande ou pequena demais para que os compreendamos, dificultando o nosso modelo mental.

Nesta investigação pretendeu-se avaliar os modelos mentais da estrutura interna da Terra e da célula de 38 alunos do 10º ano de escolaridade. Para isso, utilizaram-se dois instrumentos – os desenhos e os mapas de conceitos. De seguida, usou-se a modelação como estratégia para tentar melhorar os modelos mentais dos alunos nestes dois temas. Em ambos os casos, o modelo foi construído durante a aula. Por fim, pretendeu-se comparar duas técnicas diferentes de pontuação de mapas de conceitos.

Os resultados permitem concluir que os alunos obtiveram melhorias significativas nos parâmetros escolhidos. Quando falamos da célula, houve melhorias no reconhecimento dos componentes celulares e dos vários tipos de célula que existem, assim como uma melhoria evidente na pontuação dos mapas de conceitos, independentemente da técnica escolhida. Em relação à estrutura interna da Terra, comprovou-se que os alunos estavam pouco familiarizados com o modelo físico e com as várias camadas dos modelos mas, através do ensino baseado na utilização de modelos, esta lacuna foi colmatada. Nos desenhos houve melhorias ao nível da identificação das várias camadas assim como à escala dos modelos. A pontuação dos mapas de conceitos revelou um aumento significativo após a intervenção.

Quanto às diferentes técnicas de pontuação utilizadas, verificou-se que as pontuações segundo Calafate et al. (2009) são mais altas do que as pontuações de Novak & Gowin (1996), embora pareçam avaliar o mesmo.

Palavras-chave: estrutura interna da Terra, célula, modelos mentais, modelação, ensino baseado na utilização de modelos, mapas de conceitos, desenhos.

Abstract

Biology and geology sciences are constantly growing. Every week, articles are published allowing us to know our world better and better. However, they are studying more and more "invisible" concepts whose scale is too large or too small for us to understand them, hindering our mental model.

This research sought to assess mental models of Earth's internal structure and the cell of 38 students of 10th grade students. For this, we used two instruments - drawings and concept maps. Then, we used model-based teaching to try to improve the mental models of students in these two subjects. In both cases, the model was built during class. Finally, we sought to compare two different scoring techniques of concept maps.

The results show that students achieved significant improvements in selected parameters. In regard of the cell, there were improvements in the recognition of cellular components and the 3 common cell types, as well as a marked improvement in the score of concept maps, regardless of the technique. Regarding the internal structure of the Earth, it is found that the students were unfamiliar with the physical model and the various layers of the models but, through model-based teaching, this gap was filled. In the drawings, they were improvements on layer's identification as well as the model's scale. Concept maps' score has revealed a significant increase after the intervention.

As of the different scoring techniques used, it was found that the scores according to Calafate et al. (2009) are higher than the scores of Novak & Gowin (1996), although they appear to assess the same.

Keywords: Earth's internal structure, cell, mental models, modeling, model-based teaching, concept maps, drawings.

Índice

Agradecimentos.....	I
Resumo.....	II
Abstract.....	III
Índice.....	IV
Lista de quadros.....	V
Lista de figuras.....	VI
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização curricular e justificação do estudo.....	1
2. Enquadramento científico.....	2
2.1. A estrutura interna da Terra.....	2
2.2. A célula.....	9
3. Enquadramento didático.....	15
3.1. Modelação.....	15
4. Metodologia da investigação.....	18
4.1. Problema e objetivos de investigação.....	18
4.2. Natureza da investigação.....	18
4.3. Técnicas e instrumentos de recolha e análise.....	19
4.4. Caracterização da amostra.....	21
4.5. Intervenção.....	22
4.6. Tratamento estatístico.....	23
5. Resultados e Discussão.....	25
5.1. Biologia.....	25
5.2. Geologia.....	29
5.3. Comparação entre duas técnicas de pontuação de mapas de conceitos.....	34
6. Conclusões.....	36
7. Considerações finais.....	37
8. Referências bibliográficas.....	38
9. Apêndices.....	41
9.1. Teste sobre a estrutura interna da Terra (folhas recortadas).....	41
9.2. Avaliação do mapa de conceitos sobre a estrutura interna da Terra.....	42
9.3. Avaliação do desenho sobre a estrutura interna da Terra.....	43
9.4. Teste sobre a célula (folhas recortadas).....	44
9.5. Avaliação do mapa de conceitos sobre a constituição de uma célula.....	44
9.6. Avaliação do desenho sobre a célula.....	45
9.7. Modelos didáticos.....	45
9.8. Planificações e apresentações.....	46
9.9. Quadros das pontuações dos mapas de conceitos.....	46
9.10. Quadros das pontuações dos desenhos.....	49
10. Anexos.....	51
10.1. Alguns exemplos de desenhos e mapas de conceitos.....	51

Lista de quadros

Quadro 1: Número de tipos de célula identificados no pré-teste e no pós-teste.....	25
Quadro 2: Resultados obtidos através do teste estatístico de Wilcoxon das diferenças entre a quantidade de tipos de célula identificados, nos desenhos elaborados pelos alunos, entre o pré-teste e o pós-teste.....	26
Quadro 3: Estatística descritiva do total de componentes celulares identificados nos desenhos elaborados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.....	26
Quadro 4: Resultados obtidos através do teste estatístico de Wilcoxon das diferenças entre a quantidade de componentes celulares identificados, nos desenhos elaborados pelos alunos, entre o pré-teste e o pós-teste.....	26
Quadro 5: Registos de evidência de tridimensionalidade nos esquemas de célula desenhados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.....	27
Quadro 6: Resultados obtidos através do teste estatístico de Wilcoxon das diferenças entre a avaliação da tridimensionalidade nos desenhos elaborados pelos alunos, entre o pré-teste e o pós-teste.....	27
Quadro 7: Estatística descritiva da classificação final dos desenhos elaborados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.....	28
Quadro 8: Resultados obtidos através do teste estatístico de Wilcoxon das diferenças entre a classificação final dos desenhos elaborados pelos alunos, entre o pré-teste e o pós-teste.....	28
Quadro 9: Estatística descritiva da pontuação dos mapas de conceitos sobre a célula, elaborados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).....	29
Quadro 10: Análise estatística do teste de Wilcoxon aos resultados da pontuação dos mapas de conceitos do pré-teste para o pós-teste sobre a célula, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).....	29
Quadro 11: Frequências de reconhecimento dos vários modelos da estrutura interna da Terra no pré-teste e no pós-teste.....	30
Quadro 12: Estatística descritiva do número de camadas identificadas nos modelos físico e químico dos desenhos da estrutura interna da Terra, elaborados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.....	30
Quadro 13: Análise estatística do teste de Wilcoxon aos resultados da identificação das várias camadas dos modelos químico e físico da estrutura interna da Terra nos desenhos elaborados pelos alunos, do pré-teste para o pós-teste.....	31
Quadro 14: Registos de evidência de escala nos esquemas dos modelos da estrutura interna da Terra desenhados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.....	31
Quadro 15: Análise estatística do teste de Wilcoxon aos resultados da classificação da escala dos modelos químico e físico da estrutura interna da Terra nos desenhos elaborados pelos alunos, do pré-teste para o pós-teste.....	32
Quadro 16: Estatística descritiva da classificação, baseada em Steer et al. (2005) dos modelos físico e químico dos desenhos da estrutura interna da Terra, elaborados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.....	32
Quadro 17: Análise estatística do teste de Wilcoxon aos resultados da classificação adaptada segundo Steer et al. (2005) dos modelos químico e físico da estrutura interna da Terra do pré-teste para o pós-teste.....	33
Quadro 18: Estatística descritiva da pontuação dos mapas de conceitos elaborados pelos alunos sobre a estrutura interna da Terra, no pré-teste e no pós-teste, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).....	33
Quadro 19: Análise estatística do teste de Wilcoxon aos resultados da pontuação dos mapas de conceitos do pré-teste para o pós-teste sobre os modelos da estrutura interna da Terra, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).....	34
Quadro 20: Estatística descritiva da pontuação dos mapas de conceitos elaborados pelos alunos, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).....	35
Quadro 21: Análise estatística do teste de Wilcoxon à diferença de resultados da pontuação dos mapas de conceitos entre as técnicas de Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).....	35
Quadro 22: Quadro das pontuações dos mapas de conceitos sobre a estrutura interna da Terra, onde estão também representados os conceitos essenciais (Ne), os conceitos secundários (Ns), as relações (r), a precisão das relações (RA), as proposições (P), os níveis hierárquicos (NH) e as ligações cruzadas (LCs).....	47
Quadro 23: Quadro das pontuações dos mapas de conceitos sobre a célula, onde estão também representados os conceitos essenciais (Ne), os conceitos secundários (Ns), as relações (r), a precisão das relações (RA), as proposições (P), os níveis hierárquicos (NH) e as ligações cruzadas (LCs).....	48
Quadro 24: Quadro das pontuações dos desenhos sobre a estrutura interna da Terra. Em relação à escala a legenda é a seguinte: Não Responde (NR), Pouca escala (P), Alguma escala (A), À escala (E).....	49
Quadro 25: Quadro das pontuações dos desenhos sobre a célula.....	50

Lista de figuras

Figura 1: Zonas de sombra das ondas P e S devido à existência de um núcleo. (adaptado de Grotzinger et al. (2007, p. 327).....	3
Figura 2: Comparação entre os modelos químico e físico da estrutura interna da Terra (adaptado de Kearey et al., 2009, p. 52).....	7
Figura 3: Um dos microscópios óticos compostos de Robert Hooke com um desenho de uma fatia de cortiça observada ao microscópio (retirado de (Karp, 2013, p. 2).....	9
Figura 4: Esquema de um organismo composto por uma célula procariótica – procarionte – à esquerda, e de uma célula eucariótica vegetal de um organismo eucarionte, à direita (adaptado de Karp, 2013, p. 8).....	10
Figura 5: Esquema de uma célula eucariótica animal (adaptado de Karp, 2013).....	11
Figura 6: Fórmulas de pontuação de mapas de conceitos segundo Calafate et al. (2009, pp. 3-5).....	19
Figura 7: Gráfico do tipo caixa e bigodes dos tipos de célula identificados nos desenhos efetuados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.....	26
Figura 8: Gráfico do tipo caixa e bigodes da quantidade de componentes celulares identificados nos desenhos efetuados pelos alunos sobre a célula no pré-teste e no pós-teste.....	26
Figura 9: Gráfico do tipo caixa e bigodes da avaliação da tridimensionalidade nos desenhos efetuados pelos alunos sobre a célula no pré-teste e no pós-teste.....	27
Figura 10: Gráfico do tipo caixa e bigodes da classificação final dos desenhos efetuados pelos alunos sobre a célula no pré-teste e no pós-teste.....	28
Figura 11: Gráfico de caixa e bigodes com a evolução das pontuações dos mapas de conceitos do pré-teste para o pós-teste sobre a célula, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).....	29
Figura 12: Gráfico de caixa e bigodes com a evolução do número de camadas identificadas dos modelos físico e químico da estrutura interna da Terra do pré-teste para o pós-teste.....	30
Figura 13: Gráfico de caixa e bigodes com a evolução da classificação da escala dos desenhos dos modelos físico e químico da estrutura interna da Terra do pré-teste para o pós-teste.....	32
Figura 14: Gráfico de caixa e bigodes com a evolução da classificação adaptada de Steer et al. (2005) dos modelos físico e químico da estrutura interna da Terra nos desenhos elaborados pelos alunos, do pré-teste para o pós-teste.....	33
Figura 15: Gráfico de caixa e de bigodes com a evolução das pontuações dos mapas de conceitos do pré-teste para o pós-teste sobre os modelos da estrutura interna da Terra, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).....	34
Figura 16: Comparação entre as pontuações obtidas nos mapas de conceitos segundo o técnica de Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).....	35
Figura 17: Mapa de conceitos de referência para a estrutura interna da Terra.....	42
Figura 18: Esquema de referência para os modelos físico e químico da estrutura interna da Terra.....	43
Figura 19: Avaliação dos desenhos dos modelos da estrutura interna da Terra adaptado de Steel et al. (2005).....	43
Figura 20: Mapa de conceitos de referência em resposta à pergunta: "Como é constituída uma célula?".....	44
Figura 21: Modelo didático da estrutura interna da Terra. Fazem parte deste modelo, o modelo físico e o modelo químico. As bandeiras legendam as camadas de ambos os modelos, assim como as descontinuidades que as separam.	45
Figura 22: Modelo didático de uma célula eucariótica animal onde se podem ver ribossomas (preto), mitocôndrias (castanho), o retículo endoplasmático (verde), o núcleo (amarelo), o complexo de Golgi (azul), citoplasma (espuma de poliuretano) e a membrana citoplasmática (invólucro a verde).....	46
Figura 23: Mapa de conceitos sobre a estrutura interna da Terra: (a) pré-teste e (b) pós-teste. De notar o esquecimento em encaixilhar os conceitos no pré-teste e nas "ligações cruzadas" com duplicação de conceitos no pós-teste.....	51
Figura 24: Desenhos da estrutura interna da Terra no pré-teste (a) e no pós-teste (b), pelo mesmo aluno. Destaque para a confusão entre o modelo físico e o modelo químico no pré-teste e para a escala no pós-teste que, excluindo a descontinuidade de Moho entre a crosta e o manto superior, é quase perfeita.....	51
Figura 25: Desenho dos vários tipos de célula do mesmo aluno, no pré-teste (a) e no pós-teste (b). Destaque para os vários componentes celulares legendados no pós-teste, em comparação com o pré-teste, para a evidência de tridimensionalidade no pós-teste e para um erro muito comum – a identificação de uma parede celular na célula eucariótica animal.....	52
Figura 26: Mapas de conceitos do pré-teste (a) e do pós-teste (b), do mesmo aluno, em resposta à pergunta "Como é constituída uma célula?".....	52

1. Introdução

O estudo apresentado neste relatório de estágio foi desenvolvido no âmbito da Iniciação à Prática Pedagógica (IPP) do Mestrado em Ensino da Biologia e da Geologia no 3º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário.

A modelação é uma estratégia ainda pouco utilizada pelos professores e que pode possibilitar a existência de representações externas válidas de conceitos demasiado abstratos. A Biologia e a Geologia são disciplinas que estudam diversos fenómenos cuja explicação recorre a conceitos abstratos. Alguns desses conceitos são abordados nesta investigação, tais como a estrutura interna da Terra e a célula e o seu conteúdo.

A investigação versou sobre alunos do 10º ano de escolaridade que frequentam a disciplina de Biologia e Geologia, e consistiu na avaliação da modelação no ensino desta disciplina, recorrendo a testes com elaboração de desenhos e mapas de conceitos.

1.1. Contextualização curricular e justificação do estudo

A temática da estrutura interna da Terra enquadra-se no Tema III – Compreender a estrutura e a dinâmica da geosfera, no capítulo 4 – Estrutura interna da geosfera. Ao nível da Biologia, incide no Módulo inicial – Diversidade na Biosfera, Capítulo 2 – A célula, com particular enfoque no conteúdo celular. Ambos se inserem no Programa de Biologia e Geologia do 10º ano.

O raciocínio abstrato implícito na compreensão de conteúdos que envolvem dimensões microscópicas ou de grande escala dificulta aos alunos a construção de modelos mentais consistentes com a realidade. Recorre-se então à estratégia de modelação, que se revela facilitadora da interatividade e da compreensão de fenómenos/processos geológicos e biológicos decorrentes de unidades de espaço e de tempo que as limitações humanas não atingem.

Nas sugestões metodológicas apontadas pelo Programa de Biologia e Geologia do 10º ano é sugerida a estimulação do trabalho cooperativo e o desenvolvimento de atividades que integrem conteúdos conceptuais, atitudinais e procedimentais. Quanto à modelação é referido que é conveniente realçar as limitações dos modelos, assim como atentar aos problemas de escala, de representatividade dos materiais e da velocidade dos processos. Isto será tido em conta nos modelos, que serão produzidos em trabalho colaborativo e cooperativo e que serão estáticos e à escala, atendendo às proporções dos diferentes componentes dos modelos.

2. Enquadramento científico

2.1. A estrutura interna da Terra

O interior da Terra é alvo de curiosidade há muito tempo. Contudo, só há relativamente pouco tempo se pensou na diferenciação da Terra em camadas concêntricas. Em 1897, Wiechert, ao analisar os dados bastante precisos de Cavendish sobre a densidade do planeta – $\approx 5,5 \text{ g/cm}^3$ – concluiu que a Terra não podia ser só constituída por rochas, uma vez que esta tem uma densidade média inferior. Assim, propôs que esta seria composta por um núcleo de ferro e níquel, como alguns meteoritos conhecidos – os sideritos – cuja densidade é bastante superior à das rochas, e um manto que cobriria o núcleo, constituído por rochas (Grotzinger, Jordan, Press, & Siever, 2007).

Através de métodos diretos de estudo do interior da Terra apenas se conseguiu atingir uma profundidade de 12 km até que a temperatura impediu a progressão das perfurações – acima dos 180° C . Uma vez que o nosso planeta tem de raio mais de 6400 km, só através de métodos indiretos se pode inferir sobre a estrutura interna do nosso planeta. O método indireto que mais tem contribuído para o conhecimento do interior da Terra tem sido a sismologia, através do estudo das ondas P (primárias) e S (secundárias) – ondas internas. As ondas P são longitudinais ou compressivas, uma vez que se movimentam por sucessões de compressões e expansões e as ondas S são consideradas transversais ou de corte, deslocando o material que atravessam perpendicularmente à direção da onda. Estas são libertadas no foco ou hipocentro e propagam-se em todas as direções. Contudo, as ondas S propagam-se apenas em meios sólidos já que em meios líquidos e gasosos não encontram resistência ao corte. Por sua vez, as ondas P propagam-se em meios sólidos, líquidos e gasosos, embora a velocidade seja dependente da compressibilidade do material que atravessa. Assim, é em meios sólidos mais densos que atinge maior velocidade (Grotzinger et al., 2007).

É possível calcular a velocidade das ondas P e S através de sismógrafos, dividindo a distância percorrida pelo tempo. Através da velocidade consegue inferir-se qual a densidade do material que foi atravessado. Se a Terra tivesse uma composição homogénea, as ondas propagar-se-iam desde o hipocentro até todos os cantos do planeta, em linhas retas, pelo seu interior. Todavia, a realidade comprovada pelos sismogramas é bem diferente. A velocidade das ondas internas é muito maior em rochas à medida que aumenta a profundidade. Isto deve-se essencialmente à enorme pressão a que estão sujeitas, aumentando a sua resistência à compressibilidade, o que permite que a velocidade das ondas P aumente consideravelmente e que estas se curvem para a superfície à medida que se propagam.

Contudo, a partir dos 11600 km e até aos 15800 km de distância do hipocentro, os sismógrafos não captam a chegada de ondas internas diretas, em distâncias angulares entre os 105° e os 142°, constituindo aquilo que se designa como zona de sombra sísmica das ondas P. Mesmo a partir dos 142°, as únicas ondas diretas que chegam são as P e com um intervalo de tempo bastante superior ao previsto (Figura 1). O estudo destes dados permitiu a Oldham (1906, citado por Grotzinger et al., 2007) inferir que estaríamos na presença de um núcleo externo no estado líquido, explicando a ausência de registo de ondas S diretas a partir dos 105° a contar do foco do sismo – zona de sombra sísmica das ondas S. Já as ondas P, quando entram em contacto com o núcleo externo, sofrem refração, mudando a sua trajetória. Assim, só a partir dos 142° começam a aparecer os primeiros registos de ondas P diretas.

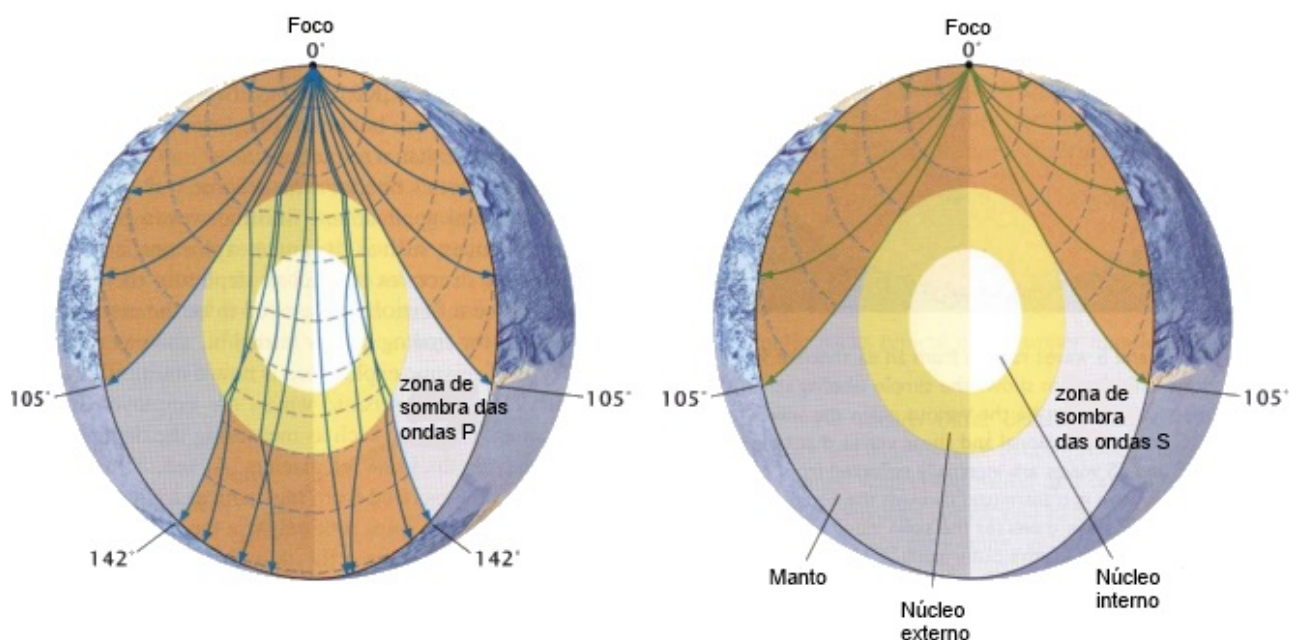


Figura 1: Zonas de sombra das ondas P e S devido à existência de um núcleo. (adaptado de Grotzinger et al. (2007, p. 327).

Mas as ondas P, para além de serem refratadas, podem também ser refletidas. Gutenberg (1914, citado por Grotzinger et al., 2007) estudou as ondas P e S refletidas no limite entre o manto e o núcleo para determinar a sua profundidade – 2891 km (Fig. 2). Estava assim determinada a descontinuidade de Gutenberg, que separa o manto do núcleo. Também pelo estudo da reflexão das ondas P, mas agora no limite entre o núcleo externo e o núcleo interno, Lehmann (1936, citado por Oldroyd, 1996) propôs a existência de um núcleo interno sólido que reflete parte das ondas P para explicar o seu estranho aparecimento na zona de sombra. Esta descontinuidade que permitiu a reflexão das ondas P e a divisão do núcleo em núcleo externo e interno, denomina-se descontinuidade de Lehmann e encontra-se a uma profundidade de aproximadamente 5150 km (Fig.2).

O terramoto do vale de Kulpa em 1909 permitiu a Mohorovičić (1910, citado por Oldroyd, 1996) provar a existência de uma fronteira entre a crosta e o manto. A profundidade média varia desde os 6-7 km na crosta oceânica, não contabilizando a profundidade dos oceanos (cerca de 4 km em média) e os 38 km na crosta continental, podendo chegar a valores acima de 70 km em algumas regiões (Mooney, Laske, & Masters, 1998) e designa-se por descontinuidade de Mohorovičić ou Moho (Fig.2). Esta descontinuidade é responsável pela chegada de 2 conjuntos diferentes de ondas P e S a mais de 800 km do epicentro. Mohorovičić acreditava que um desses conjuntos entraria por breves momentos no manto, aumentando de velocidade, sendo depois refratado de volta para a crosta, chegando antes do outro conjunto de ondas P e S que se propagaria apenas na crosta.

Modelo químico da estrutura interna da Terra

O processo de acreção que a Terra primitiva sofreu, na mesma altura em que todos os outros corpos do Sistema Solar se formavam, levou a um aumento de temperatura, seguindo-se a diferenciação em camadas. Assim, a Terra pode ser dividida em várias camadas concêntricas, tendo em conta a sua composição química (Fig.2). Existem então, da superfície até ao centro: a crosta (continental e oceânica), o manto (superior, zona de transição e inferior) e o núcleo (externo e interno). Contudo, o processo de diferenciação tornou impossível a obtenção de amostras diretas da composição química da Terra.

A construção deste tipo de modelo está dependente de três fontes: o perfil das ondas sísmicas internas da Terra, os dados obtidos de meteoritos primitivos e o estudo do comportamento dos minerais a altas pressões e temperaturas. Em termos gerais, 90% da Terra é constituída por ferro (Fe), silício (Si), magnésio (Mg) e oxigénio (O), podendo chegar próximo dos 100% se considerarmos o cálcio (Ca), o alumínio (Al), o níquel (Ni), o sódio (Na) e, possivelmente, o enxofre (S) (Condie, 2003).

Crusta

A crosta divide-se em crosta continental e crosta oceânica, tendo em conta diversos fatores, como a origem e a composição litológica.

A diferença de velocidade das ondas P e S na crosta continental permite a sua divisão em 3 zonas, à medida que a profundidade, a temperatura e a pressão vão aumentando: crosta superior, crosta intermédia e crosta inferior. No entanto, só é possível obter amostras diretas da crosta superior porque esta se encontra mais à superfície. Quanto às outras camadas da crosta,

pode obter-se alguma informação através da análise de rochas metamórficas de alto grau formadas em profundidade e que afloraram devido a atividade tectónica (Miller & Paterson, 2001) ou de xenólitos trazidos à superfície por magmas ascendentes (Rudnick, 1992, citado por Wedepohl, 1995). As crustas continentais superior, intermédia e inferior têm uma espessura média de 12, 11 e 17 km, respetivamente, sendo que a intermédia e a inferior apresentam uma grande disparidade de valores consoante o local a analisar (Kearey, Klepeis, & Vine, 2009).

O aumento de velocidade das ondas sísmicas com a profundidade deve-se, sobretudo, ao aumento da pressão que reduz o espaço entre os minerais, levando a um aumento da rigidez (μ) e da incompressibilidade (k) superior ao da densidade (ρ), já que as velocidades das ondas P e S são dadas pelas seguintes equações:

$$V_P = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

A mudança da velocidade de propagação deste tipo de ondas sugere a presença de um meio diferente, ou por alteração da composição química ou por mudança de fase. Geralmente, mudanças abruptas são associadas a alterações na composição, ao passo que a mudança de fase caracteriza-se por uma subida ou descida gradual da velocidade das ondas sísmicas internas.

A litologia da crosta continental é extremamente variada com uma composição andesítica ou granodiorítica (McLennan & Taylor, 1996, citado por Kearey, Klepeis, & Vine, 2009). A composição da crosta continental superior pode ser estimada pela recolha e análise de amostras de rochas e sedimentos de todo o mundo e, apesar do granito ter sido muitas vezes apontado como a rocha mais representada na crosta, pensa-se agora que a composição seja predominantemente granodiorítica e diorítica, com uma concentração relativamente elevada de elementos radioativos – isótopos de potássio (K), tório (Th) e urânio (U) (Gao et al., 1998). A velocidade das ondas P neste local é compreendida entre os 5,7 e os 6,3 km/s. A crosta continental intermédia apresenta um aumento gradual no teor de rochas máficas e de rochas metamórficas, como os gnaisses, aumentando a sua densidade e reduzindo a percentagem de sílica presente em relação à crosta continental superior, com velocidades das ondas P entre os 6,4 e os 6,7 km/s. Já a crosta continental inferior terá como rocha característica o gabro, com um aumento de granadas com a profundidade, podendo ser o mineral mais abundante perto da descontinuidade de Moho (Christensen & Mooney, 1995; Mooney et al., 1998).

A crosta oceânica também pode ser dividida em 3 camadas (Camada 1, Camada 2 e Camada 3) apesar de o aumento da velocidade das ondas internas ser progressivo e não

aumentar bruscamente de camada para camada. A Camada 1 tem em média 400 m de espessura e é composta por sedimentos detríticos trazidos por correntes turbidíticas e depósitos pelágicos, a Camada 2 tem uma espessura variável entre os 1-2,5 km e caracteriza-se por um aumento da aceleração das ondas sísmicas até uma velocidade perto dos 6,2 km/s, sendo constituída essencialmente por basalto. Por fim, a Camada 3 tem uma espessura média de 5 km, é constituída por gabro e, apesar de ter uma maior espessura que a camada superior, não regista um grande aumento da velocidade das ondas sísmicas – dos 6,2 aos 7 km/s (Spudich & Orcutt, 1980, citado por Kearey et al., 2009).

Manto

O manto é a região compreendida entre a descontinuidade de Moho, a uma média de 21 km de profundidade, e a descontinuidade de Gutenberg, a 2891 km de profundidade. A composição é relativamente homogénea – minerais silicatados. A mineralogia e a estrutura destes silicatos varia com a profundidade, dividindo o manto em 3 zonas (Fig. 2): o manto superior (21-410 km), a zona de transição (410-660 km) e o manto inferior (660-2891 km).

O manto superior é constituído por peridotito com minerais de olivina, e uma velocidade de ondas sísmicas de 8 km/s. Aos 410 km de profundidade há uma descontinuidade caracterizada por uma mudança de fase, devido à forte pressão que se faz sentir àquelas profundidades. As piroxenas, as granadas e sobretudo a olivina sofrem alterações na sua estrutura, dando esta origem a perovskita já na passagem da zona de transição para o manto inferior, na descontinuidade de Repetti, aos 660 km. É levantada a hipótese de que as placas litosféricas subductadas possam atingir o manto inferior, dando força à ideia que as correntes de convecção ocorrem em todo o manto e não separadamente no manto superior e no manto inferior (Helffrich & Wood, 2001).

Núcleo

O núcleo tem um raio médio de 3480 km e divide-se em núcleo externo e núcleo interno, separados pela descontinuidade de Lehmann, a 5150 km (Fig.2). O núcleo externo, fluido, será constituído essencialmente por ferro (Fe), 4% de níquel (Ni) e alguns elementos mais leves, nomeadamente o oxigénio (O) e o potássio (K). O núcleo interno será sólido e quase exclusivamente composto por ferro. Estas hipóteses derivam não só da velocidade de propagação das ondas sísmicas mas também da análise dos sideritos e das relações entre Fe e Ni neles presentes (Kearey et al., 2009).

Modelo físico da estrutura interna da Terra

A teoria da Tectónica de Placas assenta no pressuposto de que várias camadas rígidas – placas tectónicas – se movimentam sobre uma camada mais ou menos fluida. A própria isostasia remete para um meio deformável por baixo de uma camada sólida. Assim, o modelo físico da estrutura interna da Terra atenta à reologia do interior da Terra, dividindo-a em litosfera, astenosfera, mesosfera e endosfera externa e interna.

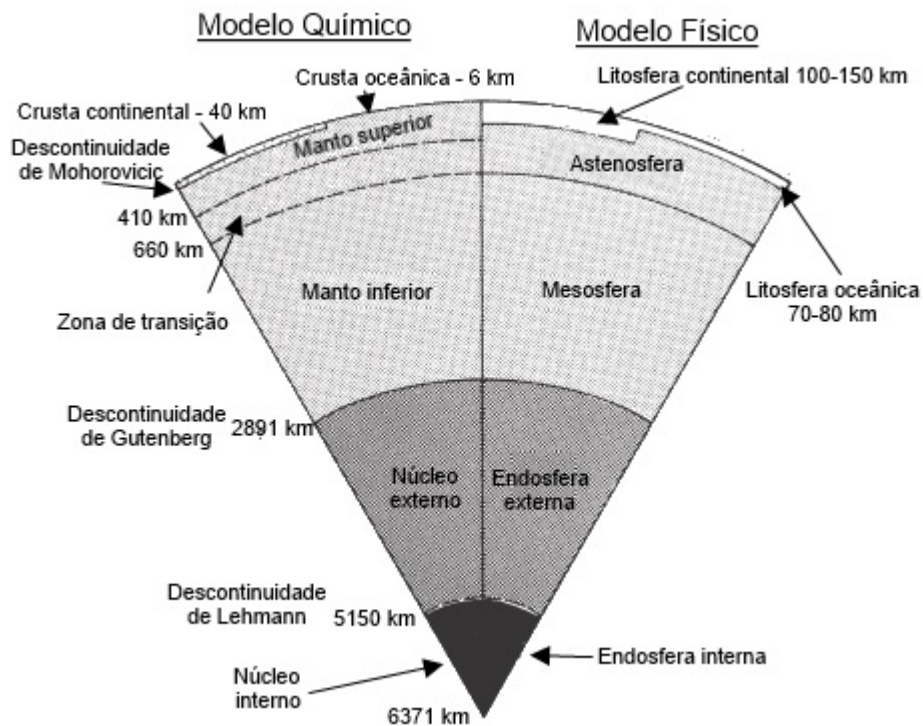


Figura 2: Comparação entre os modelos químico e físico da estrutura interna da Terra (adaptado de Kearey et al., 2009, p. 52).

Litosfera

A litosfera é a camada rígida mais externa da Terra, compreendendo a crosta e parte do manto superior. Esta divide-se em placas litosféricas (ou tectónicas) – oceânicas ou continentais dependendo da crosta correspondente – que se movimentam sobre a astenosfera. A fronteira entre a litosfera e a astenosfera pode atingir vários quilómetros, dependendo do ponto de fusão do material que compõe o manto superior, o peridotito. Uma vez que, tanto o ponto de fusão como a temperatura aumentam com a profundidade, a transição não é abrupta (Kearey et al., 2009).

Astenosfera

A astenosfera não se encontra totalmente no estado líquido, visto que as ondas S se propagam nesse meio, mas, como consequência da temperatura dessa região atingir valores próximos do ponto de fusão dos materiais, está parcialmente fundida (menos de 1%) (O'Connell & Budiansky, 1977, citado por Kearey et al., 2009). Este estado plástico permite-lhe deformar-se fluindo, acompanhando os movimentos verticais e horizontais da litosfera. O limite superior da astenosfera pode ser bastante próximo da superfície nos vales de rifte ou chegar aos 250 km de profundidade por baixo dos cratões. Os dados da velocidade de propagação das ondas sísmicas revelam que a estas profundidades se encontram as chamadas Zonas de Baixa Velocidade (ZBV), caracterizadas por um decréscimo na velocidade de propagação das ondas sísmicas internas. O limite inferior da astenosfera é ainda pouco claro, acreditando-se que possa chegar até aos 660 km.

Mesosfera, endosfera externa e endosfera interna

A mesosfera encontra-se dentro dos mesmos limites do manto inferior e, uma vez que há um aumento estável da velocidade das ondas sísmicas, encontra-se no estado sólido. Nos últimos 200 a 300 km da camada encontra-se uma zona com uma forte heterogeneidade lateral em que a velocidade das ondas sísmicas decresce denominada D" e que possui também uma zona de velocidades ultra-baixas nos últimos quilómetros, na sua base, (Garnero, Revenaugh, Williams, Lay, & Kellogg, 1998) o que pode indicar uma fusão parcial de mais de 15% (Thybo, Ross, & Egorkin, 2003).

Também a endosfera externa e a endosfera interna têm correspondência no modelo químico da estrutura interna da Terra (Fig.2). A endosfera externa corresponde ao núcleo externo e encontra-se no estado líquido, havendo correntes de convecção, responsáveis pelo campo magnético terrestre. A endosfera interna está relacionada com o núcleo interno, encontrando-se no estado sólido.

2.2. A célula

Enquadramento histórico

Os nossos antepassados, não tendo nenhum conhecimento acerca de DNA ou mesmo da célula, notaram que todos os seres vivos tinham algo em comum. A isso, deram o nome de “vida” e foi essa constante curiosidade em saber o que é que nos une a todos, seres vivos, que permitiu os avanços científicos e tecnológicos no domínio celular até aos dias de hoje.

Devido ao seu tamanho reduzido, as células só podem ser observadas através de um microscópio, um aparelho concebido para ampliar a imagem de objetos de pequena dimensão. Assim, o que era desconhecido e, ao mesmo tempo, nos era tão próximo começou lentamente a ser-nos revelado. Os primeiros microscópios óticos compostos começaram a aparecer nos finais do séc. XVI, mas o grande passo foi dado por Robert Hooke em 1665, quando observou uma fatia finíssima de cortiça ao microscópio e observou uma estrutura rendilhada com vários poros, lembrando favos de mel (Fig. 3). A esses poros deu o nome de células, embora saibamos agora que as verdadeiras células já não existem na cortiça e que Hooke apenas observara a parede celular deixada pelas células mortas (Karp, 2013). Também por esta altura, Anton

van Leeuwenhoek observou pela primeira vez células bacterianas através da recolha de restos de comida deixados nos dentes ou de água utilizada para lavar vegetais. Devido ao facto de não ser cientista, não foi levado a sério nos primeiros anos, embora lhe tenha sido atribuído o sucesso da descoberta ainda em vida (Karp, 2013).



Figura 3: Um dos microscópios óticos compostos de Robert Hooke com um desenho de uma fatia de cortiça observada ao microscópio (retirado de (Karp, 2013, p. 2).

Teoria celular

Mathias Schleiden, um botânico, e Theodor Schwann, um zoológico, eram colegas em 1838 e através das suas descobertas em cada área propuseram os seguintes princípios da designada Teoria celular (Karp, 2013):

- 1) Todos os organismos são compostos por uma ou mais células.
- 2) A célula é a unidade estrutural da vida.

Contudo, quanto à origem das células, acreditavam que estas podiam ser criadas a partir de matéria que não fosse celular. Só em 1855, Rudolf Virchow, um patologista alemão, provou a origem das células, acrescentando um terceiro princípio à Teoria celular (Karp, 2013):

- 3) As células só se criam a partir da divisão de células pré-existentes.

Organização estrutural

O aparecimento do microscópio eletrónico permitiu a observação das estruturas que compunham as células, evidenciando a presença de diversos organelos – estruturas internas da célula com funções específicas. Apesar da tremenda diversidade celular que se verifica até dentro do mesmo espécime, tornou-se claro que havia dois tipos básicos de células: as células procarióticas e as células eucarióticas (Fig. 4)(Alberts, Bray, et al., 2010).

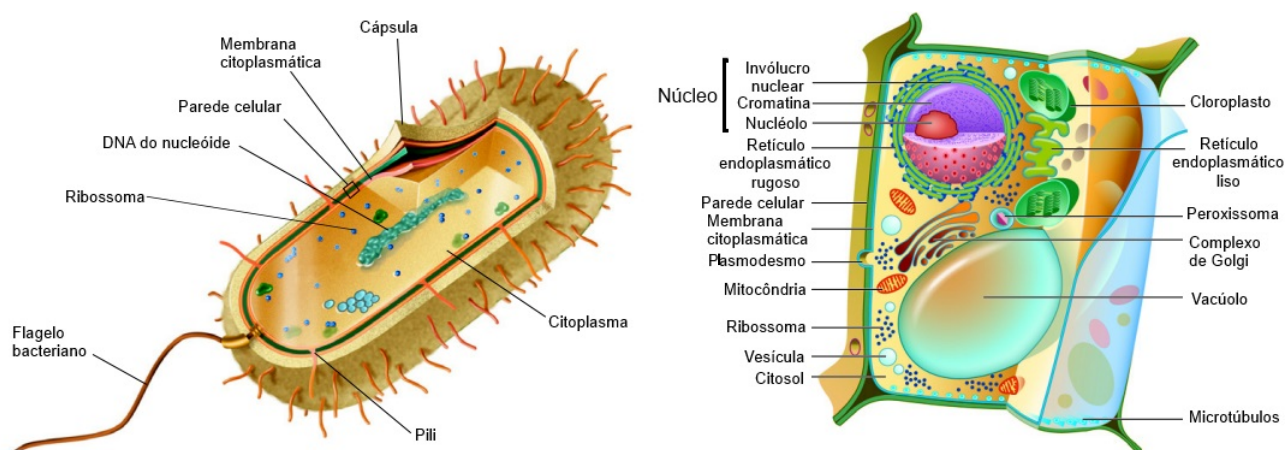


Figura 4: Esquema de um organismo composto por uma célula procariótica – procarionte – à esquerda, e de uma célula eucariótica vegetal de um organismo eucarionte, à direita (adaptado de Karp, 2013, p. 8).

As células procarióticas, típicas das bactérias, não possuem nenhum organelo nem um núcleo individualizado (possuem apenas uma região designada nucleóide onde se localiza o DNA) e é precisamente a presença de núcleo que caracteriza uma célula eucariótica. Apesar destas enormes diferenças, todas as células crescem, convertem energia de um tipo para outro, reagem

a estímulos do ambiente, reproduzem-se, estão delimitadas pela membrana citoplasmática e contêm DNA que armazena a informação genética necessária à síntese de RNA e de proteínas (Alberts, Bray, et al., 2010). Contudo, devido à grande diferença existente entre as células procarióticas das Bacteria e das Archea, há quem proponha o abandono do conceito de célula procariótica (Pace, 2006).

Componentes celulares

As células procarióticas têm alguns componentes celulares em comum com as células eucarióticas como a membrana citoplasmática, o citoplasma e os ribossomas. Entre a célula eucariótica vegetal (Fig. 4) e a célula eucariótica animal (Fig. 5) destaca-se a presença de parede celular, cloroplastos e vacúolos nos eucariontes vegetais e de centríolos e flagelos nos eucariontes animais (Alberts, Bray, et al., 2010).

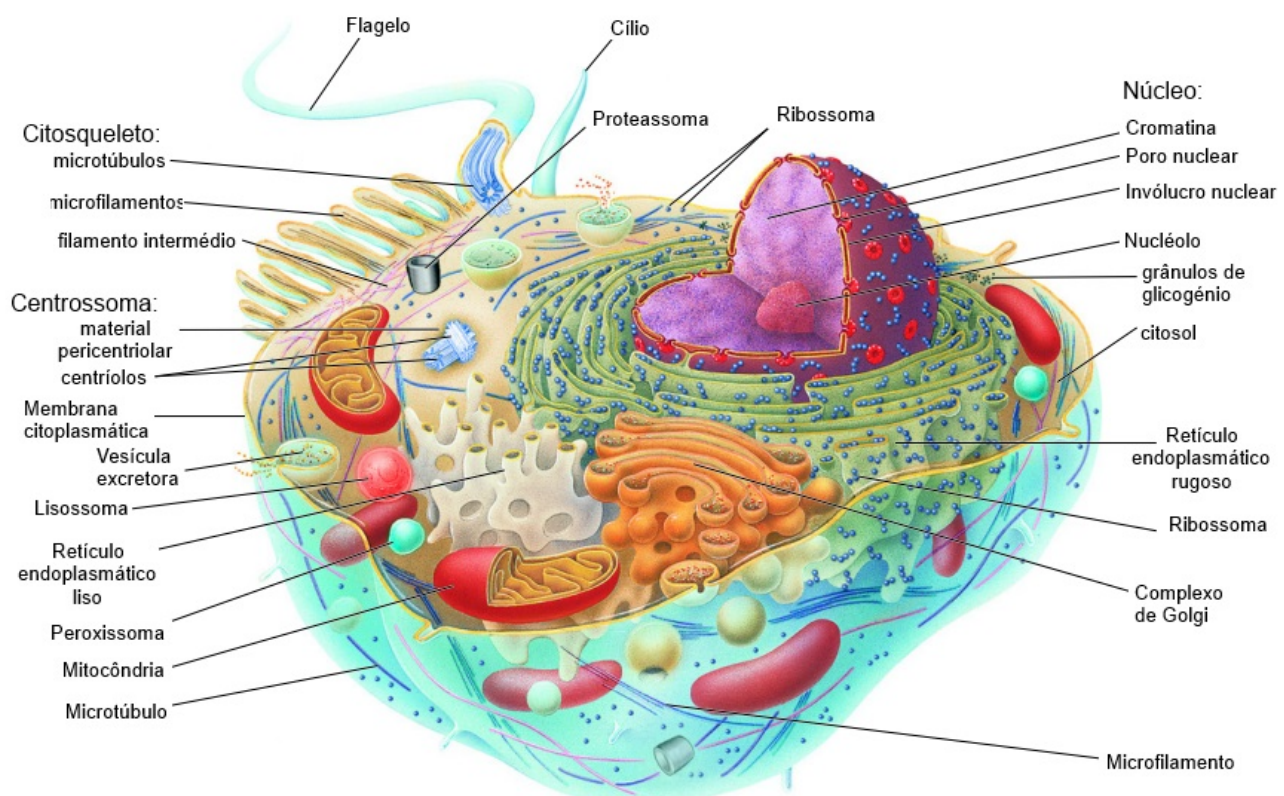


Figura 5: Esquema de uma célula eucariótica animal (adaptado de Karp, 2013).

Núcleo

O núcleo é, geralmente, o maior organelo de uma célula eucariótica e está delimitado por duas membranas que formam o invólucro nuclear. Contém cromatina, constituída por DNA e proteínas associadas. A cromatina, no momento em que a célula está prestes a dividir, condensa-

se, sendo possível observar ao microscópio uma estrutura denominada cromossoma. O DNA contém toda a informação genética necessária para o funcionamento da célula, uma vez que o mRNA (RNA mensageiro) é produzido a partir do DNA no núcleo através da enzima RNA Polimerase – transcrição – que depois é usado para sintetizar proteínas, vitais para quase todas as funções de uma célula. No núcleo é possível encontrar nucleólos, locais onde ocorre o processamento de rRNA (RNA ribossómico) e a junção das duas sub-unidades ribossómicas, 40S e 60S. Por todo o invólucro nuclear encontram-se poros nucleares, responsáveis pelo transporte de sub-unidades ribossómicas, RNA e proteínas através do invólucro nuclear, que se encontra depois conectado com o retículo endoplasmático rugoso atrás da membrana externa (Alberts, Bray, et al., 2010; Karp, 2013).

Retículo endoplasmático

O retículo endoplasmático (RE) é um sistema de túbulos, cisternas e vesículas espalhados pelo citoplasma e separados por membranas do citosol. O retículo endoplasmático divide-se em retículo endoplasmático rugoso (RER) e retículo endoplasmático liso (REL). As funções do REL variam de célula para célula mas vão desde a síntese de esteróides, a desintoxicação de diversos compostos orgânicos até à sequestração de iões de cálcio. O RER caracteriza-se pela presença de ribossomas na superfície da membrana e é nele que ocorre a síntese de proteínas transmembranares, lisossomais e secretoras. O RE atua também na síntese dos fosfolípidos da membrana citoplasmática e no processamento das glicoproteínas (Alberts, Bray, et al., 2010; Karp, 2013).

Complexo de Golgi

O complexo de Golgi consiste no empilhamento de cisternas achatadas, túbulos e vesículas e intervém no transporte e modificação das proteínas e lípidos transmembranares sintetizados no retículo endoplasmático. Estes fazem um percurso desde a face *cis* até a face *trans* do complexo de Golgi. A partir da face *trans*, são formadas vesículas com proteínas membranares encarregues de transportar cada proteína, glicoproteína ou lípido ao seu local de destino (Alberts, Bray, et al., 2010; Karp, 2013).

Lisossomas

Os lisossomas são organelos que contêm hidrolases ácidas responsáveis pela degradação de inúmeras macromoléculas, bactérias e detritos que entram na célula por fagocitose e pela destruição de organelos antigos – autofagia (Alberts, Bray, et al., 2010; Karp, 2013).

Mitocôndria

A mitocôndria é um grande organelo, com diferentes formas, constituído por uma membrana exterior porosa e uma membrana interior impermeável e com dobras formando cristas. Para além de possuir diversas proteínas e ribossomas no seu interior, tem também o seu próprio DNA e RNA, sustentando a hipótese de que terá evoluído a partir de uma bactéria simbiote. É na mitocôndria que ocorre o metabolismo oxidativo, com a conversão de produtos resultantes do catabolismo de proteínas, lípidos e glícidos em energia química sob a forma de ATP (Adenosina Trifostato) (Alberts, Bray, et al., 2010; Karp, 2013).

Ribossoma

Os ribossomas são partículas não-membranares envolvidas na síntese de proteínas durante o processo de tradução do mRNA. O ribossoma liga-se ao mRNA no codão iniciador AUG e começa a ler o mRNA codão por codão (composto por 3 nucleótidos). À medida que vai lendo o mRNA, começa a ligar os aminoácidos entregues pelo tRNA (RNA de transferência) correspondentes de cada codão, formando as proteínas. Contém duas sub-unidades – 40S e 60S (Alberts, Bray, et al., 2010; Karp, 2013).

Cloroplasto

Os cloroplastos são membros da família dos plastídeos, existindo fortes indícios genéticos e bioquímicos de que são descendentes de bactérias fotossintéticas produtoras de oxigénio que foram endocitadas por células eucarióticas primitivas (Alberts, Lewis, Raff, Roberts, & Walter, 2010).

Nas plantas e nas algas a fotossíntese ocorre nestes organelos intracelulares especializados. Os cloroplastos utilizam a energia da luz solar para oxidar a água e produzir oxigénio nas reações da fase dependente da luz da fotossíntese e fixa o CO₂, convertendo-o em hidratos de carbono, como a sacarose, que podem ser mobilizados para outros locais do organismo, na fase não dependente da luz da fotossíntese (Alberts, Lewis, et al., 2010).

Parede celular

A parede celular das plantas é uma matriz extracelular complexa que oferece alguma rigidez às células, daí a ausência de movimento das células eucarióticas vegetais. É constituída essencialmente por celulose, linhina e pectina. Ao contrário da matriz extracelular das células eucarióticas animais, não é constituída por compostos azotados, já que o azoto pode ser um nutriente escasso. Tem como principais funções a sustentação da planta, a proteção de cada célula e o transporte de fluidos (Alberts, Lewis, et al., 2010).

Ciclo celular

O termo “ciclo celular” refere-se à série de acontecimentos que leva à divisão celular e à criação de duas células-filhas a partir de uma célula-mãe. Existem duas fases principais: a interfase e a mitose.

A interfase caracteriza-se pela duplicação e coesão dos cromossomas e pela duplicação dos centrossomas na célula e é composta pelas fases G_1 , S e G_2 .

A mitose compreende 6 fases principais: prófase, prometáfase, metáfase, anáfase, telófase e citocinese. A prófase caracteriza-se pela formação do fuso mitótico e pela condensação dos cromossomas que já vão possuir um cinetocoro no seu centrómero. A prometáfase começa com a destruição do invólucro nuclear e a ligação dos microtúbulos do fuso acromático aos cinetocoros. A metáfase é o momento em que os vários cromossomas se alinham no equador da célula. A anáfase compreende a separação das cromátides irmãs e a sua migração para os pólos, assim como o progressivo afastamento dos pólos. De seguida, ocorre a telófase com a formação do invólucro nuclear, a descondensação dos cromossomas e, no caso das células animais, a constituição de um anel contrátil. Na citocinese, as células-filhas são formadas a partir do estrangulamento da membrana citoplasmática da célula-mãe por parte do anel contrátil (Lodish et al., 2013).

A meiose é bastante similar à mitose e permite a formação de células haplóides que podem depois fundir-se com células haplóides de um elemento da mesma espécie e do sexo oposto, dando origem a um zigoto diplóide. Assim, em vez de, por cada fase de síntese de DNA, haver uma segregação dos cromossomas, na meiose ocorrem duas fases de segregação de cromossomas por cada fase de síntese de DNA. Há também outras pequenas diferenças que permitem que, na mesma meiose, haja alguma variação entre as células obtidas, nomeadamente a recombinação genética e o *crossing-over*. Já a mitose é um processo altamente conservativo (Lodish et al., 2013).

3. Enquadramento didático

3.1. Modelação

Um modelo, segundo Gilbert & Iretton (2003), é um “sistema de objetos ou símbolos que representa algum aspeto de outro sistema, apelidado de alvo”. Assim sendo, não é difícil perceber que os usamos todos os dias em conversas, para aprender, experimentar e fazer previsões. Um modelo partilha certas características com o seu alvo que podem partilhar o mesmo aspeto visual, comportar-se da mesma maneira, ou simplesmente relacionar-se com o alvo através de uma relação compreendida por todos. Como tal, a modelação está no centro da aprendizagem, apesar de que, para serem úteis, os modelos devem distinguir-se claramente dos seus alvos, de modo a garantir que não haja conceções alternativas (Gilbert & Iretton, 2003).

A representação de uma pequena parte de um sistema complexo real através de um modelo pode ter como objetivo a compreensão e a discussão dos fenómenos complexos que fazem parte do sistema. Em contexto educativo, os três principais objetivos da modelação são: (1) a produção de versões mais simples de objetos ou conceitos; (2) o auxílio na visualização de certos fenómenos; e (3) o fornecimento de explicações para fenómenos científicos. A simplificação do alvo pode tornar o modelo e o alvo bastante diferentes um do outro sem, contudo, se tornar um problema. Pelo contrário, esta simplificação pode ignorar detalhes menos relevante concentrando as atenções no que é mais importante ou interessante, permitindo a identificação das características essenciais do alvo (Van Driel & Verloop, 1999). A aprendizagem de um conceito abstrato é mais rapidamente alcançada quando o conceito se reduz ao mínimo necessário para a sua compreensão (Khine & Saleh, 2011). Os modelos servem, então, como uma ponte entre os conceitos teóricos abstratos e estruturas mais concretas. Para compreender melhor esta ponte, Cartwright (1999, citado por Sensevy, Tiberghien, Santini, Laubé, & Griggs, 2008) faz uma analogia com as fábulas e a moral: “As fábulas transformam o abstrato no concreto e ao fazê-lo, eu proclamo, elas funcionam como os modelos na física. A tese que quero defender é que a relação entre a moral e a fábula é como a da lei científica com o modelo”.

De acordo com a classificação de Hodson (1988, citado por Leite, 2001), podemos classificar a atividade de modelação como sendo uma atividade prática. A sua implementação permite aos professores criarem ambientes de interação, onde os alunos podem desenhar, criar e testar ideias alternativas e modelos que representem um sistema por eles observados. A execução dos modelos possibilita a comparação, por parte dos alunos, dos resultados com as percepções que possuíam previamente. Para os professores a utilização de modelos envolve os alunos num processo criativo, sobretudo se forem eles a conceber esse recurso, a aperfeiçoá-lo e

a descobrir a forma mais adequada de o utilizar nas suas aulas. No entanto, apesar de ser valorizada pelos professores, a modelação é ainda pouco usada na sala de aula (Justi & Gilbert, 2003).

A educação em ciências prevê dois tipos de modelos: os modelos conceptuais e os modelos mentais. Os modelos conceptuais são representações externas precisas, completas e consistentes com o conhecimento científico, construídas para a compreensão ou o ensino de sistemas. Neste tipo de modelos incluem-se os modelos matemáticos (fórmulas matemáticas), físicos (representações físicas) e computacionais – simulações (Ornek, 2008). Das características comuns aos diferentes modelos salientam-se (Van Driel & Verloop, 1999):

- Um modelo está sempre relacionado com um determinado alvo, isto é, um sistema, objeto, fenómeno ou processo.
- Um modelo constitui um recurso de estudo utilizado para obter informações acerca do que não pode ser observado diretamente – fenómeno, processo ou sistema.
- Um modelo é sempre mais simples do que o alvo que pretende representar.
- A conceção do modelo e a sua construção é um processo iterativo baseado em dados do alvo que podem conduzir à revisão e reconstrução do mesmo.
- O modelo é testado para um estudo mais aprofundado do alvo.

Em 1983, Johnson-Laird começa a falar de modelos mentais tendo como principal objetivo estabelecer uma teoria unificada de fenómenos cognitivos distintos. A principal característica da sua teoria é que os modelos mentais são definidos como representações análogas da realidade. Face a um determinado contexto, são selecionados modelos para interpretar o contexto, assim como as possíveis interações entre eles, determinando uma representação interna que servirá como substituto do contexto. (Greca & Moreira, 2000).

As representações mentais, segundo a teoria de Johnson-Laird, podem então dividir-se em 3 classes distintas: representações proposicionais, modelos mentais e imagens. A sua definição pode ser esclarecida através de uma analogia entre as representações mentais (internas) e as linguagens de programação computacional. A partir da linguagem computacional (0 e 1) e de uma sintaxe particular – representações proposicionais – os programadores usam linguagens de programação sofisticadas capazes de produzir novos programas – modelos mentais e imagens (Greca & Moreira, 2000).

Os modelos mentais, para além de serem representações internas dinâmicas, que vão sendo sempre melhoradas e aumentadas, são caracterizados pela falta de regras pré-estabelecidas. Isto é, a própria analogia que se faz entre o modelo mental e o sistema em causa já contempla certas propriedades e relações entre eles que permitem observações e inferências

diretas, sem a necessidade de se postular regras (Moreira, 1996).

Nersessian (1992) coloca os modelos mentais num nível intermédio entre o fenómeno ou objeto e o modelo conceptual correspondente. Greca e Moreira (2000) formulam de forma bastante clara aquilo que se passa na sala de aula:

Os alunos, de maneira a compreenderem o mundo (e os seus fenómenos) que os rodeia, constroem representações internas – modelos mentais – que lhes permitem conhecê-lo, explicá-lo ou prevê-lo. Estes modelos são pessoais, incompletos e qualitativos. Isto é, estes modelos de fenómenos físicos – modelos que nem são consistentes com os modelos cientificamente aceites nem têm que ser consistentes entre eles, e cuja única condição necessária é a utilidade (funcional) na relação entre eles e os estudantes na sua vida quotidiana – constituem o conhecimento prévio que os estudantes trazem para a sala de aula. É aí, na sala de aula, que os modelos conceptuais são lhes introduzidos. Quando os estudantes recebem esta informação, têm diferentes possibilidades. A primeira pode ser a tentativa de interpretá-los à luz do conhecimento que já possuem, gerando modelos híbridos. A segunda possibilidade seria a sua memorização em listas desconexas – através de representações proposicionais internas – para passar nos testes de avaliação. A terceira, e provavelmente a mais difícil de concretizar, seria a construção de modelos mentais consistentes com a informação que os estudantes recebem. (p. 8)

Assim, a modelação poderá ser uma estratégia a considerar, de maneira a que os estudantes possam escolher, preferencialmente, a terceira opção. Assim, obterão modelos mentais mais fieis aos modelos conceptuais que representam determinado fenómeno ou objeto.

4. Metodologia da investigação

4.1. Problema e objetivos de investigação

O propósito deste estudo é verificar se a dificuldade na construção de modelos mentais coerentes, devido ao raciocínio abstrato implícito em temáticas que envolvem conceitos com dimensões microscópicas, como a célula, ou de grande escala, como a estrutura interna da Terra, por parte de alunos do 10º de escolaridade, é ultrapassada com o uso da modelação como estratégia de ensino.

Partindo desta premissa, formularam-se os objetivos desta investigação:

- 1) Diagnosticar os modelos mentais da célula e da estrutura interna da Terra que os alunos possuem.
- 2) Avaliar a eficiência de modelos didáticos nas temáticas em estudo.
- 3) Comparar duas técnicas de pontuação de mapas de conceitos: a de Novak & Gowin (1996) e a de Calafate et al. (2009).

4.2. Natureza da investigação

No que diz respeito ao propósito, esta investigação decorreu segundo os moldes de um estudo de avaliação. Este tipo de estudos visa a recolha e análise de dados que testem a qualidade, eficiência e mérito de programas, produtos ou práticas e pode ser formativo ou, neste caso, sumativo (Gay, Mills, & Airasian, 2006). Assim, pretendeu-se avaliar a eficiência da modelação como estratégia para a aprendizagem de conceitos abstratos.

De referir, ainda, que esta investigação tem um carácter pouco profundo, uma vez que duas turmas terão um pré-teste seguido de uma intervenção com posterior pós-teste, sem grupo de controlo, constituindo a chamada investigação pré-experimental (Coutinho, 2011). Os estudos pré-experimentais são contestados pelo facto de não apresentarem um grupo de controlo, revelando-se incapazes de controlar variáveis estranhas que podem comprometer a validade interna da investigação. Apesar disso, podem ser essenciais numa primeira fase e constituem, num contexto como o da Iniciação à Prática Pedagógica, alternativas aos estudos experimentais que permitem uma investigação quantitativa.

De referir, ainda, que o pós-teste foi aplicado 2 a 3 dias depois do último dia de intervenção.

4.3. Técnicas e instrumentos de recolha e análise

De modo a avaliar o efeito na aprendizagem da modelação foi usada a testagem como técnica de recolha de dados. Assim, com base em 2 testes em que se pediu a elaboração de desenhos e de mapas de conceitos – instrumentos – é feita uma análise de determinados parâmetros em relação aos desenhos e é atribuída uma pontuação aos mapas de conceitos a partir de um mapa de conceitos de referência (ver Apêndices 9.1 a 9.4). Antes da aplicação do pré-teste foram apresentadas as regras da elaboração de mapas de conceitos, segundo Novak & Gowin (1996) e praticou-se, durante 60 minutos, a construção de mapas de conceitos sobre o vulcanismo.

A análise dos desenhos foi feita, no que concerne à célula, com base nos trabalhos de Palmero (Palmero, Acosta, & Moreira, 2001; Palmero & Moreira, 1999, 2002) e, em relação à estrutura interna da Terra, de Steer, Knight, Owens, & McConnell (2005), sendo feitas algumas adaptações recorrentes da amostra em causa – alunos do 10º ano de escolaridade – e do Programa da disciplina de Biologia e Geologia. No âmbito da Geologia procurou-se saber, para cada um dos modelos da estrutura interna da Terra – modelo físico e modelo químico – a capacidade dos alunos em identificar as várias camadas e a sua dimensão (Apêndice 9.3).

No caso da célula, pretendeu-se quantificar quais os tipos de célula que cada aluno identifica, os vários componentes celulares de cada tipo de célula que legenda, assim como o reconhecimento da tridimensionalidade de uma célula (Apêndice 9.6).

A pontuação final dos mapas de conceitos foi efetuada com base em duas técnicas, a cotação de Novak e Gowin (1996) e uma nova abordagem que visa melhorar a avaliação de mapas de conceitos (Calafate, Cano, & Manzoni, 2009). A pontuação de Novak & Gowin (1996) atribui 1 ponto por cada proposição válida e significativa, 5 pontos por cada nível hierárquico e 10 pontos por cada ligação cruzada válida e significativa, comparando depois o mapa de conceitos com um de referência elaborado pelo professor (Apêndices 9.2 e 9.5). A proposta de Calafate et al. (2009) avalia a definição de conceitos válidos, estabelecendo conceitos essenciais e conceitos secundários e a definição de relações entre eles, sejam simples proposições ou ligações cruzadas, usando as fórmulas da figura 6.

$$Pontuação = \alpha \cdot \frac{S_1}{M_1} + \beta \times MS \times RA + \chi \times Q \quad S_1 = \frac{n_e}{N} \cdot \log_N(n_e + n_s) \quad M_1 = \log_N(N + \theta \times N) \quad DM = \frac{r}{n-1}$$

Figura 6: Fórmulas de pontuação de mapas de conceitos segundo Calafate et al. (2009, pp. 3-5).

A pontuação pode ser convertida em percentagem e α , β e χ podem assumir valores entre 0 e 1 que combinados sejam igual a 1. S_1 tenta medir a quantidade de conceitos essenciais e secundários alcançados pelo aluno em comparação com o que era esperado. M_1 define o valor máximo de conceitos válidos, a partir dos quais já se obtém a pontuação máxima neste

parâmetro. MS é a pontuação de entrosamento e assume 3 valores (0,7; 0,85 e 1) com base no grau de entrosamento (DM), medido através das relações (r) que se estabelecem para além do mínimo de relações possíveis ($r_{\text{mínimo}} = \text{conceitos} - 1$). RA é a precisão das relações estabelecidas, é uma avaliação qualitativa das frases de ligação que unem os conceitos e assume um valor entre 0 e 1. O parâmetro Q também assume um valor entre 0 e 1 e tenta fazer uma avaliação qualitativa de elementos complementares, tais como o uso de cores e esquemas. Uma vez que os alunos não estavam muito treinados para a criação de mapas de conceitos, este parâmetro foi excluído da equação, sendo $\chi = 0$.

Mapas de conceitos

A origem dos mapas conceptuais remonta ao ano de 1972, tendo como principal objetivo organizar a informação recolhida em entrevistas realizadas no decorrer de um projeto de investigação, liderado por Joseph Novak, sobre a aprendizagem de conceitos científicos. A principal finalidade era representar melhor o conhecimento conceptual e observar mudanças explícitas na sua construção ao longo do tempo por crianças dos 6 aos 12 anos (Novak & Cañas, 2006).

Um mapa de conceitos é uma forma de representação do conhecimento que organiza de hierarquicamente, do mais geral para o mais específico, os principais conceitos de um determinado domínio ou tópico de conhecimentos. Inclui conceitos, geralmente envolvidos por círculos ou caixas e as relações entre os mesmos, ou proposições, que aparecem como uma linha, contendo uma palavra, ou várias, que ligam dois conceitos. Essas palavras de ligação especificam a relação entre os dois conceitos, atribuindo um significado à relação (Novak & Gowin, 1996).

A importância concedida às relações entre conceitos decorre da base conceptual dos mapas de conceitos: a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Novak salienta a seguinte citação de Ausubel como sendo uma das maiores influências na origem dos mapas de conceitos: “Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um princípio, diria isto: O fator mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; identifique-o e ensine em conformidade” (Ausubel, 1968, citado por Novak & Cañas, 2006). A aprendizagem é significativa quando uma nova informação (conceito, ideia) adquire significado para quem o aprende através de uma “ancoragem” na estrutura cognitiva pré-existente do indivíduo, adotando o nome de “subsunção”. Estes subsunções vão-se alterando e interligando entre si (reconciliação integradora) à medida que mais conhecimento é incorporado na estrutura cognitiva, tornando-se cada vez mais diferenciados e estáveis (diferenciação progressiva), o que promove a constante

reestruturação da estrutura cognitiva de quem aprende. Neste sentido, Moreira (2010) afirma que na aprendizagem significativa está implícita a atribuição de significados e estes têm sempre uma componente pessoal, distanciando-a da aprendizagem por memorização. Há dois princípios desta teoria que são fundamentais na construção dos mapas: i) o significado dos conceitos depende da sua interação com outros conceitos; e (ii) a estrutura de organização dos conceitos é uma variável importante de aprendizagem, uma vez que a estrutura de conhecimento é perspectivada como sendo hierárquica e não cronológica (Sequeira & Freitas, 1989).

O potencial dos mapas de conceitos como instrumentos de avaliação do conhecimento já foi reconhecido (McClure, Sonak, & Suen, 1999) e usado inúmeras vezes (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996; Stoddart, Abrams, Gasper, & Canaday, 2000). A melhor avaliação é aquela que é objetiva e fiável, que minimiza a influência do contexto nas respostas e que captura algo da natureza estrutural do conhecimento do objeto de estudo. Contudo, o típico teste de avaliação, de escolha múltipla ou resposta curta, apesar de poder ser objetivo e fiável, limita bastante o contexto de resposta, podendo disfarçar importantes falhas na organização do conhecimento do aluno (Goldsmith & Johnson, 1990, citados por (McClure et al., 1999). Já a avaliação baseada em mapas de conceitos pode ser objetiva e, ao mesmo tempo, sensível à estrutura de conhecimento do aluno.

Assim, utilizados como instrumentos auxiliares de avaliação, os mapas de conceitos podem ser úteis para o diagnóstico de concepções alternativas do aluno, quer através da maneira como ele organiza o conhecimento, quer através da deteção de erros e omissões. Além disso, devido ao facto de ser um instrumento bastante simples de executar, pode ser mais fiável quando comparado com outros instrumentos de avaliação mais subjetivos, que tentam aceder a alguma estrutura de conhecimento, tais como relatórios ou apresentações (McClure et al., 1999).

4.4. Caracterização da amostra

Os participantes desta investigação são alunos de duas turmas do 10º ano do curso de Ciências e Tecnologia que frequentam a disciplina de Biologia e Geologia numa escola do distrito do Porto. Esta é uma amostra por conveniência inserida nos métodos de amostragem não probabilística, já que os alunos foram escolhidos exclusivamente pela disponibilidade.

Ao todo, 19 alunos de cada turma (n=38) efetuaram os pré-teses, os pós-testes e frequentaram todas as aulas da intervenção. As idades variam entre os 14 e os 15 anos de idade com 52,6% dos elementos do sexo feminino. O tamanho da amostra pode variar de análise para análise, dependendo do cumprimento de determinados critérios definidos.

4.5. Intervenção

Geologia

No caso da Geologia, a intervenção começou por uma exposição interativa das temáticas abordadas: refere-se as várias camadas que constituem os modelos da estrutura interna da Terra – o físico e o químico – assim como as descontinuidades que as separam.

De seguida, os alunos formaram grupos de 6 a 7 elementos (4 grupos por turma) e começaram a construir o modelo recorrendo a esferas de esferovite cortadas a meio e marcadores. A moderação do professor é essencial no início da construção dos modelos, uma vez que os alunos podem ter algumas dúvidas sobre como fazer o modelo à escala correta. A secção plana da meia esfera é dividida em 2, separando as camadas do modelo físico do modelo químico. Após a pintura das camadas e da parte exterior da esfera, assemelhando-a à superfície do planeta Terra, o professor, com a ajuda de um x-ato, escavou a camada do modelo correspondente à astenosfera. De seguida, procedeu-se à preparação de uma substância com propriedades semelhantes à astenosfera – sólido mas com plasticidade – resultante da polimerização do acetato de polivinil presente na típica cola branca em contacto com borato de sódio. Esta substância foi corada com corante alimentar e distribuída pelos grupos para a moldarem e preencherem o buraco escavado na esferovite pelo professor.

O modelo ficou completo depois de colada a esfera a uma cartolina onde se fez uma breve referência aos modelos da estrutura interna da Terra e da legenda das várias camadas e descontinuidades com bandeirinhas feitas de palitos e Post-it ® (ver imagens dos modelos no apêndice 9.7 e as planificações e apresentações no apêndice 9.8).

Biologia

No caso da Biologia, a aula começou com uma breve exposição sobre a evolução do conhecimento sobre a célula, incluindo a Teoria celular e os avanços tecnológicos do microscópio e as principais diferenças entre células procarióticas e eucarióticas, vegetais e animais.

De seguida, a turma foi dividida em grupos de 2 a 3 elementos, perfazendo 12 grupos. Esses 12 grupos aprofundaram o conhecimento sobre 6 determinados organelos da célula animal: núcleo, retículo endoplasmático, complexo de Golgi, lisossoma, mitocôndria e ribossomas. Assim, cada organelo referido é analisado por 2 grupos. Esta fase passará por uma análise de um capítulo do documento “Dentro da célula”, distribuído pelo professor (o documento pode ser consultado em <http://goo.gl/t5gfTO>).

Na 2ª aula, de 135 minutos, a turma encontrou-se desdobrada, ficando com 6 grupos, todos com organelos diferentes para analisar. Cada grupo moldou pasta de modelação numa configuração semelhante ao organelo em causa e apresentou, à turma, o seu modelo com uma breve descrição da sua função e interação com outros organelos. O professor teve na sala de aula dois sacos plásticos metidos um dentro do outro, numa analogia à membrana citoplasmática, estando o saco de dentro preenchido com espuma de poliuretano – o “citoplasma”. Antes de começarem as apresentações, uma fina camada de espuma de poliuretano foi aplicada outra vez, para os alunos mergulharem os seus modelos (ver Apêndice 9.7).

No final, foram feitas referências a outros componentes celulares não mencionados, como os cloroplastos, os centríolos, a membrana citoplasmática, o citosqueleto e a parede celular (ver planificação e apresentações no apêndice 9.8).

4.6. Tratamento estatístico

O tratamento estatístico da diferença entre o pré-teste e o pós-teste refere-se a dois grupos relacionados, com uma distribuição livre. Assim, é necessário usar um teste não-paramétrico como o teste de Wilcoxon (Wilcoxon rank Test) para verificar se há diferenças estatisticamente significativas entre as pontuações médias, para um intervalo de confiança de 95%. As hipóteses do teste de Wilcoxon são as seguintes:

H_1 : Há diferenças entre o pré-teste e o pós-teste quanto aos seguintes parâmetros:

H_{1a} : Há diferenças entre o pré-teste o pós-teste quanto aos tipos de células desenhados.

H_{1b} : Há diferenças entre o pré-teste o pós-teste quanto aos componentes celulares identificados.

H_{1c} : Há diferenças entre o pré-teste o pós-teste quanto à evidência de tridimensionalidade.

H_{1d} : Há diferenças entre o pré-teste o pós-teste quanto à classificação atribuída aos desenhos da célula.

H_{1e} : Há diferenças entre o pré-teste o pós-teste quanto à pontuação dos mapas de conceitos sobre a célula.

H_{1f} : Há diferenças entre o pré-teste o pós-teste quanto à identificação das diferentes camadas dos modelos da estrutura interna da Terra.

H_{1g} : Há diferenças entre o pré-teste o pós-teste quanto à evidência de escala nos modelos da estrutura interna da Terra.

H_{1h} : Há diferenças entre o pré-teste o pós-teste quanto à classificação atribuída aos desenhos da estrutura interna da Terra.

H_{1i} : Há diferenças entre o pré-teste o pós-teste quanto à pontuação dos mapas de conceitos sobre a estrutura interna da Terra.

De modo a comparar as duas técnicas de avaliação de mapas de conceitos pode utilizar-se também o teste de Wilcoxon com a seguinte hipótese:

H_2 : Não há diferenças entre as pontuações dos mapas de conceitos segundo a técnica de Calafate et al. (2009) e a de Novak & Gowin (1996).

A fim de relacionar estas duas técnicas usa-se o coeficiente de correlação de Spearman, indicado para distribuições livres, já que as relações encontradas são monótonas e não lineares. Para valores próximos de 1 ou -1 pode falar-se de correlações positivas ou negativas, respetivamente.

5. Resultados e Discussão

A análise estatística recaiu sobre os dados referentes aos desenhos e mapas de conceitos do pré-teste e do pós-teste, organizados nos Apêndices 9.9 e 9.10. Começou-se por analisar os dados referentes à célula (desenhos e mapas de conceitos), seguindo-se os referentes à estrutura interna da Terra. Por fim, foram comparadas as duas técnicas de pontuação de mapas de conceitos.

5.1. Biologia

Análise dos desenhos

A análise dos esquemas desenhados pelos alunos incidiu sobre o tipo de células que reconheciam, a quantidade de componentes que conseguiam identificar e a evidência de tridimensionalidade no desenho (ver exemplo no anexo 10.1).

No pré-teste verificou-se que apenas 68,5% dos alunos identificou os três principais tipos de célula: procariótica, eucariótica animal e eucariótica vegetal. Já no pós-teste, apenas 1 aluno não identificou os 3 tipos de célula (não fez distinção entre os dois tipos de célula eucariótica) resultando em 97,4% de alunos a desenhar os três tipos de célula mais referenciados (Quadro 1).

Quadro 1: Número de tipos de célula identificados no pré-teste e no pós-teste.

Tipos de célula identificados	Pré-teste		Pós-teste	
	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência absoluta	Frequência relativa
0	1	0,026	0	0,000
1	1	0,026	0	0,000
2	10	0,263	1	0,026
3	26	0,685	37	0,974
Mediana	3		3	
Média	2,605		2,974	
Desvio-padrão	0,679		0,162	

Analisando a figura 7 podemos verificar que, embora a mediana se mantenha nos 3 entre o pré-teste e o pós-teste, a amplitude inter-quartil baixa de 1 para 0, com uma coincidência da mediana com o 1º e o 3º quartil no pós-teste, uma vez que 3 era o valor máximo que se poderia obter. O teste de Wilcoxon revela um p value inferior a 0,05 (p value= 0,003). Isto permite aceitar a H_{1a} e concluir que a diferença se traduziu num aumento significativo do número de tipo de células identificadas do pré-teste para o pós-teste (Quadro 2).

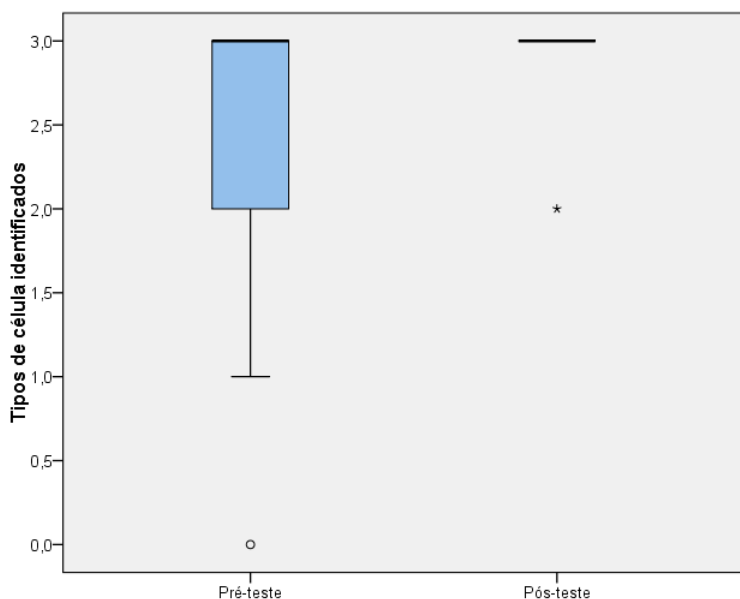


Figura 7: Gráfico do tipo caixa e bigodes dos tipos de célula identificados nos desenhos efetuados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.

Quadro 2: Resultados obtidos através do teste estatístico de Wilcoxon das diferenças entre a quantidade de tipos de célula identificados, nos desenhos elaborados pelos alunos, entre o pré-teste e o pós-teste.

Parâmetros	Pós-teste / Pré-teste
Z	-2,967
p value	0,003

A legenda dos vários constituintes da célula também sofreu um grande aumento entre testes. De uma mediana de 5,50 componentes celulares legendados no pré-teste passou-se para uma mediana de 18,50 no pós-teste (Quadro 3). A amplitude inter-quartil subiu (Figura 8) assim como a média e o desvio-padrão. De acordo com o teste de Wilcoxon, o *p value* é inferior a 0,05 (*p value*= 0,000) revelando que esse aumento de constituintes celulares legendados é estatisticamente significativo, o que leva a aceitar a H_{1b} (Quadro 4).

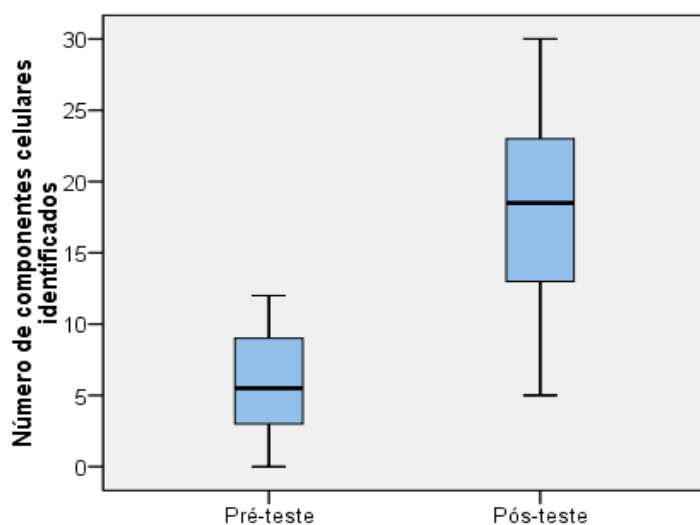


Figura 8: Gráfico do tipo caixa e bigodes da quantidade de componentes celulares identificados nos desenhos efetuados pelos alunos sobre a célula no pré-teste e no pós-teste.

Quadro 3: Estatística descritiva do total de componentes celulares identificados nos desenhos elaborados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.

Parâmetros	Pré-teste	Pós-teste
Mediana	5,500	18,500
Média	6,000	17,921
Desvio-padrão	3,464	5,816

Quadro 4: Resultados obtidos através do teste estatístico de Wilcoxon das diferenças entre a quantidade de componentes celulares identificados, nos desenhos elaborados pelos alunos, entre o pré-teste e o pós-teste.

Parâmetros	Pós-teste / Pré-teste
Z	-5,378
p value	0,000

Em relação à evidência de tridimensionalidade nos esquemas desenhados pelos alunos, verifica-se um aumento de 18,4% no pré-teste para os 31,6% no pós-teste. De modo a haver uma cotação, foi atribuído o valor de 1 a desenhos que não evidenciassem qualquer registo de tridimensionalidade e de 2 aos desenhos com alguma evidência de tridimensionalidade (Quadro 5). Analisando a figura 9 percebe-se que, embora a mediana se mantenha, a amplitude inter-quartil aumenta com o 3º quartil a ser igual a 2.

De acordo com o teste de Wilcoxon, o *p value* é superior a 0,05 (*p value*= 0,096) revelando que esse aumento na avaliação da tridimensionalidade não é estatisticamente significativo, o que leva a rejeitar a H_{1c} (Quadro 6).

O facto de ainda 68,4% dos alunos não esquematizarem células que evidenciem o seu carácter tridimensional pode dever-se a dificuldades no desenho ou apenas a uma questão de perspetiva do desenho.

Quadro 5: Registos de evidência de tridimensionalidade nos esquemas de célula desenhados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.

Tridimensionalidade	Pré-teste		Pós-teste	
	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência absoluta	Frequência relativa
Ausência = 1	31	0,816	26	0,684
Presença = 2	7	0,184	12	0,316
Mediana	1		1	
Média	1,184		1,3158	
Desvio-padrão	0,393		0,471	

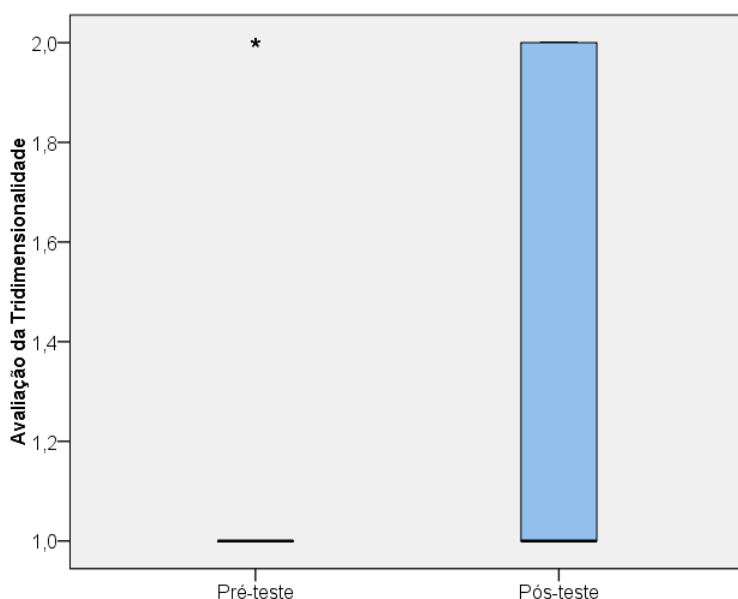


Figura 9: Gráfico do tipo caixa e bigodes da avaliação da tridimensionalidade nos desenhos efetuados pelos alunos sobre a célula no pré-teste e no pós-teste.

Quadro 6: Resultados obtidos através do teste estatístico de Wilcoxon das diferenças entre a avaliação da tridimensionalidade nos desenhos elaborados pelos alunos, entre o pré-teste e o pós-teste.

Parâmetros	Pós-teste / Pré-teste
Z	-1,667
p value	0,096

De modo a obter-se uma classificação final dos desenhos sobre a célula, com base no que seria uma pontuação total tendo em conta os parâmetros já avaliados (3 tipos de célula identificados, 35 componentes celulares legendados e evidências de tridimensionalidade), utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\frac{3}{10} \times \frac{\text{Tipos de célula identificados}}{3} + \frac{5}{10} \times \frac{\text{Componentes celulares legendados}}{35} + \frac{2}{10} \times (\text{Avaliação da tridimensionalidade} - 1)$$

Analisando o quadro 7 e a figura 10 podemos concluir que, tanto a mediana como a média subiram, assumem classificações positivas (0,629 e 0,617, respetivamente). De modo a verificar se este aumento é estatisticamente significativo procedeu-se ao teste de Wilcoxon que, com um *p value* abaixo de 0,005 (*p value* = 0,000), permite aceitar a H_{1d} (Quadro 8).

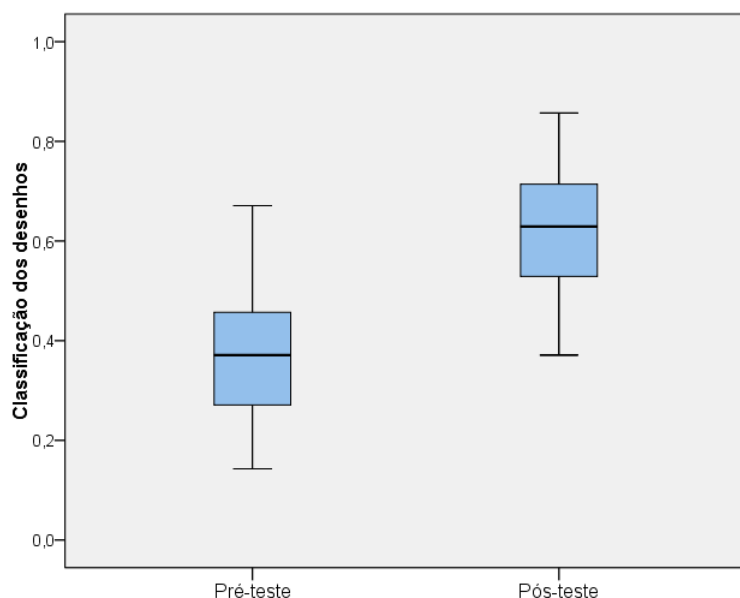


Figura 10: Gráfico do tipo caixa e bigodes da classificação final dos desenhos efetuados pelos alunos sobre a célula no pré-teste e no pós-teste.

Quadro 7: Estatística descritiva da classificação final dos desenhos elaborados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.

Parâmetros	Pré-teste	Pós-teste
Mediana	0,371	0,629
Média	0,383	0,617
Desvio-padrão	0,135	0,122

Quadro 8: Resultados obtidos através do teste estatístico de Wilcoxon das diferenças entre a classificação final dos desenhos elaborados pelos alunos, entre o pré-teste e o pós-teste.

Parâmetros	Pós-teste / Pré-teste
Z	-5,243
p value	0,000

Análise dos mapas de conceitos

Os alunos sentiram alguma dificuldade em assimilar todas as regras associadas à elaboração de mapas de conceitos. O facto de não as cumprirem, nomeadamente no uso de frases de ligação entre conceitos, levou a que fossem excluídos da análise os mapas de conceitos de 6 alunos, perfazendo uma amostra de 32 alunos (ver exemplo no anexo 10.1).

Dado que foram utilizadas duas técnicas de pontuação para os mesmos mapas de conceitos, a análise incidiu sobre ambos. Analisando a figura 11 e o quadro 9 podemos observar que, quer num quer noutro, a mediana evoluiu positivamente. Na pontuação de Novak & Gowin (1996) os valores foram sempre baixos, mesmo no pós-teste.

Os resultados do teste de Wilcoxon (Quadro 10) revelam um p value de 0,000 em ambas as técnicas de pontuação (p value < 0,05) comprovando que há diferenças estatisticamente significativas entre os resultados obtidos no pré-teste e no pós-teste. A evolução positiva das medianas observados na figura 8 é, por isso, significativa, permitindo aceitar a H_{1e} .

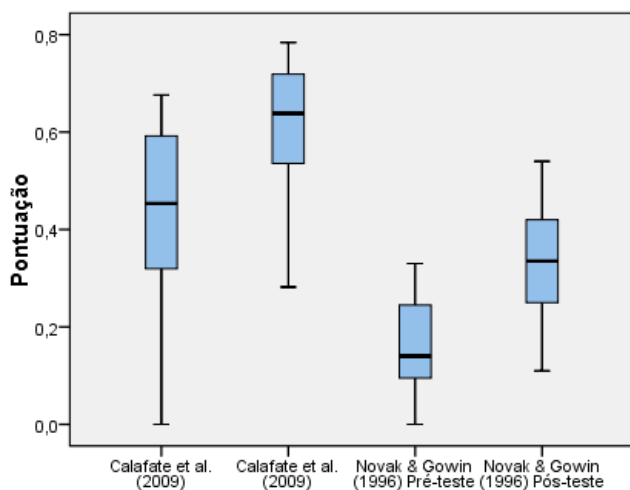


Figura 11: Gráfico de caixa e bigodes com a evolução das pontuações dos mapas de conceitos do pré-teste para o pós-teste sobre a célula, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).

Quadro 9: Estatística descritiva da pontuação dos mapas de conceitos sobre a célula, elaborados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).

Parâmetros	Calafate et al. (2009)		Novak & Gowin (1996)	
	Pré-teste	Pós-teste	Pré-teste	Pós-teste
Mediana	0,454	0,639	0,143	0,336
Média	0,451	0,617	0,168	0,322
Desvio-padrão	0,165	0,127	0,091	0,126

Quadro 10: Análise estatística do teste de Wilcoxon aos resultados da pontuação dos mapas de conceitos do pré-teste para o pós-teste sobre a célula, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).

Parâmetros	Calafate et al. (2009)	Novak & Gowin (1996)
Z	-4,338	-4,517
p value	0,000	0,000

5.2. Geologia

Análise dos desenhos

A análise dos esquemas desenhados pelos alunos incidiu sobre os modelos físico e químico da estrutura interna da Terra, nomeadamente no reconhecimento da existência de ambos, na correta legenda das várias camadas que os compõe, no desenho à escala da dimensão das várias camadas e, por fim, na atribuição de uma avaliação adaptada de Steer et al. (2005) descrita no Apêndice 9.3.

Da análise foram eliminados os registos de 10 alunos por não terem distinguido o modelo físico do modelo químico na sua legenda, resultando numa amostra de 28 alunos. A troca entre os dois modelos é comum, tendo-se observado tanto no pré-teste como no pós-teste, embora em menor escala. Uma vez que não legendaram qual o modelo de que estavam a falar, não foi possível considerar aqueles dados. Dado que o modelo químico é o mais estudado, na análise do pré-teste não foi tida em conta a identificação do modelo em causa, se a identificação das camadas estivesse correta (ver exemplo no anexo 10.1).

Ao nível do conhecimento dos vários modelos, o modelo químico foi reconhecido por todos os alunos tanto no pré-teste como no pós-teste, embora nem todos o tenham identificado como tal. O modelo físico da estrutura interna da Terra foi reconhecido por cerca de 43% dos alunos no pré-teste. Esse reconhecimento subiu para cerca de 97% no pós-teste (apenas um aluno não conseguiu identificar o modelo em causa (Quadro 11).

Quadro 11: Frequências de reconhecimento dos vários modelos da estrutura interna da Terra no pré-teste e no pós-teste.

Modelos reconhecidos	Pré-teste		Pós-teste	
	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência absoluta	Frequência relativa
Físico	12	0,429	27	0,964
Químico	28	1,000	28	1,000

Em relação ao número de camadas identificadas é notório um aumento no número de camadas identificadas nos dois modelos, embora no modelo físico isso seja mais evidente, já que a mediana passa de 0 no pré-teste para 4 no pós-teste (Figura 12 e Quadro 12).

Quadro 12: Estatística descritiva do número de camadas identificadas nos modelos físico e químico dos desenhos da estrutura interna da Terra, elaborados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.

Parâmetros	Modelo Químico		Modelo Físico	
	Pré-teste	Pós-teste	Pré-teste	Pós-teste
Mediana	4,000	4,500	0,000	4,000
Média	3,179	4,286	1,357	3,893
Desvio-padrão	1,657	0,897	1,870	1,524

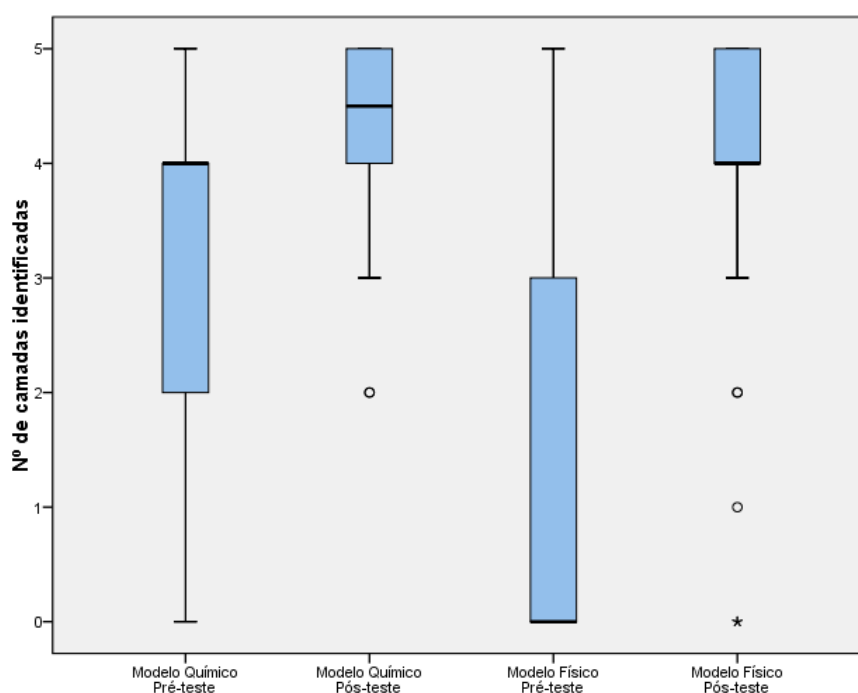


Figura 12: Gráfico de caixa e bigodes com a evolução do número de camadas identificadas dos modelos físico e químico da estrutura interna da Terra do pré-teste para o pós-teste.

O teste de Wilcoxon revela que o aumento do número de camadas identificadas, tanto no modelo físico, como no modelo químico tem significância estatística, já que o *p value* se mantém abaixo dos 0,05 nos dois casos (Quadro 13). Assim, a H_{1f} é aceite.

Quadro 13: Análise estatística do teste de Wilcoxon aos resultados da identificação das várias camadas dos modelos químico e físico da estrutura interna da Terra nos desenhos elaborados pelos alunos, do pré-teste para o pós-teste.

Parâmetros	Modelo Químico	Modelo Físico
Z	-2,991	-3,928
p value	0,003	0,000

Em relação à escala do desenho, o quadro 14 mostra-nos que há uma clara evolução do pré-teste para o pós-teste tanto no modelo químico, como no modelo físico. Os principais problemas detetados para a não inclusão na categoria de “À escala” são a profundidade da crosta, que é exagerada em muitos casos, e a dimensão do núcleo e da endosfera, que são diminuídas em comparação com os modelos que se conhecem. De modo a avaliar quantitativamente estes resultados, foi atribuída uma cotação de 0 a 3, com base na evidência de uma escala relativamente aos modelos da estrutura interna da Terra (Quadro 14 e Figura 13).

A mediana sobe em ambos os modelos, sendo maior no modelo químico com uma mediana de 2. No modelo físico, a mediana no pós-teste é menor, embora a diferença entre médias para o pré-teste tenha sido maior, já que a classificação da escala do modelo físico no pré-teste tenha sido bastante inferior à do modelo químico. A amplitude inter-quartis dos resultados dos pós-testes, é a mesma (entre 1 e 2), independentemente do modelo em causa.

Quadro 14: Registos de evidência de escala nos esquemas dos modelos da estrutura interna da Terra desenhados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.

Escala	Modelo Químico				Modelo Físico			
	Pré-teste		Pós-teste		Pré-teste		Pós-teste	
	Freq. absoluta	Freq. relativa	Freq. absoluta	Freq. relativa	Freq. absoluta	Freq. relativa	Freq. absoluta	Freq. relativa
Não responde = 0	0	0,000	0	0,000	16	0,571	1	0,036
Pouca = 1	24	0,857	11	0,393	10	0,357	16	0,571
Alguma = 2	4	0,143	14	0,500	1	0,036	8	0,286
À escala = 3	0	0,000	3	0,107	1	0,036	3	0,107
Mediana	1,000		2,000		0,000		1,000	
Média	1,143		1,714		0,536		1,464	
Desvio-padrão	0,356		0,659		0,744		0,744	

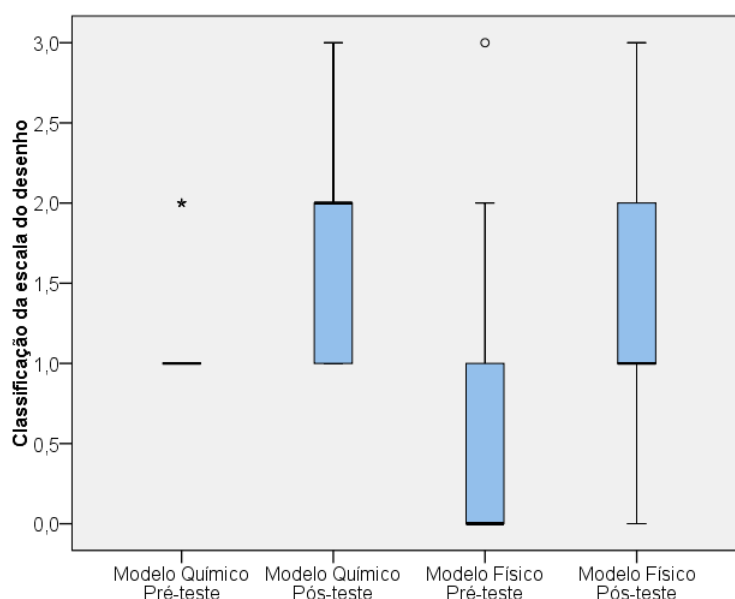


Figura 13: Gráfico de caixa e bigodes com a evolução da classificação da escala dos desenhos dos modelos físico e químico da estrutura interna da Terra do pré-teste para o pós-teste.

Os resultados do teste de Wilcoxon (Quadro 10) revelam um *p value* de 0,000 em ambos os modelos da estrutura interna da Terra (*p value* < 0,05) comprovando que há diferenças estatisticamente significativas entre os resultados obtidos no pré-teste e no pós-teste. A evolução positiva das medianas observados na figura 13 é, por isso, significativa, permitindo aceitar a H_{1g} .

Quadro 15: Análise estatística do teste de Wilcoxon aos resultados da classificação da escala dos modelos químico e físico da estrutura interna da Terra nos desenhos elaborados pelos alunos, do pré-teste para o pós-teste.

Parâmetros	Modelo Químico	Modelo Físico
Z	-3,358	-3,908
p value	0,001	0,000

Com base nestes dados analisados, foram atribuídas classificações aos desenhos tendo como referência os trabalhos de Steer et al. (2005) e descritos no Apêndice 9.3. Na figura 14 e no quadro 16 podemos observar, tal como já foi descrito para os outros parâmetros, que há uma evolução nos dois modelos e que é mais evidente no modelo físico: a mediana da classificação, no modelo químico, subiu de 3 para 4 e no modelo físico de 0 para 3.

Quadro 16: Estatística descritiva da classificação, baseada em Steer et al. (2005) dos modelos físico e químico dos desenhos da estrutura interna da Terra, elaborados pelos alunos no pré-teste e no pós-teste.

Parâmetros	Modelo Químico		Modelo Físico	
	Pré-teste	Pós-teste	Pré-teste	Pós-teste
Mediana	3,000	4,000	0,000	3,000
Média	2,857	3,607	1,107	3,250
Desvio-padrão	0,651	0,786	1,423	1,110

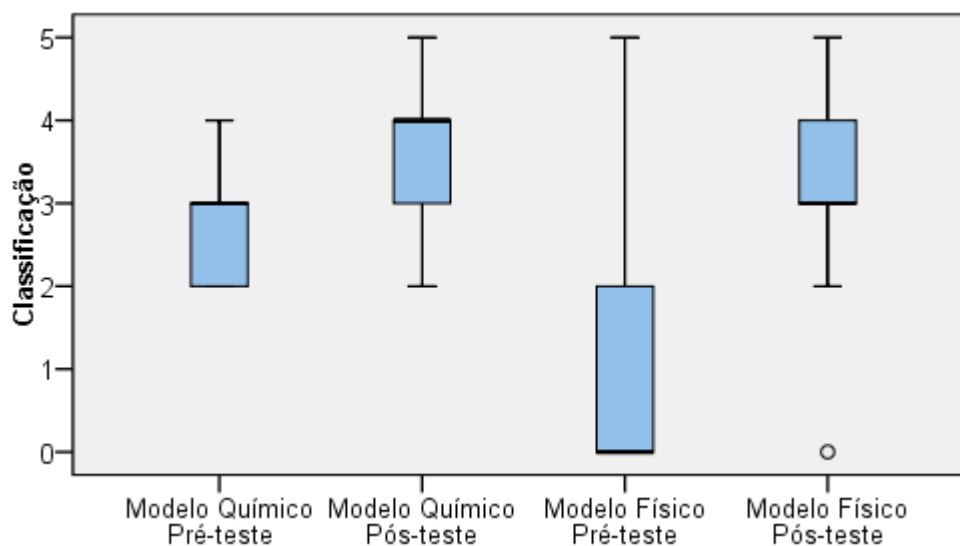


Figura 14: Gráfico de caixa e bigodes com a evolução da classificação adaptada de Steer et al. (2005) dos modelos físico e químico da estrutura interna da Terra nos desenhos elaborados pelos alunos, do pré-teste para o pós-teste.

Para avaliar se estas subidas tinham significância estatística efetuou-se o teste de Wilcoxon que revelou um *p value* inferior a 0,05 nos dois modelos, indicando que em ambos os resultados do pós-teste diferem significativamente dos resultados do pré-teste (Quadro 17). Isto permite-nos aceitar a H_{1h} .

Quadro 17: Análise estatística do teste de Wilcoxon aos resultados da classificação adaptada segundo Steer et al. (2005) dos modelos químico e físico da estrutura interna da Terra do pré-teste para o pós-teste.

Parâmetros	Modelo Químico	Modelo Físico
Z	-3,334	-4,143
p value	0,001	0,000

Avaliação dos mapas de conceitos

Tal como nos mapas de conceitos sobre a célula, alguns alunos não conseguiram cumprir as regras de elaboração dos mesmos. Assim, os resultados de 7 alunos foram eliminados da amostra, ficando esta reduzida a 31 elementos.

A análise voltou a incidir sobre as duas técnicas de pontuação de mapas de conceitos já referidas. Analisando o quadro 18 e a figura 15 podemos observar que, quer numa técnica quer noutra, a mediana e a média evoluíram positivamente.

Quadro 18: Estatística descritiva da pontuação dos mapas de conceitos elaborados pelos alunos sobre a estrutura interna da Terra, no pré-teste e no pós-teste, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).

Parâmetros	Calafate et al. (2009)		Novak & Gowin (1996)	
	Pré-teste	Pós-teste	Pré-teste	Pós-teste
Mediana	0,332	0,609	0,181	0,254
Média	0,399	0,570	0,186	0,299
Desvio-padrão	0,165	0,169	0,072	0,171

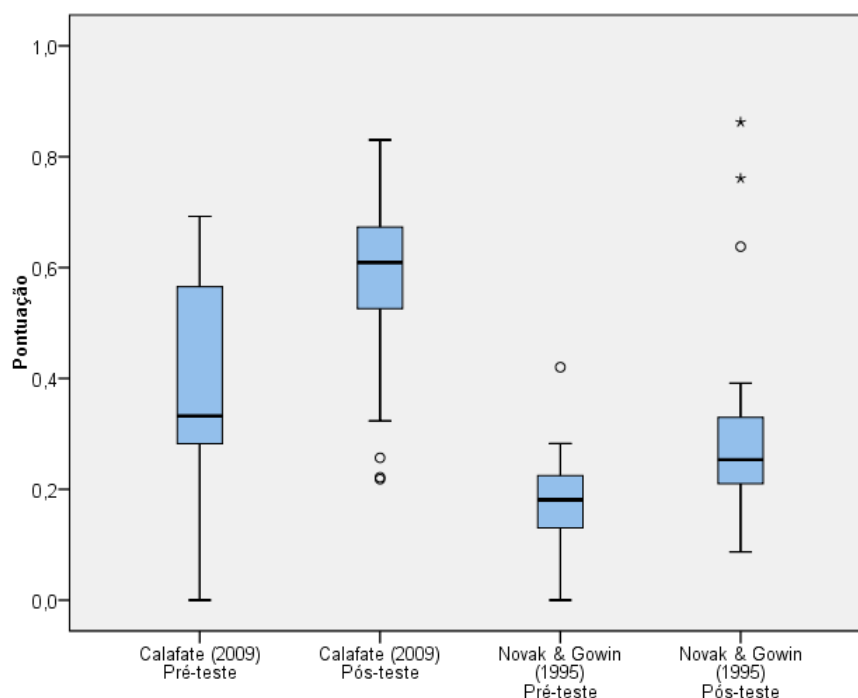


Figura 15: Gráfico de caixa e de bigodes com a evolução das pontuações dos mapas de conceitos do pré-teste para o pós-teste sobre os modelos da estrutura interna da Terra, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).

Os resultados do teste de Wilcoxon (Quadro 19) revelam um p value de 0,000 em ambas as técnicas de pontuação (p value < 0,05) que comprova que há diferenças estatisticamente significativas entre os resultados obtidos no pré-teste e no pós-teste. A evolução positiva das medianas observados na figura 15 e no quadro 18 é, por isso, significativa, permitindo aceitar a H_{1i} .

Quadro 19: Análise estatística do teste de Wilcoxon aos resultados da pontuação dos mapas de conceitos do pré-teste para o pós-teste sobre os modelos da estrutura interna da Terra, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).

Parâmetros	Calafate et al. (2009)	Novak & Gowin (1996)
Z	-3,616	-3,646
p value	0,000	0,000

5.3. Comparação entre duas técnicas de pontuação de mapas de conceitos

De modo a comparar as duas técnicas de pontuação agregaram-se os resultados da Biologia e da Geologia, assim como os resultados do pré-teste com o pós-teste resultando numa amostra de 126 mapas de conceitos. Da análise às medianas e aos quartis representados na figura 16 e às médias apresentadas no quadro 20 salta à vista que as pontuações segundo a técnica de Calafate et al. (2009) são bastante superiores à de Novak & Gowin (1996). Isto pode estar relacionado com a estrutura do mapa de conceitos de referência da célula, que levou a um excessivo peso das ligações cruzadas na pontuação final - 18 ligações cruzadas (ver Apêndices

9.5 e 9.9) – e o uso de alguns conceitos secundários que se interligavam (ligações cruzadas) com outros conceitos principais, que não foram utilizados pelos alunos, no mapa de conceitos de referência sobre a estrutura interna da Terra (ver Apêndices 9.2 e 9.9).

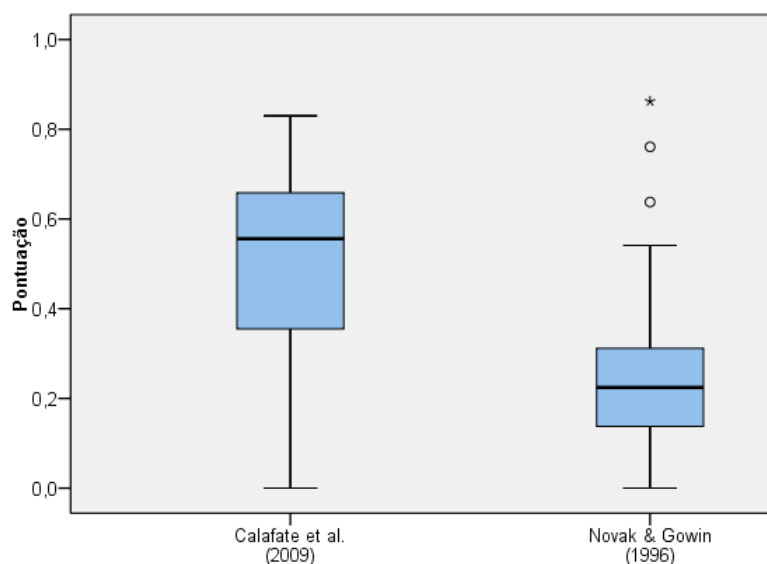


Figura 16: Comparação entre as pontuações obtidas nos mapas de conceitos segundo o técnica de Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).

Quadro 20: Estatística descritiva da pontuação dos mapas de conceitos elaborados pelos alunos, segundo Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).

Parâmetros	Calafate et al. (2009)	Novak & Gowin (1996)
Mediana	0,557	0,225
Média	0,510	0,244
Desvio-padrão	0,179	0,137

De modo a comprovar que estas diferenças são estatisticamente significativas utilizou-se o teste de Wilcoxon que revelou um p value $< 0,05$ (Quadro 21). Assim, rejeita-se a H_2 , visto que as diferenças entre as duas técnicas são significativas.

Quadro 21: Análise estatística do teste de Wilcoxon à diferença de resultados da pontuação dos mapas de conceitos entre as técnicas de Calafate et al. (2009) e Novak & Gowin (1996).

Parâmetros	Novak & Gowin (1996) / Calafate et al. (2009)
Z	-9,546
p value	0,000

Não havendo uma semelhança entre as duas técnicas procurou-se saber se havia uma relação entre ambas com base na correlação de Spearman. Com um coeficiente de correlação de 0,839 a correlação é forte para um intervalo de confiança de 99%. Isto significa que, embora haja uma grande diferença entre as pontuações obtidas pelas duas técnicas, estas estão relacionadas e ambas podem ser usadas para avaliar mapas de conceitos.

Tendo as ligações cruzadas um papel preponderante na técnica de Novak & Gowin (1996), outros fatores podem ter contribuído para as pontuações baixas dos mapas de conceitos no pós-teste, como a inexperiência dos alunos (as ligações cruzadas exigem algum treino), o tempo disponibilizado (90 minutos para o desenho e o mapa de conceitos podem não ter sido suficientes para alguns) e o espaço disponibilizado na folha (a folha tinha um formato A4).

6. Conclusões

O propósito deste estudo era verificar se “a dificuldade na construção de modelos mentais coerentes devido ao raciocínio abstrato implícito em temáticas que envolvem conceitos com dimensões microscópicas, como a célula, ou de grande escala, como a estrutura interna da Terra, por parte de alunos do 10º de escolaridade, é ultrapassada com o uso da modelação como estratégia de ensino”.

Para responder a este problema analisaram-se previamente os modelos mentais dos alunos com base em desenhos e mapas de conceitos. Estes revelaram um profundo desconhecimento do modelo físico da estrutura interna da Terra e, no caso da célula, pouco conhecimento dos vários componentes celulares, para além da membrana citoplasmática, do núcleo e do citoplasma.

Depois da intervenção com recurso à construção de modelos didáticos que visavam estabelecer uma analogia com os conceitos em causa, procurou-se perceber novamente quais os modelos mentais dos alunos, a partir de desenhos e mapas de conceitos. Através da sua análise conclui-se que:

- 1) A aprendizagem baseada na utilização de modelos levou a uma melhoria significativa dos modelos mentais dos alunos em relação à célula, quer ao nível do tipo de células que existem, como aos vários constituintes celulares. Isto foi notado, tanto nos desenhos, como nos mapas de conceitos. Assim, apenas a H_{1c} , que dizia respeito à evidência de tridimensionalidade nos desenhos, foi rejeitada.
- 2) A aprendizagem baseada na utilização de modelos levou a uma melhoria significativa dos modelos mentais dos alunos em relação à estrutura interna da Terra, permitindo não só compreender o modelo físico como distingui-lo do modelo químico. O problema da escala também foi ultrapassado pela maioria dos alunos, não se limitando a descrever camadas concêntricas. Assim, todas as alíneas de H_1 que diziam respeito à estrutura interna da Terra foram aceites.
- 3) As duas técnicas usadas para a pontuação dos mapas de conceitos diferem bastante apesar de haver um coeficiente de correlação bastante elevado entre elas. Isto fez com que a H_2 fosse rejeitada. A pontuação segundo Novak & Gowin (1996) pareceu penalizar em excesso os mapas de conceitos dos alunos quando as ligações cruzadas do mapa de conceitos de referência vinham de conceitos considerados secundários na elaboração do mesmo.
- 4) Outras competências não analisadas também foram trabalhadas pelos alunos, como o trabalho colaborativo e o desenvolvimento do raciocínio científico. O facto de estarem envolvidos na construção dos modelos foi essencial para que tal ocorresse.

Convém ressaltar que, dada a amostra ser não probabilística e o carácter pré-experimental deste estudo, não se faz qualquer tipo de generalizações.

7. Considerações finais

Este estudo trouxe consigo, logo desde o início, algumas dificuldades no que diz respeito ao tempo e à amostra disponível para o efetuar. A investigação foi desenvolvida no âmbito da Iniciação à Prática Pedagógica (IPP) que é uma unidade curricular que engloba também a Prática de Ensino Supervisionada (PES) e, por isso, o espaço temporal destinado a este estudo além de ser, por si só, diminuto, teve de ser repartido com a PES. Embora seja difícil contornar o problema da amostra num país como Portugal a questão do tempo podia ter sido rentabilizada suprimindo um dos objetivos. Provavelmente, a análise dos mapas de conceitos baseada em duas técnicas distintas foi uma opção demasiado ambiciosa. O tempo dos alunos também foi um fator limitante. Com tantos conteúdos programáticos para lecionar, a aprendizagem de um instrumento como os mapas de conceitos não pôde ser fortalecida ao máximo, levando a alguns anulamentos de mapas de conceitos da análise estatística.

Em termos pessoais, considero que a realização desta investigação me levou a uma melhor percepção sobre os diversos desafios com que os professores têm de lidar diariamente.

Em primeiro lugar, pude utilizar instrumentos ainda pouco disseminados nas salas de aula portuguesas, como o desenho e o mapa de conceitos. Assim, pude aceder de uma forma mais fidedigna aos mapas mentais de cada aluno. Noutros instrumentos mais diretos na avaliação é impossível perceber o que está por trás das respostas dos alunos. Na avaliação destes instrumentos também pude constatar a dificuldade que é avaliar e ter em conta a criatividade da mente humana.

Depois, a utilização de modelos didáticos no ensino foi uma experiência bastante profícua e para repetir. Os grupos de trabalho assimilaram bem aquilo que era suposto fazerem e, apesar do tempo ser escasso, conseguiram cumprir com os objetivos. Por vezes os modelos são conotados com as crianças esquecendo que, se o trabalho for sério, é adequado a todas as idades.

Para efeitos de investigação futura, considero que seria pertinente alastrar esta investigação a mais turmas e com mais parâmetros a serem avaliados. De modo a aceder melhor aos modelos mentais dos alunos, os mapas de conceitos têm de ser bem interiorizados por parte dos alunos antes de se proceder à investigação, podendo ser considerado o uso de uma lista de conceitos a serem usados.

8. Referências bibliográficas


- Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Walter, P. (2010). *Essential Cell Biology* (3 ed.). NY: Garland Science.
- Alberts, B., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2010). *Biologia molecular da célula*. Porto Alegre: ArtMed (5. ed., p. 1396). Porto Alegre: Artmed.
- Calafate, C. T., Cano, J.-C., & Manzoni, P. (2009). Improving the evaluation of concept maps: a step-by-step analysis. *2009 EAEEIE Annual Conference*, 1–6. doi:10.1109/EAEEIE.2009.5335503
- Christensen, N. I., & Mooney, W. D. (1995). Seismic velocity structure and composition of the continental crust: A global view. *Journal of Geophysical Research*, 100(B6), 9761. doi:10.1029/95JB00259
- Condie, K. (2003). *Plate Tectonics and crustal evolution* (4th ed., p. 294). Blackwell Publishing.
- Coutinho, C. P. (2011). *Metodologia de Investigação em Ciências Sociais e Humanas: teoria e prática* (p. 343). Coimbra: Almedina.
- Gao, S., Luo, T.-C., Zhang, B.-R., Zhang, H.-F., Han, Y., Zhao, Z.-D., & Hu, Y.-K. (1998). Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in East China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62(11), 1959–1975. doi:10.1016/S0016-7037(98)00121-5
- Garnero, E., Revenaugh, J., Williams, Q., Lay, T., & Kellogg, L. (1998). Ultralow velocity zone at the core-mantle boundary. *Geodynamics*, 28, 319–334.
- Gay, L., Mills, G., & Airasian, P. (2006). *Educational research: Competencies for analysis and applications* (8th ed.). New Jersey: Spurling.
- Gilbert, S., & Iretton, S. (2003). *Understanding Models in Earth & Space Science* (p. 124). NSTA Press.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1–11. doi:10.1080/095006900289976
- Grotzinger, J., Jordan, T., Press, F., & Siever, R. (2007). *Understanding Earth* (5 ed., p. 579). NY: W.H.Freeman and Company.
- Helfrich, G. R., & Wood, B. J. (2001). The Earth's mantle. *Nature*, 412(6846), 501–7. doi:10.1038/35087500
- Justi, R., & Gilbert, J. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369–1386. doi:10.1080/0950069032000070324

- Karp, G. (2013). *Cell and Molecular Biology: Concepts and Experiments* (7 ed., p. 832). Wiley Global Education.
- Kearey, P., Klepeis, K., & Vine, F. (2009). *Global tectonics* (3rd ed., Vol. 67, p. 496). Wiley-Blackwell.
- Khine, M., & Saleh, I. (2011). *Models and Modeling: Cognitive Tools for Scientific Enquiry*. (M. S. Khine & I. M. Saleh, Eds.) (p. 290). Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-007-0449-7
- Leite, L. (2001). Contributos para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das ciências. In *Cadernos Didáticos de Ciências - Vol. 1* (pp. 77–96). Lisboa: Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário (DES).
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H., Scott, M. (2013). *Molecular Cell Biology* (7 ed.). NY: W.H. Freeman and Company.
- McClure, J. R., Sonak, B., & Suen, H. K. (1999). Concept map assessment of classroom learning: Reliability, validity, and logistical practicality. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(4), 475–492. doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199904)36:4<475::AID-TEA5>3.0.CO;2-O
- Miller, R., & Paterson, S. (2001). Influence of lithological heterogeneity, mechanical anisotropy, and magmatism on the rheology of an arc, North Cascades, Washington. *Tectonophysics*, 342, 351–370.
- Mooney, W., Laske, G., & Masters, T. (1998). CRUST 5.1: A global crustal model at 5° × 5°. *Journal of Geophysical Research*, 103(B1), 727–747. doi:10.1029/97JB02122
- Moreira, M. (1996). Mental models. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(3), 193–232.
- Moreira, M. (2010). *Mapas conceituais e Aprendizagem significativa* (p. 80). São Paulo: Centauro.
- Nersessian, N. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in Science. In *Cognitive Models of Science Vol. XV* (pp. 3–44). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2006). The origins of the concept mapping tool and the continuing evolution of the tool. *Information Visualization*, 5(3), 175–184. doi:10.1057/palgrave.ivs.9500126
- Novak, J., & Gowin, D. (1996). *Aprender a aprender. tochtli.fisica.uson.mx* (p. 212). Plátano - Edições Técnicas.
- Oldroyd, D. (1996). *Thinking about the earth: a history of ideas in geology*. Harvard: Harvard University Press.

- Ornek, F. (2008). Models in science education: Applications of models in learning and teaching science. ... *Journal of Environmental & Science Education*, 3(2), 35–45.
- Pace, N. R. (2006). Time for a change. *Nature*, 441(7091), 289. doi:10.1038/441289a
- Palmero, M., Acosta, J., & Moreira, M. (2001). Johnson-Laird's mental models theory and its principles: an application with cell mental models of high school students. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(3), 243–268.
- Palmero, M., & Moreira, M. (1999). Mental models of cell structure and functioning: two case studies. *Investigações em Ensino de Ciências*, 4(2), 121–160.
- Palmero, M., & Moreira, M. (2002). Mental models vs cell schemes. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(1), 77–103.
- Ruiz-Primo, M., & Shavelson, R. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), 569–600.
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S., & Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92(3), 424–446. doi:10.1002/sce.20268
- Sequeira, M., & Freitas, M. (1989). Os “mapas de conceitos” e o ensino-aprendizagem das ciências. *Revista Portuguesa de Educação*, 2(3), 107–116.
- Steer, D., Knight, C., Owens, K., & McConnell, D. (2005). Challenging students ideas about earth structure using a model-based, conceptual change approach in a large class setting. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 415–422.
- Stoddart, T., Abrams, R., Gasper, E., & Canaday, D. (2000). Concept maps as assessment in science inquiry learning - a report of methodology. *International Journal of Science Education*, 22(12), 1221–1246. doi:10.1080/095006900750036235
- Thybo, H., Ross, A. ., & Egorkin, A. . (2003). Explosion seismic reflections from the Earth's core. *Earth and Planetary Science Letters*, 216(4), 693–702. doi:10.1016/S0012-821X(03)00532-6
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141–1153. doi:10.1080/095006999290110
- Wedepohl, K. H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(7), 1217–1232.

9. Apêndices

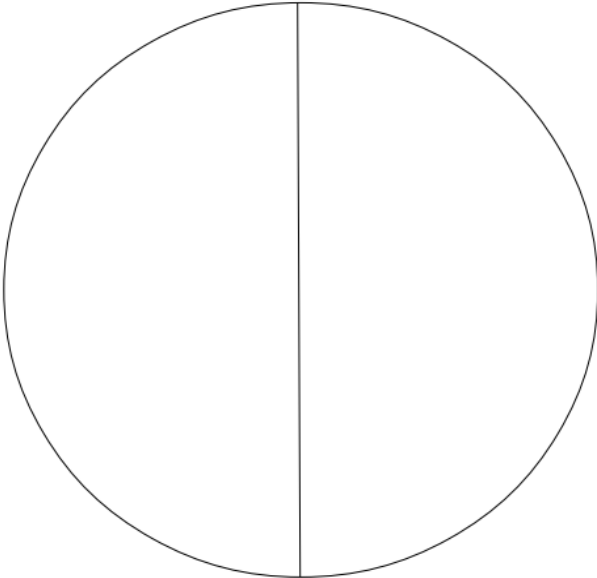
9.1. Teste sobre a estrutura interna da Terra (folhas recortadas)



Biologia e Geologia **Agrupamento de Escolas Clara de Resende**
Curso de Ciências e Tecnologias 10.º ano de escolaridade

Nome: _____ N.º _____ Turma _____

1. Observe a seguinte figura.
1.1. Complete o esquema, à escala, de uma secção transversal do interior da Terra, separando os modelos que conhece.
1.2. Legende as várias camadas, indicando o seu estado físico, se o modelo o justificar.



2. Elabore um mapa de conceitos sobre a estrutura interna da Terra, com base nas propriedades físicas e químicas. Utilize os seguintes conceitos e outros que considere necessários:

Estrutura interna da Terra, descontinuidades sísmicas, modelo químico, astenosfera, crosta, modelo físico, mesosfera, litosfera, núcleo, manto.

9.2. Avaliação do mapa de conceitos sobre a estrutura interna da Terra

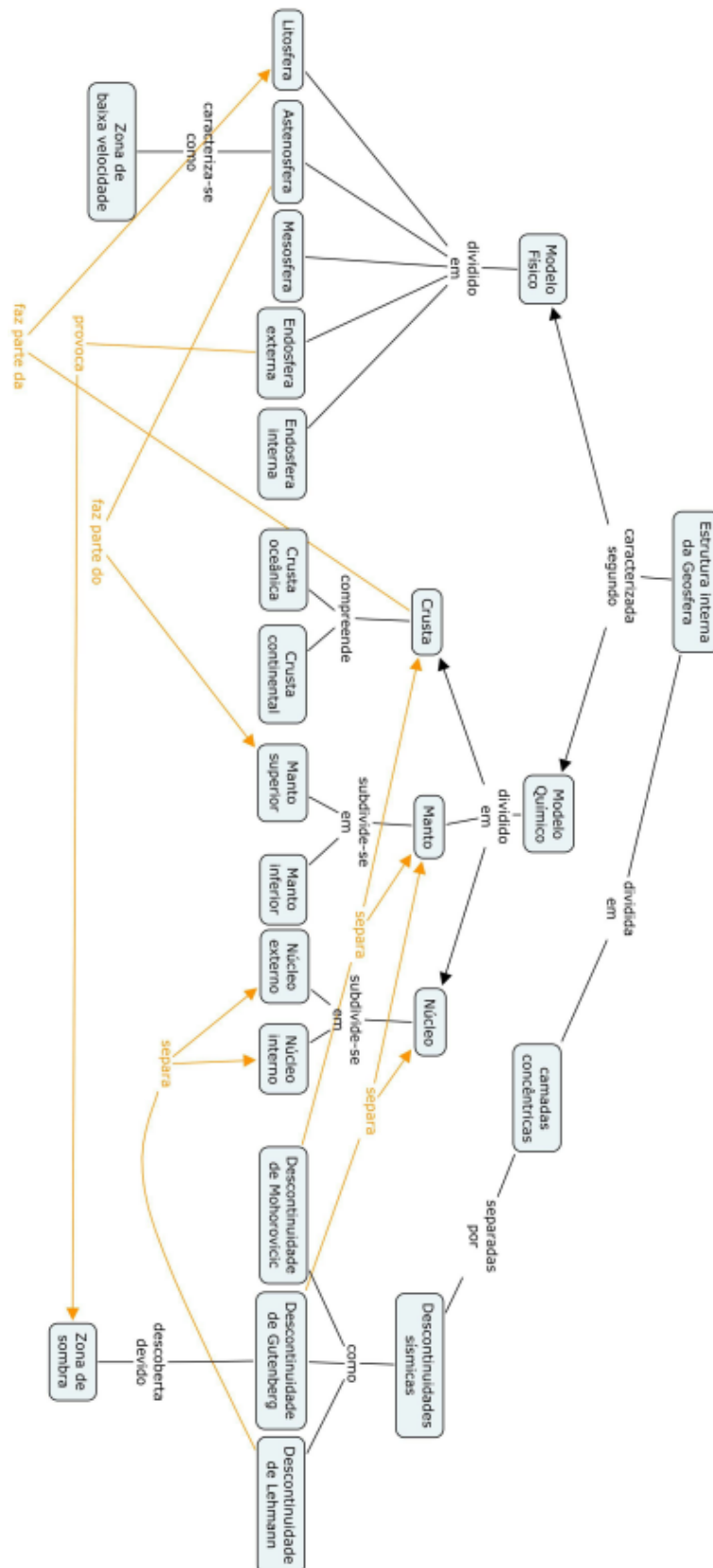


Figura 17: Mapa de conceitos de referência para a estrutura interna da Terra.

9.3. Avaliação do desenho sobre a estrutura interna da Terra

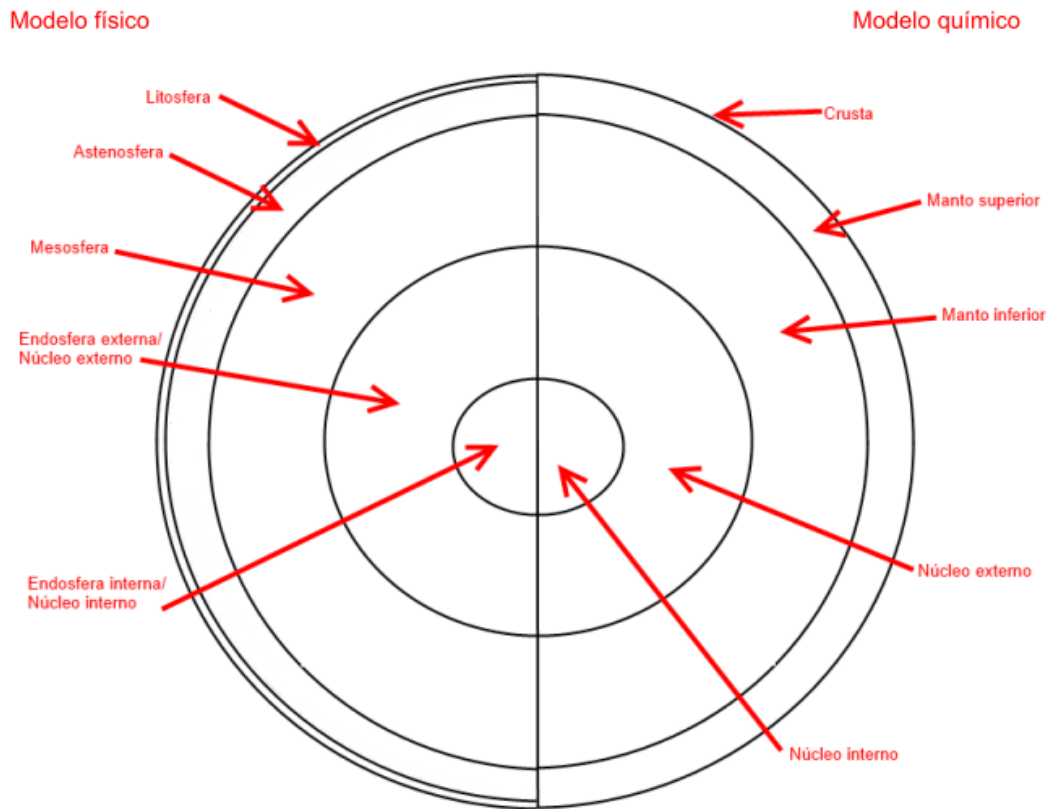


Figura 18: Esquema de referência para os modelos físico e químico da estrutura interna da Terra.

	Modelo físico	Modelo químico
Conceção alternativa ou não sabe	0	0
Visão ingénua	1	1
Múltiplas camadas concêntricas	2	2
Múltiplas camadas concêntricas legendadas	3	3
Múltiplas camadas concêntricas com alguma escala	4	4
Múltiplas camadas concêntricas à escala	5	5

Figura 19: Avaliação dos desenhos dos modelos da estrutura interna da Terra adaptado de Steel et al. (2005).

9.4. Teste sobre a célula (folhas recortadas)

Biologia e Geologia **Agrupamento de Escolas Clara de Resende**
 Curso de Ciências e Tecnologias 10.º ano de escolaridade

Nome: _____ N.º _____ Turma _____

1. Desenhe os vários tipos de célula que conhece, legendando-as de seguida.

2. Construa um mapa de conceitos que responda à seguinte pergunta:
 Como é constituída uma célula?

Como é constituída uma célula?

9.5. Avaliação do mapa de conceitos sobre a constituição de uma célula

Como é constituída uma célula?

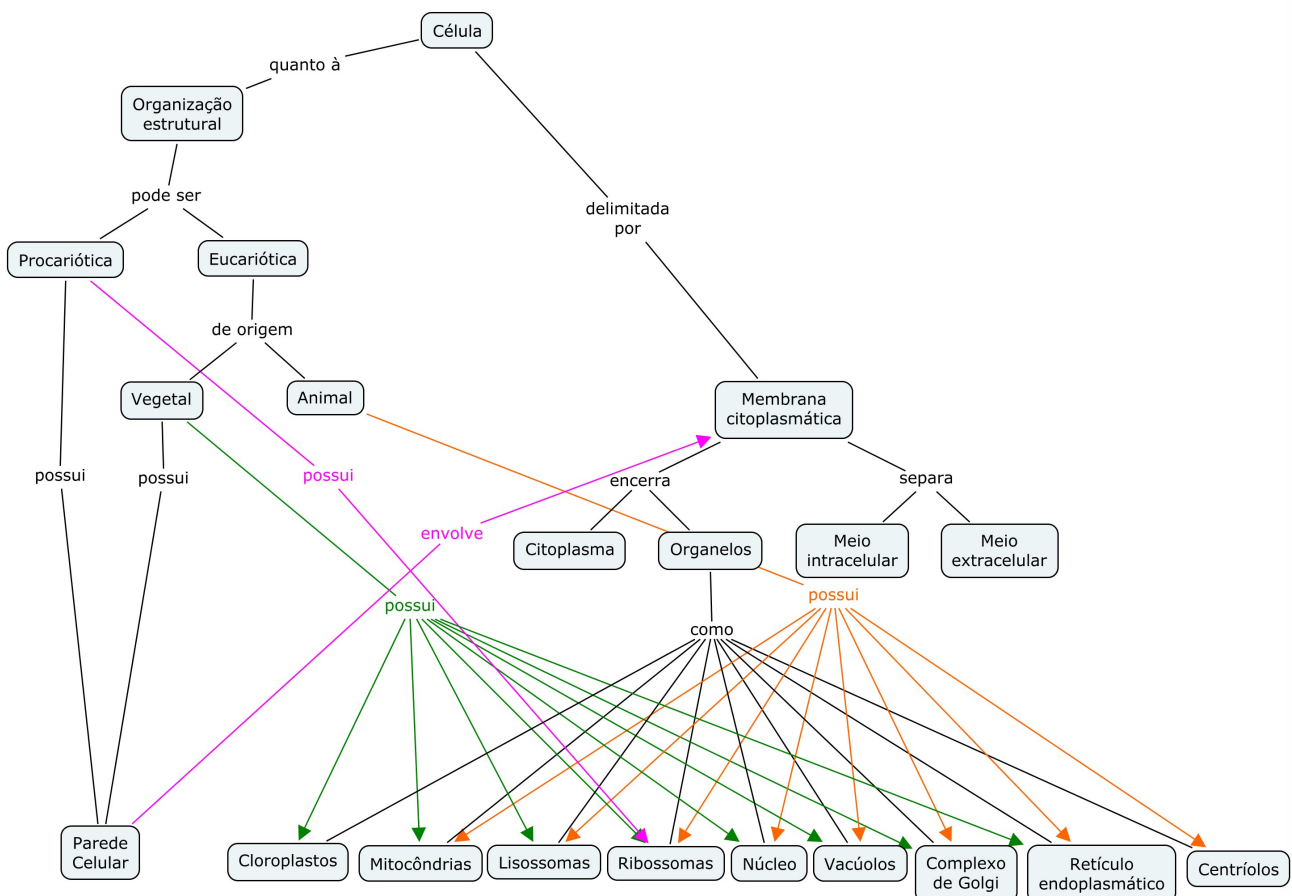


Figura 20: Mapa de conceitos de referência em resposta à pergunta: "Como é constituída uma célula?".

9.6. Avaliação do desenho sobre a célula

São avaliados 3 fatores: o tipo de células representado (procariótica, eucariótica animal e eucariótica vegetal), a quantidade de componentes celulares legendados e a sugestão de tridimensionalidade no desenho.

Célula procariótica: cápsula, parede celular, membrana citoplasmática, citoplasma, nucleóide, ribossoma, flagelo e pili.

Célula eucariótica vegetal: cloroplasto, parede celular, membrana citoplasmática, citoplasma, núcleo, nucleólo, retículo endoplasmático liso e rugoso, vacúolo, ribossoma, mitocôndria, complexo de Golgi, citosqueleto.

Célula eucariótica animal: centríolo, flagelo, membrana citoplasmática, citoplasma, núcleo, nucleólo, retículo endoplasmático liso e rugoso, vacúolo, lisossoma, ribossoma, mitocôndria, complexo de Golgi, citosqueleto.

9.7. Modelos didáticos

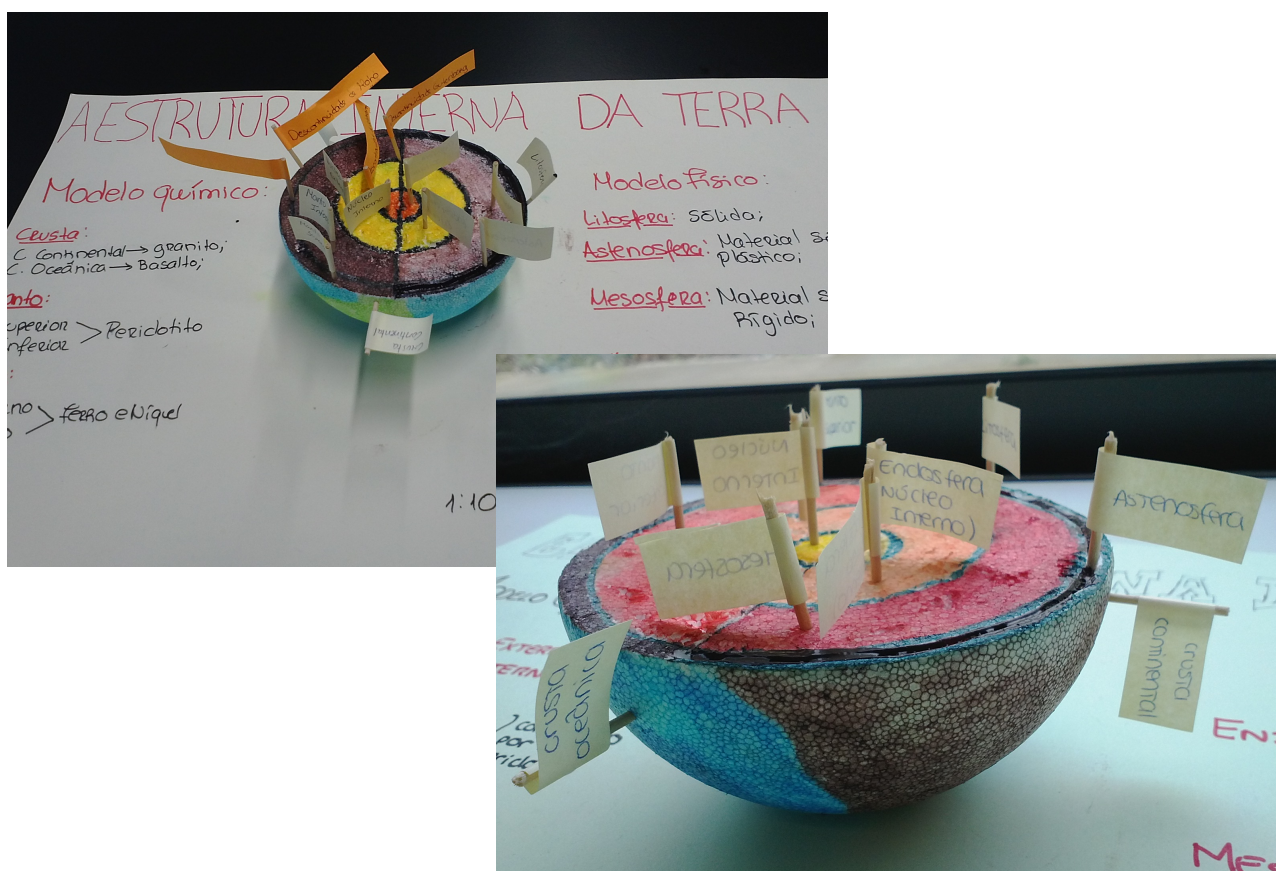


Figura 21: Modelo didático da estrutura interna da Terra. Fazem parte deste modelo, o modelo físico e o modelo químico. As bandeiras legendam as camadas de ambos os modelos, assim como as discontinuidades que as separam.



Figura 22: Modelo didático de uma célula eucariótica animal onde se podem ver ribossomas (preto), mitocôndrias (castanho), o retículo endoplasmático (verde), o núcleo (amarelo), o complexo de Golgi (azul), citoplasma (espuma de poliuretano e a membrana citoplasmática (invólucro a verde).

9.8. Planificações e apresentações

As planificações e apresentações da intervenção nas temáticas da “Estrutura interna da Terra” e d’“A célula” podem ser consultada em: <http://goo.gl/SZRH3q>

9.9. Quadros das pontuações dos mapas de conceitos

Uma vez que os alunos não tinham muito treino na construção de mapas de conceitos o fator de qualidade (Q) não foi considerado, sendo atribuído um peso igual às componentes de definição de conceitos e de definição de relações (50%).

Os conceitos considerados essenciais para os mapas de conceitos sobre a estrutura interna da Terra são: Estrutura interna da Terra, modelo físico, modelo químico, litosfera, astenosfera, mesosfera, endosfera, crosta, manto, núcleo e descontinuidades sísmicas.

A pontuação de entrosamento (MS) obtida para estes mapa de conceitos foi de: 0,7 para um grau de entrosamento igual ou abaixo de 1,1; 1 para um grau de entrosamento acima de 1,2 e de 0,85 para os restantes graus de entrosamento, com base na pontuação do mapa de referência. O valor máximo de conceitos (M_1) foi calculado de maneira a que o mapa de referência obtivesse pontuação máxima (número de conceitos secundários igual a 1,274 vezes o número de conceitos essenciais).

Quadro 22: Quadro das pontuações dos mapas de conceitos sobre a estrutura interna da Terra, onde estão também representados os conceitos essenciais (Ne), os conceitos secundários (Ns), as relações (r), a precisão das relações (RA), as proposições (P), os níveis hierárquicos (NH) e as ligações cruzadas (LCs).

Geologia Código	Pré-teste									Pós-teste								
	Calafate et al. (2009)					Novak & Gowin (1996)				Calafate et al. (2009)				Novak & Gowin (1996)				
	Ne	Ns	r	RA	Pontuação	P	NH	LCs	Pontuação	Ne	Ns	r	RA	Pontuação	P	NH	LCs	Pontuação
Referência	11	14	32	1	1,000	23	5	9	1,000	11	14	32	1	1,000	23	5	9	1,000
111	4	0	3	0,7	0,323	3	3	0	0,130									
211	4	0	3	0,7	0,323	3	3	0	0,130	10	10	21	0,8	0,763	21	5	0	0,333
311	9	7	17	0,8	0,692	13	5	2	0,420	11	7	19	0,8	0,789	19	5	0	0,319
411	9	3	11	0,8	0,596	11	4	0	0,225	10	6	15	0,7	0,637	15	4	0	0,254
511	4	0	3	0,6	0,288	3	3	0	0,130	11	4	14	0,7	0,666	14	3	0	0,210
611	0	0	0	0	0,000	0	0	0	0,000	11	1	11	0,4	0,526	11	3	0	0,188
711	4	0	3	0,5	0,253	3	3	0	0,130	9	4	12	0,7	0,571	12	4	0	0,232
811	9	2	10	0,8	0,585	10	3	0	0,181	8	7	14	0,7	0,551	14	3	0	0,210
911	3	0	2	0,3	0,152	2	2	0	0,087									
1011	4	0	3	0,7	0,323	3	3	0	0,130	4	0	3	0,4	0,218	3	3	0	0,130
1111	7	0	6	0,4	0,332	6	2	0	0,116	6	0	5	0,3	0,257	5	3	0	0,145
1211	10	1	10	0,4	0,479	10	4	0	0,217	11	4	14	0,4	0,561	14	4	0	0,246
1311	4	4	7	0,7	0,362	7	5	0	0,232	11	14	26	0,5	0,675	20	5	6	0,761
1411	9	0	9	0,4	0,449	9	3	0	0,174	11	5	15	0,5	0,606	15	4	0	0,254
1511	3	0	2	0,3	0,152	2	2	0	0,087									
1611	4	0	3	0,5	0,253	3	3	0	0,130									
1711	10	2	11	0,5	0,526	11	4	0	0,225	7	4	10	0,4	0,377	10	3	0	0,181
1811	10	0	10	0,6	0,580	10	3	0	0,181	11	1	12	0,4	0,526	12	4	0	0,232
1911	9	2	11	0,6	0,560	11	4	0	0,225	11	11	21	0,7	0,725	21	4	0	0,297
121	6	2	7	0,4	0,316	7	3	0	0,159	8	10	27	0,6	0,627	19	4	8	0,862
221	4	2	5	0,8	0,381	5	3	0	0,145	4	2	5	0,7	0,346	5	4	0	0,181
321	10	5	14	0,6	0,592	14	5	0	0,283	11	14	25	0,7	0,745	25	5	0	0,362
421	4	6	9	0,5	0,305	9	4	0	0,210	8	16	29	0,5	0,609	29	5	0	0,391
521	5	0	4	0,4	0,254	4	3	0	0,138	10	9	20	0,6	0,671	20	5	0	0,326
621	3	3	6	0,4	0,246	6	5	0	0,225	3	0	2	0,5	0,222	2	2	0	0,087
721	4	0	3	0,4	0,218	3	3	0	0,130	11	7	27	0,5	0,699	23	5	4	0,638
821	10	0	9	0,4	0,465	9	3	0	0,174	10	6	15	0,6	0,602	15	4	0	0,254
921	4	2	5	0,5	0,276	5	4	0	0,181	11	12	22	0,7	0,732	22	4	0	0,304
1021																		
1121	10	7	16	0,8	0,680	16	4	0	0,261	11	11	26	0,7	0,830	26	5	0	0,370
1221																		
1321	9	4	13	0,7	0,571	13	4	0	0,239	9	5	14	0,8	0,615	14	4	0	0,246
1421	4	0	3	0,6	0,288	3	3	0	0,130	4	0	3	0,7	0,323	3	3	0	0,130
1521	10	6	15	0,6	0,602	15	4	0	0,254	4	3	6	0,7	0,355	6	5	0	0,225
1621																		
1721	4	0	3	0,5	0,253	3	3	0	0,130	10	7	20	0,5	0,650	20	5	0	0,326
1821	5	2	6	0,5	0,312	6	4	0	0,188	10	9	22	0,5	0,666	22	5	0	0,341
1921	4	4	7	0,4	0,257	7	4	0	0,196	9	4	12	0,6	0,536	12	4	0	0,232

Os conceitos considerados essenciais para os mapas de conceitos sobre a célula são: célula, procariótica, eucariótica, eucariótica animal, eucariótica vegetal, membrana citoplasmática, núcleo, citoplasma, parede celular e cloroplasto.

A pontuação de entrosamento (MS) obtida para estes mapa de conceitos foi de; 0,7 para um grau de entrosamento igual ou abaixo de 1,4; 1 para um grau de entrosamento acima de 1,6 e de 0,85 para os restantes graus de entrosamento, com base na pontuação do mapa de referência. O valor máximo de conceitos (M_1) foi calculado de maneira a que o mapa de referência obtivesse pontuação máxima (número de conceitos secundários igual a 1,1 vezes o número de conceitos essenciais).

Quadro 23: Quadro das pontuações dos mapas de conceitos sobre a célula, onde estão também representados os conceitos essenciais (Ne), os conceitos secundários (Ns), as relações (r), a precisão das relações (RA), as proposições (P), os níveis hierárquicos (NH) e as ligações cruzadas (LCs).

Biologia	Pré-teste									Pós-teste								
	Calafate et al. (2009)					Novak & Gowin (1996)				Calafate et al. (2009)					Novak & Gowin (1996)			
Código	Ne	Ns	r	RA	Pontuação	P	NH	LCs	Pontuação	Ne	Ns	r	RA	Pontuação	P	NH	LCs	Pontuação
Referência	10	11	39	1	1,000	21	6	18	1,000	10	11	39	1	1,000	21	6	18	1,000
111																		
211	9	3	16	0,5	0,580	14	4	2	0,234	9	13	23	0,6	0,667	21	5	2	0,286
311	10	1	16	0,6	0,649	12	5	4	0,333	9	11	23	0,6	0,653	22	5	1	0,247
411	8	1	11	0,6	0,499	9	4	2	0,212	6	2	7	0,5	0,380	7	4	0	0,117
511	9	3	16	0,5	0,580	12	4	4	0,312	9	9	28	0,7	0,777	21	5	7	0,502
611	7	0	8	0,5	0,399	8	4	0	0,121	9	5	20	0,5	0,603	20	4	0	0,173
711	3	2	4	0,4	0,219	4	3	0	0,082	8	8	18	0,4	0,504	16	5	2	0,264
811	10	3	17	0,6	0,676	15	4	2	0,238	10	8	29	0,5	0,725	22	4	7	0,485
911	6	0	5	0,4	0,317	5	2	0	0,065	9	10	26	0,6	0,690	22	5	4	0,377
1011	7	0	9	0,5	0,436	7	4	2	0,203	10	9	33	0,6	0,784	25	4	8	0,541
1111	8	1	8	0,5	0,464	8	4	0	0,121	8	6	22	0,5	0,597	16	4	6	0,416
1211	11	2	11	0,5	0,638	10	4	1	0,173	10	10	27	0,6	0,747	21	5	6	0,459
1311	11	1	15	0,6	0,659	11	4	4	0,307	10	9	28	0,7	0,781	22	4	6	0,442
1411	11	1	13	0,6	0,659	13	4	0	0,143	9	9	22	0,5	0,602	20	4	2	0,260
1511																		
1611	11	1	15	0,6	0,659	11	4	4	0,307	9	2	15	0,5	0,567	10	4	5	0,346
1711	6	1	6	0,6	0,402	6	3	0	0,091	10	10	27	0,5	0,704	22	6	5	0,442
1811	4	1	4	0,5	0,281	4	2	0	0,061									
1911	10	2	13	0,6	0,618	10	4	3	0,260	10	9	21	0,5	0,659	15	4	6	0,411
121																		
221	7	2	9	0,5	0,428	8	3	1	0,143	10	11	30	0,5	0,713	23	4	7	0,489
321	8	3	13	0,5	0,490	13	4	0	0,143	10	15	32	0,6	0,739	30	5	2	0,325
421	10	1	12	0,6	0,604	10	3	2	0,195	10	13	27	0,6	0,725	22	5	5	0,420
521	8	0	11	0,4	0,443	8	4	3	0,251	8	3	16	0,4	0,485	11	4	5	0,351
621																		
721	8	2	12	0,6	0,513	12	4	0	0,139	9	6	22	0,5	0,613	19	5	3	0,320
821	3	0	2	0,6	0,264	2	2	0	0,052	8	2	9	0,4	0,443	9	4	0	0,126
921	5	0	4	0,4	0,272	4	3	0	0,082	10	9	24	0,4	0,624	22	4	2	0,268
1021	4	0	3	0,4	0,231	3	2	0	0,056	10	6	21	0,6	0,710	16	4	5	0,372
1121	9	1	14	0,4	0,510	10	4	4	0,303	10	10	28	0,6	0,747	23	5	5	0,424
1221																		
1321	5	1	6	0,5	0,322	5	3	1	0,130	9	3	17	0,5	0,580	12	4	5	0,355
1421	6	0	6	0,4	0,317	6	4	0	0,113	8	1	11	0,5	0,464	11	4	0	0,134
1521	7	0	7	0,5	0,399	7	4	0	0,117	8	4	14	0,5	0,501	13	4	1	0,186
1621	7	0	7	0,5	0,399	7	3	0	0,095	8	1	8	0,4	0,429	8	4	0	0,121
1721	5	0	4	0,3	0,237	4	3	0	0,082	6	0	5	0,3	0,282	5	4	0	0,108
1821	8	2	15	0,5	0,553	12	4	3	0,268	9	6	19	0,5	0,575	17	4	2	0,247
1921	0	0	0	0	0,000	0	0	0	0,000	10	7	21	0,6	0,675	19	6	2	0,299

9.10. Quadros das pontuações dos desenhos

Quadro 24: Quadro das pontuações dos desenhos sobre a estrutura interna da Terra. Em relação à escala a legenda é a seguinte: Não Responde (NR), Pouca escala (P), Alguma escala (A), À escala (E).

Geologia Código	Modelo Químico								Modelo Físico							
	Existência		Legenda		Escala		Nota		Existência		Legenda		Escala		Nota	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
111	SIM	SIM	5	4	P	A	3	4	NÃO	SIM	0	4	NR	P	0	4
211	SIM	SIM	5	5	P	A	3	4	NÃO	SIM	0	5	NR	A	0	4
311																
411																
511	SIM	SIM	5	5	A	A	4	4	NÃO	SIM	0	5	NR	A	0	4
611	SIM	SIM	4	4	A	A	4	4	NÃO	SIM	0	4	NR	P	0	3
711	SIM	SIM	4	5	P	P	3	3	NÃO	SIM	0	5	NR	P	0	3
811	SIM	SIM	3	5	P	A	3	4	SIM	SIM	5	5	P	A	3	4
911	SIM	SIM	4	5	P	P	3	3	NÃO	SIM	0	4	NR	P	0	3
1011																
1111	SIM	SIM	4	5	P	A	3	4	NÃO	SIM	0	4	NR	P	0	3
1211	SIM	SIM	4	4	A	A	4	4	SIM	SIM	5	5	E	E	5	5
1311																
1411	SIM	SIM	3	4	P	P	3	3	NÃO	SIM	0	4	NR	A	0	4
1511	SIM	SIM	3	5	P	A	3	4	NÃO	SIM	0	5	NR	A	0	4
1611	SIM	SIM	0	3	P	P	2	3	SIM	SIM	2	4	P	P	2	3
1711																
1811	SIM	SIM	4	3	P	P	3	3	NÃO	SIM	0	4	NR	P	0	3
1911																
121	SIM	SIM	1	5	P	P	2	3	SIM	SIM	3	5	P	P	2	3
221																
321	SIM	SIM	5	5	P	P	3	3	SIM	SIM	3	5	P	P	3	3
421	SIM	SIM	1	4	P	E	2	5	SIM	SIM	2	5	P	A	2	4
521																
621	SIM	SIM	4	5	P	A	3	4	NÃO	SIM	0	1	NR	P	0	2
721																
821	SIM	SIM	0	5	P	E	2	5	SIM	SIM	0	4	P	E	2	5
921	SIM	SIM	0	4	P	A	2	4	SIM	SIM	2	5	P	A	2	4
1021	SIM	SIM	2	2	P	A	2	2	NÃO	SIM	0	2	NR	P	0	2
1121	SIM	SIM	5	5	A	A	4	4	SIM	SIM	4	5	P	E	3	5
1221	SIM	SIM	5	4	P	P	3	3	NÃO	SIM	0	4	NR	P	0	3
1321	SIM	SIM	4	4	P	E	3	5	SIM	SIM	5	3	A	P	2	2
1421																
1521	SIM	SIM	4	5	P	P	3	3	SIM	SIM	4	5	P	P	3	3
1621	SIM	SIM	1	5	P	A	2	4	NÃO	NÃO	0	0	NR	NR	0	0
1721	SIM	SIM	3	2	P	P	3	2	SIM	SIM	3	0	P	P	2	2
1821	SIM	SIM	2	4	P	P	2	3	NÃO	SIM	0	5	NR	A	0	4
1921	SIM	SIM	4	4	P	A	3	4	NÃO	SIM	0	2	NR	P	0	2

Quadro 25: Quadro das pontuações dos desenhos sobre a célula.

Biologia Código	Tipos de célula		Legenda		Tridimensionalidade		Classificação	
	Pré-teste	Pós-teste	Pré-teste	Pós-teste	Pré-teste	Pós-teste	Pré-teste	Pós-teste
111	3	3	9	13	SIM	SIM	0,629	0,686
211	3	3	8	20	NÃO	NÃO	0,414	0,586
311	3	3	10	22	SIM	SIM	0,643	0,814
411	3	2	5	12	NÃO	NÃO	0,371	0,371
511	3	3	12	23	NÃO	NÃO	0,471	0,629
611	1	3	3	15	NÃO	NÃO	0,143	0,514
711	2	3	1	9	NÃO	SIM	0,214	0,629
811	3	3	12	29	SIM	NÃO	0,671	0,714
911	2	3	4	18	NÃO	NÃO	0,257	0,557
1011	3	3	5	23	NÃO	NÃO	0,371	0,629
1111	3	3	7	16	SIM	NÃO	0,600	0,529
1211	3	3	9	20	NÃO	NÃO	0,429	0,586
1311	2	3	11	26	NÃO	NÃO	0,357	0,671
1411	3	3	11	24	NÃO	NÃO	0,457	0,643
1511	2	3	2	13	NÃO	NÃO	0,229	0,486
1611	3	3	9	16	NÃO	NÃO	0,429	0,529
1711	2	3	2	21	NÃO	NÃO	0,229	0,600
1811	3	3	6	19	NÃO	NÃO	0,386	0,571
1911	3	3	8	23	NÃO	NÃO	0,414	0,629
121	2	3	0	10	NÃO	SIM	0,200	0,643
221	2	3	6	30	NÃO	NÃO	0,286	0,729
321	3	3	3	20	NÃO	NÃO	0,343	0,586
421	3	3	6	21	NÃO	SIM	0,386	0,800
521	3	3	9	23	SIM	SIM	0,629	0,829
621	2	3	4	15	NÃO	SIM	0,257	0,714
721	3	3	5	17	NÃO	NÃO	0,371	0,543
821	0	3	1	25	SIM	SIM	0,214	0,857
921	3	3	8	21	NÃO	NÃO	0,414	0,600
1021	3	3	5	19	NÃO	SIM	0,371	0,771
1121	3	3	11	24	NÃO	NÃO	0,457	0,643
1221	2	3	2	9	NÃO	NÃO	0,229	0,429
1321	2	3	5	16	NÃO	NÃO	0,271	0,529
1421	3	3	2	5	NÃO	NÃO	0,329	0,371
1521	3	3	5	12	NÃO	SIM	0,371	0,671
1621	3	3	2	9	NÃO	NÃO	0,329	0,429
1721	3	3	6	15	SIM	SIM	0,586	0,714
1821	3	3	11	17	NÃO	SIM	0,457	0,743
1921	3	3	3	11	NÃO	NÃO	0,343	0,457

10. Anexos

10.1. Alguns exemplos de desenhos e mapas de conceitos

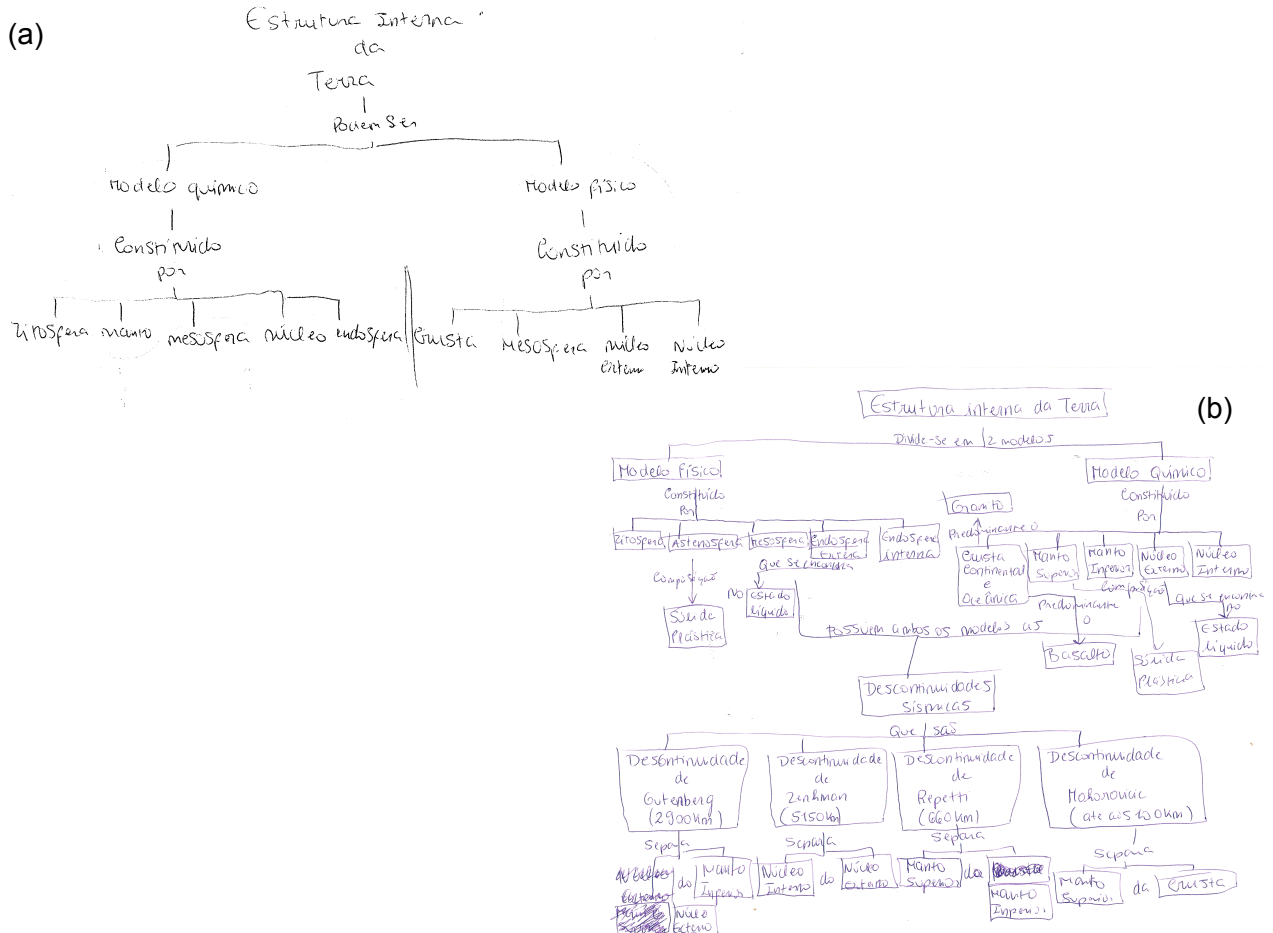


Figura 23: Mapa de conceitos sobre a estrutura interna da Terra: (a) pré-teste e (b) pós-teste. De notar o esquecimento em encaixilhar os conceitos no pré-teste e nas "ligações cruzadas" com duplicação de conceitos no pós-teste.

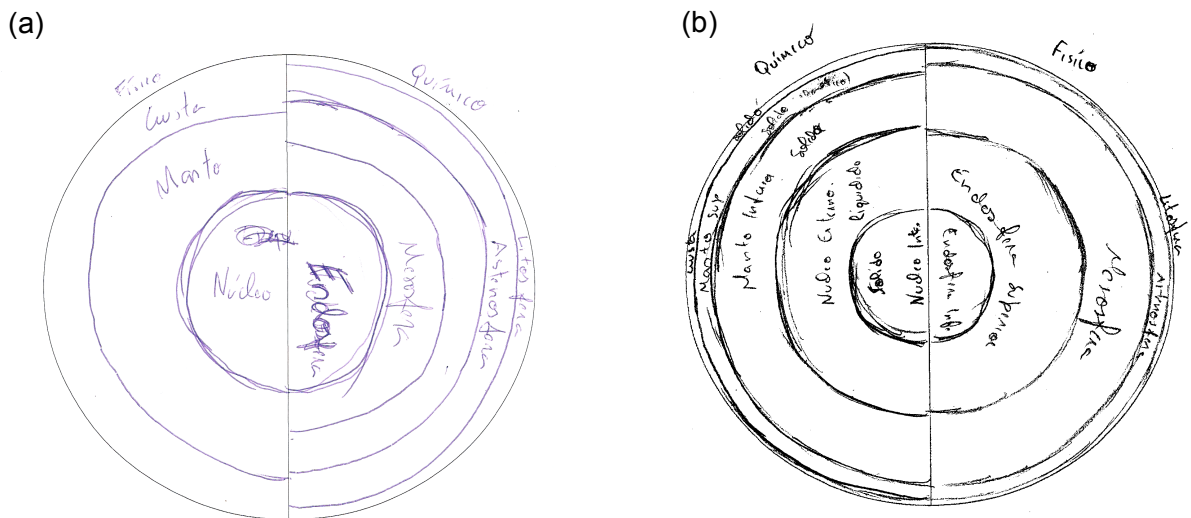


Figura 24: Desenhos da estrutura interna da Terra no pré-teste (a) e no pós-teste (b), pelo mesmo aluno. Destaque para a confusão entre o modelo físico e o modelo químico no pré-teste e para a escala no pós-teste que, excluindo a descontinuidade de Moho entre a crosta e o manto superior, é quase perfeita.

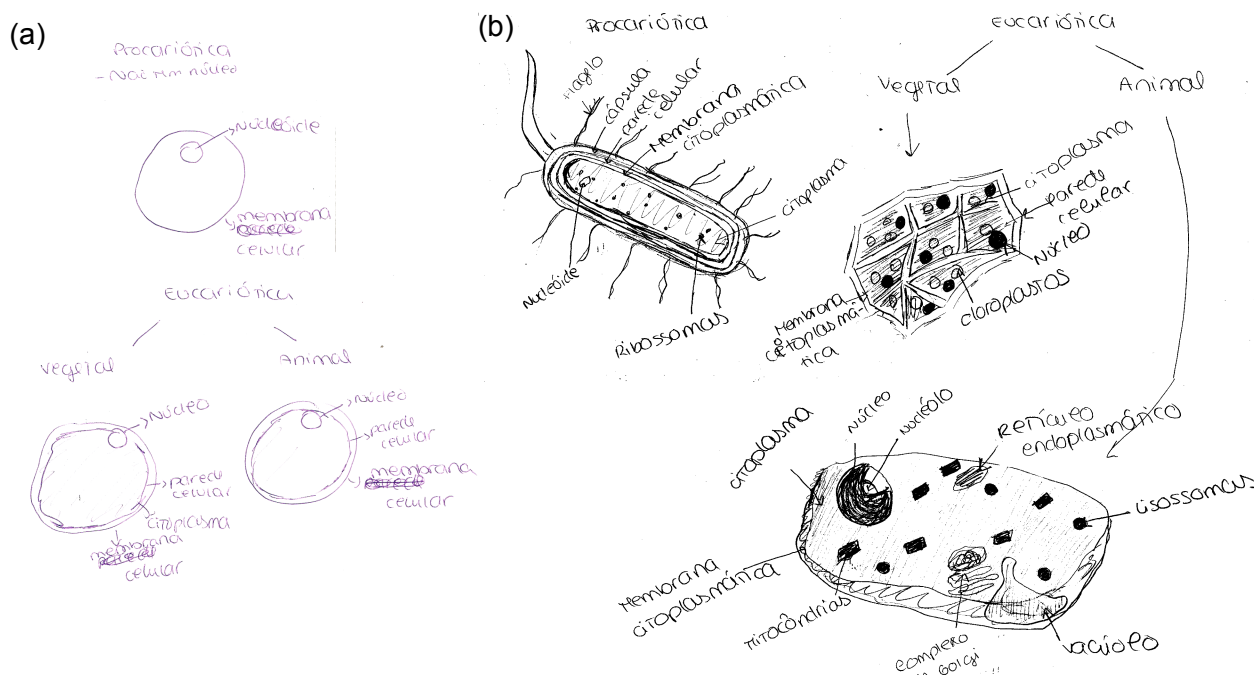


Figura 25: Desenho dos vários tipos de célula do mesmo aluno, no pré-teste (a) e no pós-teste (b). Destaque para os vários componentes celulares legendados no pós-teste, em comparação com o pré-teste, para a evidência de tridimensionalidade no pós-teste e para um erro muito comum – a identificação de uma parede celular na célula eucariótica animal.

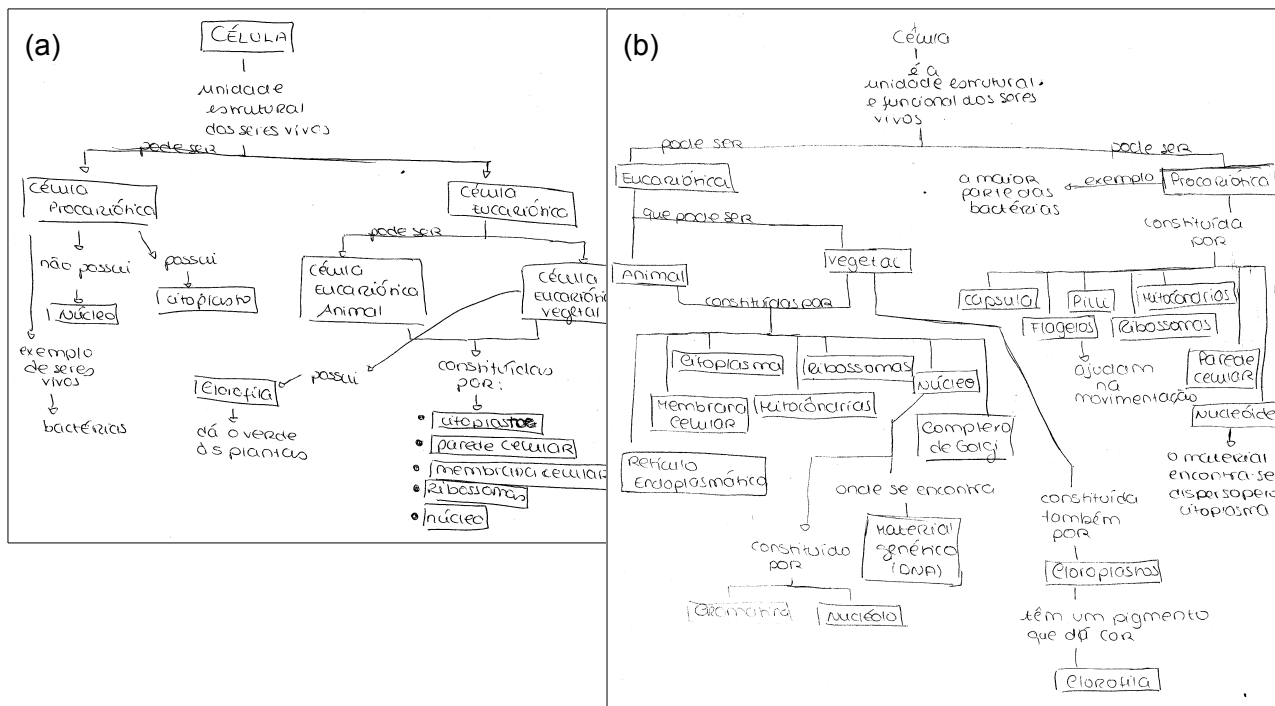


Figura 26: Mapas de conceitos do pré-teste (a) e do pós-teste (b), do mesmo aluno, em resposta à pergunta "Como é constituída uma célula?".