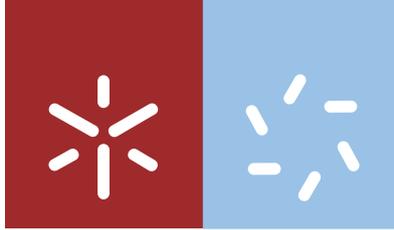


**Universidade do Minho**  
Escola de Ciências

Ana Luísa Carvalho de Campos

**Nanociência e nanotecnologia nos  
ensinos básico (3º ciclo) e secundário**



**Universidade do Minho**

Escola de Ciências

Ana Luísa Carvalho de Campos

## **Nanociência e nanotecnologia nos ensinos básico (3<sup>o</sup> ciclo) e secundário**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Ciências – Formação Contínua de Professores  
Área de especialização em Física e Química

Trabalho realizado sob a orientação do  
**Professor Doutor Carlos Jorge Ribeiro da Silva**  
e da  
**Professora Doutora Maria de Jesus Matos Gomes**

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que de algum modo ajudaram e possibilitaram a realização deste trabalho.

Aos meus orientadores, professor doutor Carlos Jorge Ribeiro da Silva e professora doutora Maria de Jesus Matos Gomes, pela orientação, paciência e disponibilidade demonstrada no decorrer do processo.

À doutoranda Sandra Daniela Moreira pela ajuda na síntese e caracterização de nanopartículas e sugestões elucidativas.

Ao engenheiro José António Santos pela colaboração prestada na deposição de filmes finos.

Ao meu amigo Tiago Ferreira pelo apoio, incentivo, paciência e amizade...



## **Resumo**

A temática da educação científica e tecnológica tem sido gradualmente introduzida nos diferentes níveis de ensino com o intuito de formar cidadãos capazes de compreender o mundo no qual estão inseridos. Neste âmbito procurou-se desenvolver o tema «nanociência e nanotecnologia», dado se tratar de um conceito atual e interdisciplinar, englobando desde as ciências exatas e experimentais às ciências humanas e sociais.

No presente trabalho pretendeu-se demonstrar a importância deste tema, descrevendo e analisando uma proposta a ser aplicada ao nível de ensino pré-universitário destinada às aulas de ciências experimentais no 3º ciclo do ensino básico e no ensino secundário.

As atividades desenvolvidas consistiram na síntese de nanopartículas de ouro e de óxido de ferro em solução aquosa e na produção de filmes finos de ouro sobre um substrato de vidro.

A síntese das nanopartículas de ouro em solução aquosa foi efectuada segundo um método clássico (atribuído a Turkevich) possibilitando a obtenção de soluções coloidais com nanopartículas de ouro de diferentes dimensões. Foi estudado o respetivo comportamento ótico quando submetida à luz branca e à radiação monocromática polarizada (radiação laser) tal como a cor e a observação do efeito de Tyndall. A atividade desenvolvida, em laboratório, foi filmada para a elaboração de um vídeo de apoio didático para posterior utilização para fins demonstrativos e, posteriormente, realizada em contexto escolar por alunos do 10º ano do ensino regular.

A deposição de filmes finos de ouro sobre substrato de vidro pelo método de evaporação térmica resistiva teve como objetivo a obtenção de amostras que permitissem comparar a cor exibida por estas nanopartículas com as dispersas em meio coloidal com as desse mesmo material a nível macroscópico.

Os resultados obtidos neste trabalho foram divulgados na forma de um poster apresentado na Semana de la Nanociencia y la Nanotecnologia, realizado em Medellin, Colômbia .

A síntese de nanopartículas de óxido de ferro por via química foi dirigida para a obtenção de um material ferrofluido estudando o seu comportamento na presença de um campo magnético gerado por um simples íman. Este comportamento foi comparado com o exibido por partículas macroscópicas deste mesmo material, sendo este comportamento posteriormente observado por alunos do 9º ano.

Desenvolveu-se e implementou-se um inquérito de opinião aplicado a uma amostra de professores do grupo disciplinar de Física e Química, a nível nacional, dos quais foram obtidas 161 respostas. A análise estatística e descritiva dos dados recolhidos permitiu obter algumas conclusões quanto à opinião dos mesmos sobre implementação de temas como a nanociência e nanotecnologia em níveis de ensino pré-universitário.



## **Abstract**

The theme of the scientific and technological education has been gradually introduced in the different teaching level aiming to form citizens able to understand the world in which they are inserted. In this context the subject «nanoscience and nanotechnology» is an actual theme involving concepts that are interdisciplinary spreaded from experimental sciences till the human and social studies.

The present work intends to demonstrate the importance of this subject and describes the practical activities developed to be applied in laboratory class of experimental sciences of a pre-university teaching level (3<sup>rd</sup> cycle of the basic teaching and secondary levels).

The activities developed were the synthesis of aqueous colloidal solutions of gold nanoparticles and iron oxide nanoparticles and to produce thin gold films deposited over a surface.

Using the Turkevich method a colloidal solutions with gold nanoparticles of different sizes were synthesized. Their optical behavior when submitted to white light and monochromatic polarized radiation (laser radiation) was studied and the color and Tyndall effect were observed. The laboratorial activity was filmed to make a video for teaching purposes which was made available on Youtube and was later performed at the lab by 10<sup>th</sup> grade students.

Physical vapor deposition (PVD) technique was used to produce thin gold deposition over glass substrate. The purpose of this activity was to supply samples that allow the comparison of the color shown by the gold nanoparticles deposited in a solid substrate with those dispersed in colloidal aqueous solution as well with the observed gold macroscopic characteristics.

The results obtained in was presented in a poster in *Semana de la Nanociencia y la Nanotecnologia*, occurred at Medellin, Colômbia .

The synthesis of an aqueous iron oxide nanoparticles by chemical method was directed to obtain a ferrofluid material which behaviour was studied in the presence of magnetic fields using a simple magnet. This behaviour was compared with the observed characteristics of similar materials with macro dimensions. The magnetic behaviour of the produced ferrofluid and of the magnetite was explored at the 9<sup>th</sup> grade student classes.

An inquire was developed and sent to teachers of Physics and Chemistry across Portugal and 161 replies were collected. The statistical and descriptive treatment of the obtained answers allowed to concluded about the opinion on implementation of subjects like the nanoscience and nanotechnology at pre-university teaching levels.



# Índice

1. Introdução.....	1
2. Fundamentação Teórica .....	4
2.1. Nanociência e nanotecnologia .....	4
2.2. O Ouro.....	6
2.2.1. Propriedades óticas: a cor .....	12
2.2.2. Propriedades óticas: dispersão - Efeito de Tyndall .....	15
2.3. O óxido de ferro.....	16
2.3.1. Propriedades magnéticas: superparamagnetismo .....	18
2.4. Outros nanosistemas.....	19
2.5. Implicações éticas e ambientais da nanociência e nanotecnologia.....	21
3. Atividades Experimentais .....	24
3.1. Síntese e caracterização das propriedades óticas de soluções coloidais contendo nanopartículas de ouro.....	24
3.1.1. Procedimento de síntese .....	24
3.1.2. Observação e interpretação do efeito de Tyndall .....	25
3.1.3. Observação dos espectros de absorção por espectroscopia de UV-Vis .....	26
3.2. Tecnologia usada para a produção de filmes finos de ouro sobre um substrato de vidro e caracterização das suas propriedades óticas .....	27
3.3. Preparação de materiais ferrofluídos baseados em óxido de ferro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) .....	32
3.3.1. Procedimento preparativo.....	32
3.3.2. Observação das características físicas e magnéticas do ferrofluído preparado .....	33
3.4. Instrumentação .....	35
3.4.1. Espectroscopia Ultra-Violeta/Visível .....	35
3.4.2. Laser He-Ne.....	36
3.4.3. Evaporador Térmico Resistivo.....	36
3.4.4. Microscópio eletrónico de varrimento (MEV/SEM).....	37
4. Exploração em contexto escolar .....	38
4.1. Análise aos inquéritos dos professores.....	40
4.2. Análise às atividades implementadas.....	46
4.2.1. Atividade implementada no 10º ano .....	47
4.2.2. Atividade implementada no 9º ano .....	51
5. Conclusão .....	52
Bibliografia .....	54
Anexos .....	60
Anexo 1.....	60

Protocolo experimental para a síntese de nanopartículas de ouro .....	60
Anexo 2 .....	63
Protocolo experimental para produção de filmes finos de ouro.....	63
Anexo 3 .....	64
Protocolo experimental para síntese de nanopartículas de óxido de ferro (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) na forma de um material ferrofluídico .....	64
Anexo 4 .....	67
Carta de apresentação e Inquérito aos professores .....	67
Anexo 5 .....	70
Plano de aula 10º ano .....	70
Anexo 5.1 .....	72
Ficha Laboratorial 10º ano .....	72
Anexo 5.2 .....	76
Ficha Laboratorial 10º ano (apoio vídeo) .....	76
Anexo 5.3 .....	80
Gráfico de absorção das amostras coloidais de ouro .....	80
Anexo 5.4 .....	81
Proposta de Resolução da Ficha Laboratorial 10º ano .....	81
Anexo 6 .....	83
Ficha de Trabalho 9º ano e respetiva proposta de resolução .....	83

## Índice de figuras

Fig. 2.1 – Transístor em filme fino de nanotubos de carbono e circuitos integrados num substrato flexível e transparente.....	4
Fig. 2.2 – Sabre feito de aço de Wootz (contem nanotubos de carbono e arames em nanoescala de carboneto de ferro).....	5
Fig. 2.3 – a) Efeito da folha de Lótus; b) Nanoestrutura da hidroxiapatite no esmalte dos dentes; c) Nanoestruturas na asa da borboleta azul. ....	5
Fig. 2.4 – Imagem de lingotes de ouro de 24 quilates dito como 99,99% puro equivale a 999 pontos na escala europeia. ....	6
Fig. 2.5 – Variação do ponto de fusão em função das dimensões do ouro.....	6
Fig. 2.6 – Espectros eletrónicos obtidos a) antes e b) após o processo de agregação de nanopartículas sintetizadas através do método de Turkevitch.....	7
Fig. 2.7 – a) solução aquosa concentrada de ouro; b) solução aquosa diluída de ouro; c) a g) mudança na coloração de uma suspensão de nanopartículas de ouro em água devido ao processo de agregação.....	8
Fig. 2.8 – Taça de Lycurgs. a) sob luz refletida; b) sob luz transmitida.....	8
Fig. 2.9 – Vitral da Catedral de S. Miguel e Sta Gúdula, Bruxelas. Os diferentes tons de vermelho e violeta devem-se essencialmente às nanopartículas de ouro de diferentes formas e tamanhos presentes no vidro.....	9
Fig. 2.10 – Esquema de processos de reflexão de um feixe paralelo de luz: a) especular; b) difusa.....	9
Fig. 2.11 – Filmes finos de ouro depositado sobre uma lâmina de vidro de sílica com ordem crescente de espessuras, em escala nanométrica.....	10
Fig. 2.12 – Espectros eletrónicos obtidos para nanopartículas de ouro a) em suspensão aquosa e b) em filme fino.....	10
Fig. 2.13 – Representação esquemática das várias fases de crescimento de um filme.....	11
Fig. 2.14 – Espada com punho de ouro e empunhadura revestida a ouro encontrada no túmulo de um guerreiro Micénico do séc. XV a.C.....	12
Fig. 2.15 – Espectro eletromagnético da luz com evidência do espectro de luz branca.....	12
Fig. 2.16 – Interação da luz com um material transparente.....	13
Fig. 2.17 – Diagrama de cromaticidade.....	13
Fig. 2.18 – Objetos iluminados por a) luz branca, b) luz violeta, c) luz vermelha.....	13
Fig. 2.19 – Esquema ilustrativo da variação do espectro de absorção e a cor exibida por soluções coloidais contendo partículas de diferentes diâmetros, quando são iluminadas com luz branca.....	15
Fig. 2.20 – a) Cristais de magnetite; b) Areia de magnetite.....	16
Fig. 2.21 – Representação da célula unitária de magnetite, sendo que os átomos vermelhos são de oxigénio, os azuis são os de Fe <sup>3+</sup> nos sítios tetraédricos e os verdes os de Fe <sup>3+</sup> e Fe <sup>2+</sup> nos sítios octaédricos.....	16
Fig. 2.22 – Representação esquemática dos tipos de magnetismo: a) paramagnetismo; b) ferromagnetismo; c) antiferromagnetismo; d) ferrimagnetismo. ....	18

Fig. 2.23 – Esquema do acoplamento ferromagnético de spins no interior de uma NP e analogia com um único grande momento magnético total.....	18
Fig. 2.24 – Opala, a pedra arco-íris.....	21
Fig. 2.25 – Nanociência e nanotecnologia: oportunidades e incertezas.....	23
Fig. 3.1 – Da esquerda para a direita apresentam-se as soluções coloidais recolhidas por ordem crescente de tempo de reação, com um intervalo de tempo entre cada amostra de 20 s.....	25
Fig. 3.2 – Observação do Efeito de Tyndall nas amostras coloidais (b e c) mas não na solução diluída de ácido cloráurico (a).....	25
Fig. 3.3 – Espectros de absorção na região UV-Vis para as amostras referidas na fig.3.2.....	26
Fig. 3.4 – Espectros de absorvância obtidas na gama do UV-Vis para as diferentes amostras preparadas. ....	26
Fig. 3.5 – Esquema da câmara de deposição: 1 – Barquinha com o fio do material; 2 – substrato; 3 – deposição do material; 4 – campânula de vidro; 5 – partículas vaporizadas.....	28
Fig. 3.6 – Imagem da câmara de deposição: 1 – Barquinha de tungsténio (W); 2 – grânulo de ouro (Au); 3 – substrato de vidro; 4 – proteção de inox.....	28
Fig. 3.7 – Filmes finos das amostras de Au de 1,051 mg; 4,683 mg; 14,180 mg; 18,976 mg e 111,617 mg, respetivamente. ....	29
Fig. 3.8 – Medição da espessuras dos filmes a) de 18,976 g e b) de 111,617 g.....	30
Fig. 3.9 – Espectros de transmitância na região UV-Vis para as amostras de filmes finos: a) 1,051 mg, b) 4,683 mg, c) 14,180 mg, d) 18,976 mg, e) 111,617 mg.....	30
Fig. 3.10 – Espectros de absorvância na região UV-Vis para as amostras de filmes finos: a) 1,051 mg, b) 4,683 mg, c) 14,180 mg, d) 18,976 mg, e) 111,617 mg.....	31
Fig. 3.11 – Espectros de absorvância (linha em cheio) e de transmitância (linha em tracejado) na região UV-Vis, em função do comprimento de onda (nm), para cada uma das amostras de filmes finos a) 1,051 mg, b) 4,683 mg, c) 14,180 mg, d) 18,976 mg, e) 111,617 mg.....	31
Fig. 3.12 – a) Representação esquemática do comportamento do surfactante; b) Imagem dos <i>spikes</i> exibidos pelo ferrofluido na presença de um campo magnético exterior.....	33
Fig. 3.13 – Representações esquemáticas do comportamento de spin do ferro: a) na ausência de um campo magnético – paramagnetismo; b) na presença de um campo magnético - ferromagnetismo. ....	33
Fig. 3.14 – a) areia de magnetite na presença de um campo magnético provocado por um íman; b) ferrofluido na presença de um campo magnético provocado por um íman; c) bússola na presença da areia de magnetite; d) bússola na presença do ferrofluido.....	34
Fig. 3.15 – Esquema de funcionamento de um espectrofotómetro UV-Vis.....	35
Fig. 3.16 – Espectrofotómetro UV-Vis.....	35
Fig. 3.17 – Ao incidir um feixe de radiação paralela e monocromática, de intensidade $I_0$ , perpendicularmente à amostra em estudo, ao travessar a espessura da amostra, a intensidade da radiação é reduzida para um valor $I$ devido à absorção.....	36

Fig. 3.18 – Diagrama dos níveis de energia para o sistema laser He-Ne.....	36
Fig. 3.19 – Evaporador térmico resistivo.....	37
Fig. 3.20 – Microscópio eletrónico de varrimento SEM JSM 35C/Noran Voyager de CEMUP.....	37
Fig. 4.1 – Percentagem de professores inquiridos que abordarm o tema N&N.....	40
Fig. 4.2 – Zonas do quadro pedagógico onde fora abordado o tema N&N.....	41
Fig. 4.3 – Importância da abordagem ao tema N&N em contexto pré-universitário.....	41
Fig. 4.4 – Situações nas quais deve ser introduzido o tema N&N.....	44
Fig. 4.5 – Motivos para não inserir o tema N&N no ensino pré-universitário.....	45
Fig. 4.6 – Observação, pelos alunos, do Efeito de Tyndall a) nas amostras coloidais, mas b) não na solução de ácido cloráurico.....	48
Fig. 4.7 – Observação, pelos alunos, do espalhamento do feixe de luz ao atravessar uma suspensão: a) antes, b) depois de incidir o feixe laser sobre a suspensão.....	49
Fig. 4.8 – Da esquerda para a direita: solução aquosa concentrada de ouro; solução aquosa diluída de ouro; amostras das soluções coloidais recolhidas por ordem crescente de tempo de reação.....	49
Fig. A.1 – Material utilizado na síntese de Au-NPs.....	60

## Índice de tabelas

Tab. 1.1 – Exemplos da aplicação da produção de bens de consumo com nanoestruturas incorporadas ou com recurso às nanotecnologias de fabricação.....	2
Tab. 2.1 – Propriedades de alguns nanomateriais em aplicações biomédicas.....	4
Tab. 2.2 – Alguns exemplos de materiais já comercializados na área da construção.....	20
Tab. 3.1 – Valores estimados para os diâmetros das nanopartículas presentes em cada amostra.....	27
Tab. 4.1 – Lista de manuais analisados.....	39

## 1. Introdução

Os recentes avanços tecnológicos têm introduzido novos conceitos no vocabulário quotidiano através da comunicação social, contudo esses conceitos não são de todo compreensíveis pela sociedade em geral.

Quando se fala em nanotecnologia é necessário mudar a escala com que, por hábito, se interpreta o mundo em redor. Os materiais à escala nanométrica (ordem de grandeza  $10^{-9}$  m) conduziram a ciência e a tecnologia a uma nova era, revolucionando áreas como as de química, física, eletrónica, informática, medicina, agricultura...

Estes materiais, que apresentam dimensões entre 1 a 100 nm, têm recebido particular atenção por apresentarem propriedades únicas e distintas quer do átomo isolado quer do material em dimensões macro (*bulk*). Isto é, muitas das suas propriedades químicas, físicas e mecânicas em escala nanométrica, mudam radicalmente.

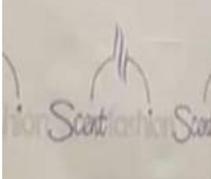
Para este estudo, foram selecionadas duas propriedades distintas: o comportamento ótico e o magnetismo; que se encontram desenvolvidas em pormenor em capítulos posteriores. O motivo da escolha destas duas propriedades prendeu-se ao efeito visual que têm para demonstração ao público jovem num contexto escolar.

O desenvolvimento da nanotecnologia e a sua vasta aplicabilidade prática no dia a dia de qualquer indivíduo proporcionou a crescente curiosidade da população em geral, e dos jovens em particular, em entender a razão da mudança de comportamentos de certos materiais e o como aproveitar essas propriedades que surgem em escala nanométrica.

Dos vários ramos da indústria, que têm produzido bens de consumo ou de equipamento por recurso à nanotecnologia ou contendo nanoestruturas incorporadas, destacam-se em Portugal as indústrias referidas na tabela 1.1.

Face à crescente evidência da atualidade da temática das nanotecnologias e dos conceitos e fundamentos científicos das nanociências torna-se urgente assegurar que a escola (desde o ensino básico até ao ensino universitário) adotem a adequada abordagem nos métodos de ensino/aprendizagem assim como na intervenção em atividades de extensão no sentido de permitir a compreensão deste campo da ciência e da tecnologia. Neste sentido, compete à Escola abordar desde cedo os avanços deste ramo da ciência e tecnologia numa vertente (multi, inter) e transdisciplinar(es) de modo a saciar a curiosidade dos nossos jovens mantendo-os devidamente informados. Neste sentido é indispensável proceder-se à atualização e adequação dos currículos escolares.

**Tab. 1.1** – Exemplos da aplicação da produção de bens de consumo com nanoestruturas incorporadas ou com recurso às nanotecnologias de fabricação.

<p><b>Indústria Automóvel</b></p>  <p>[1]</p>	<p><b>Exemplo:</b></p> <p>células de combustíveis [2]</p>	<p><b>Indústria Farmacêutica/ Médico Hospitalar</b></p>  <p>[7]</p>	<p><b>Exemplo:</b></p> <p>nanopartículas para o tratamento do cancro [5, 7]</p>
<p><b>Indústria Aeronáutica</b></p>  <p>[3]</p>	<p><b>Exemplo:</b></p> <p>revestimento de turbinas de aviões [2]</p>	<p><b>Indústria Cosmética</b></p>  <p>[7]</p>	<p><b>Exemplo:</b></p> <p>uso de nanossomas para o transporte e administração cutânea de ingredientes ativos lipofílicos [7]</p>
<p><b>Indústria Eletrónica</b></p>  <p>[4]</p>	<p><b>Exemplo:</b></p> <p>produção de <i>chips</i> [2, 5]</p>	<p><b>Indústria Têxtil</b></p>  <p>[8]</p>	<p><b>Exemplo:</b></p> <p>nanopartículas de carbono para eliminação de odores dos tecidos [8]</p>
<p><b>Indústria Fotovoltaica</b></p>  <p>[6]</p>	<p><b>Exemplo:</b></p> <p>produção de painéis fotovoltaicos [2]</p>	<p><b>Indústria de Embalagens</b></p>  <p>[9]</p>	<p><b>Exemplo:</b></p> <p>nano-revestimentos edíveis (proteção comestível), filmes não-edíveis e nanopartícula [10]</p>

O tema nanociência/nanotecnologia poderá ser facilmente inserido na área disciplinar de Física e Química, nos ensinos básico e secundário, tanto no currículo regular como no profissional. Esta abordagem pode ser feita aquando a lecionação de diversos conteúdos, conforme os exemplos que a seguir se enumeram:

- ↪ No terceiro ciclo:
  - classificação de dispersões e preparação de soluções (7º ano);
  - fenómenos óticos e cor (8º ano);
  - propriedades dos materiais; tabela periódica; eletromagnetismo (9º ano).
- ↪ No ensino secundário:
  - classificação de dispersões e preparação de soluções (10º ano);
  - propriedades dos materiais e tabela periódica (10º e 12º anos);
  - propriedades óticas e eletrónicas dos materiais (11º ano).

Os professores de Física e Química poderão encontrar a seu dispor, material para os apoiar na introdução à nanociência/nanotecnologia quer na internet como em revistas científicas, embora esses materiais tendam a ser publicados na língua original exigindo a sua correta tradução, o que poderá propiciar o envolvimento de outras áreas curriculares. Alguns museus e centros de ciência exibem exposições sobre o tema, inclusive algumas universidades, como a Universidade do Minho, proporcionam visitas às escolas, palestras interativas, seminários e workshops. Além disso, existem muitos recursos *online* que disponibilizam informação detalhada sobre os vários sub-domínios assim como filmes e jogos sendo estes facilmente acessíveis pelas escolas e alunos.

Neste trabalho, sintetizaram-se nanopartículas de ouro de diferentes dimensões, pelo método de Turkevich [11], o que possibilitou a preparação de soluções coloidais de nanopartículas de ouro, permitindo a observação da cor dessas soluções sob luz branca, a análise dos respetivos espectros de absorção ótica na gama do visível, e a observação do efeito de Tyndall. Esta atividade foi desenvolvida em contexto escolar numa turma de 10º ano de ensino regular com os devidos materiais de apoio desenvolvidos para esse fim.

A atividade referida foi integralmente filmada para a posterior elaboração de um vídeo de apoio didático.

Fez-se igualmente a síntese de nanopartículas de óxido de ferro, o que permitiu distinguir as diferentes propriedades magnéticas exibidas pelo mesmo material em dimensões macro e nanométrico. A atividade foi explorada por uma turma de 9º ano do ensino unificado.

## 2. Fundamentação Teórica

Durante os últimos anos, pesquisas envolvendo materiais à escala nanométrica têm-se tornado muito frequentes em vários campos da física e da química.

As nanopartículas metálicas, M-NPs, revelam propriedades distintas dos materiais à escala macroscópica, o que as torna potencialmente adequados para várias aplicações.

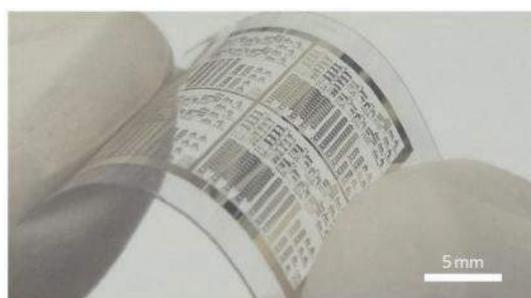
**Tab. 2.2** – Propriedades de alguns nanomateriais em aplicações biomédicas. Tabela adaptada de [12].

<b>Categoria</b>	<b>Exemplos</b>	<b>Propriedades</b>	<b>Aplicações</b>
Metálico	Au, Ag	Ressonância de plasmão de superfície	Localização de tumores cancerígenos
Magnético	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Atração magnética	Administração de medicamentos ( <i>drug delivery</i> )
Carbono/Atómico	Nanotubos de carbono; fullereno	Estabilidade química; condutividade elevada; propriedades eletrónicas	Penetração nas células citoplasmáticas e núcleo; distribuição peptídica

Os metais mais usualmente empregues em nanotecnologia são o Au, Pt, Ag, Cu e Fe, devido à sua estabilidade eletroquímica: os três primeiros na forma de partículas de metais puros e os restantes nas formas de óxidos. Neste trabalho, desenvolver-se-á o estudo das nanopartículas: Au-NPs e Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-NPs.

### 2.1. Nanociência e nanotecnologia

A investigação sobre nanomateriais, que procuram contemplar a melhoria do conforto e bem estar dos indivíduos, tornando-se mais significativa no final do século XX, com a criação de dispositivos de dimensões reduzidas, elevada compactação e elevada capacidade de processamento de informação [13, 14].



**Fig. 2.1** – Transistor em filme fino de nanotubos de carbono e circuitos integrados num substrato flexível e transparente [15].

Não obstante o termo “nanotecnologia” ter sido definido por Norio Taniguchi, em 1974, que abarcava no seu âmbito máquinas que tivessem níveis de tolerância inferiores a 1 micron (1000 nm) [16], mas as ideias e

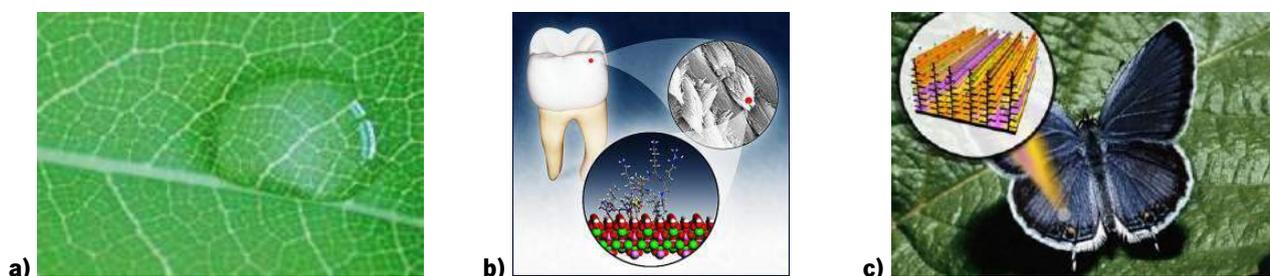
os conceitos de suporte à nanociência e nanotecnologia tiveram anteriormente origem numa palestra proferida pelo físico Richard Feynman em 1959 [17, 18].

Embora o estudo desta ciência e tecnologia só tenha surgido já em meados do séc. XX descobriu-se, recentemente, que o aço de Wootz (séc. XIV) contém compostos de carbono semelhantes aos nanotubos, o que lhes confere uma dureza excepcional. Este é apenas um dos vários processos artesanais antigos que recorriam a nanoestruturas existentes na natureza ou produzidos, como no caso do aço de Wootz, pelo processo de aquecimento e reaquecimento, que se designa corretamente de têmpera [19-21].



**Fig. 2.2** – Sabre feito de aço de Wootz (contem nanotubos de carbono e arames em nanoescala de carboneto de ferro) [20].

Os conhecimentos gerados pela nanociência também permitem explicar alguns fenómenos naturais: o efeito da folha de Lótus deve-se à presença de nanoestruturas à superfície das folhas, cujas características hidrofóbicas repelem a água; a elevada resistência mecânica dos dentes é graças ao revestimento de uma camada nanoestruturada – hidroxiapatite, mineral que compõe a estrutura dental; a cor da borboleta azul resulta do padrão de difração gravado na superfície das respetivas asas com uma escala nanométrica, ao interagir com a radiação solar, modulam o índice de refração provocando alterações ao nível da cor visualizada pelo observador [21, 22].



**Fig. 2.3** – a) Efeito da folha de Lótus [21]; b) Nanoestrutura da hidroxiapatite no esmalte dos dentes [93]; c) Nanoestruturas na asa da borboleta azul [94].

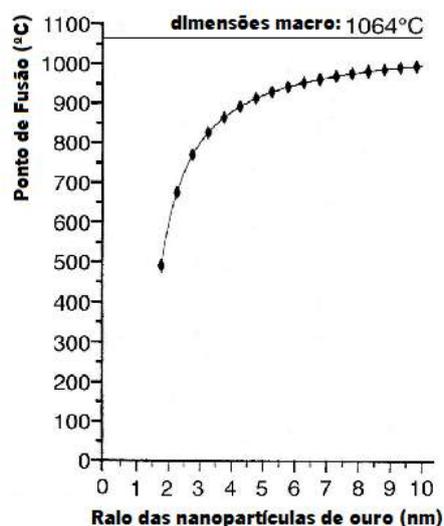
## 2.2. O Ouro

O ouro é dos metais preciosos o mais procurado devido ao seu brilho, à facilidade de ser trabalhado e à sua raridade.



**Fig. 2.4** – Imagem de lingotes de ouro de 24 quilates dito como 99,99% puro equivale a 999 pontos na escala europeia [22].

Quimicamente, quando se fala em ouro, fala-se do elemento de símbolo químico  ${}_{79}\text{Au}$  com propriedades físicas e químicas bem definidas. No seu estado mais puro, ouro de 24 quilates, o ponto de fusão é de  $1064^{\circ}\text{C}$  e o de ebulição  $2970^{\circ}\text{C}$ ; exibe uma dureza de 2,5 a 3,0 na escala de Mohr, elevada condutividade térmica e baixa resistividade elétrica. O ouro é o mais maleável e dúctil dos metais e, embora insolúvel em ácidos normais é solúvel em água régia [23, 24].



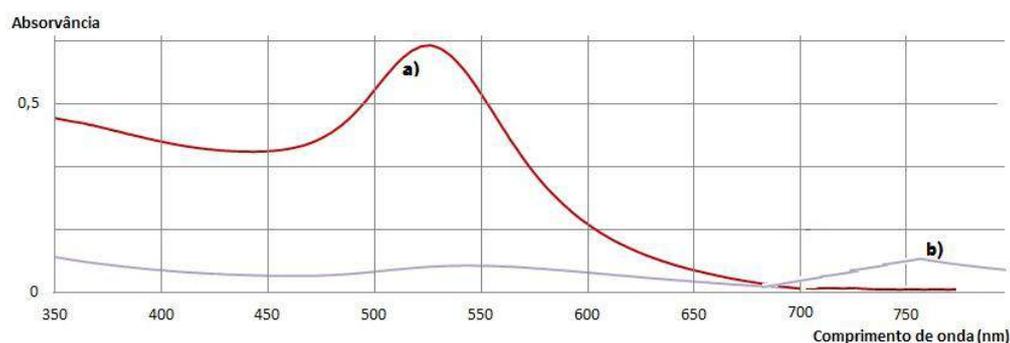
**Fig. 2.5** – Variação do ponto de fusão em função das dimensões do ouro [25].

As propriedades físicas, químicas e bioquímicas do ouro são responsáveis pelo seu emprego numa vasta gama de indústrias, recorrendo, entre outras propriedades, à sua refletividade ótica e radiação quase perfeita [23]. Todavia, a redução do tamanho das partículas de ouro para a escala nanométrica é responsável por várias alterações, entre as quais ao nível da própria cor e refletividade ótica.

Esta redução do tamanho das partículas de ouro pode ser feita por processos físicos e químicos. Um dos principais métodos, químicos, para a síntese de nanopartículas de ouro, introduzido em 1951 por Turkevich [11, 26] e aperfeiçoado em 1973 por Frens [26], baseia-se na redução da solução de ácido cloráurico por adição de citrato de sódio, à temperatura na ordem dos 180 °C, originando nanopartículas esféricas com diâmetros compreendidos entre os 16 e os 150 nm. O citrato de sódio desempenha um papel duplo como agente redutor e como estabilizante das nanopartículas formadas [27, 18].

O excesso de anião citrato utilizado estabiliza as partículas devido à dupla camada eletrostática repulsiva criada pelos iões citrato adsorvidos à sua superfície dando origem a uma superfície carregada negativamente e impedindo a agregação. A estabilidade dos coloides é, portanto, atribuída ao efeito conjunto de interações de Van der Waals e interações (repulsões) eletrostáticas [18, 30].

A agregação pode ser reconhecida pelo deslocamento de banda de plasmão para regiões de menor energia. No exemplo da figura 2.6, a banda desloca-se para 750 nm, gerando uma coloração azul característica. Neste gráfico, pode-se igualmente observar a diminuição da energia de transição do plasmão de superfície com o aumento do tamanho das nanopartículas [30].



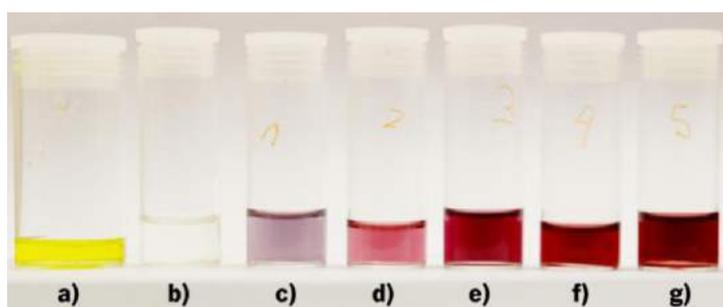
**Fig. 2.6** – Espectros eletrônicos obtidos a) antes e b) após o processo de agregação de nanopartículas sintetizadas através do método de Turkevitch.

A solução coloidal de ouro originada apresentará propriedades óticas distintas dependendo do tamanho (e forma) das partículas. Com a variação do tamanho das nanopartículas, a cor destas transita entre diversos tons. Este fenómeno deve-se a alterações na frequência de ressonância de plasmão, que é a frequência à qual os eletrões de condução oscilam em resposta a um campo elétrico alternante de uma radiação eletromagnética incidente [18, 27, 28].

A frequência de ressonância de plasmão pode ser deduzida aplicando cálculos clássicos de dispersão da luz por pequenas partículas, recorrendo a um modelo desenvolvido a partir da denominada teoria de Mie [27]. Apesar desta teoria permitir calcular os espectros de UV-Vis para todos os metais, apenas aqueles que

possuem elétrons livres, como o ouro, apresentam ressonâncias de plasmão no espectro da radiação visível, evidenciando cores intensas na forma coloidal [18, 27, 28].

As nanopartículas, com diâmetro superior a 20 nm, deslocam a banda de absorção para comprimentos de onda maiores que 530 nm, ao passo que partículas de menores tamanhos geram um efeito contrário, ou seja: deslocam a absorção para menores comprimentos de onda [11, 12]. Com a diminuição do tamanho das nanopartículas, a solução coloidal muda gradualmente de amarelo pálido, para o cinza, violeta, roxo, e, finalmente vermelho rubi [13].



**Fig. 2.7** – a) solução aquosa concentrada de ouro; b) solução aquosa diluída de ouro; c) a g) mudança na coloração de uma suspensão de nanopartículas de ouro em água devido ao processo de agregação.

Para além do tamanho das nanopartículas, também a forma destas e as características físico-químicas do meio em que as mesmas estão dispersas, nomeadamente o pH e a constante elétrica do solvente, afetam as propriedades óticas das nanopartículas existentes na solução coloidal ou noutro suporte.

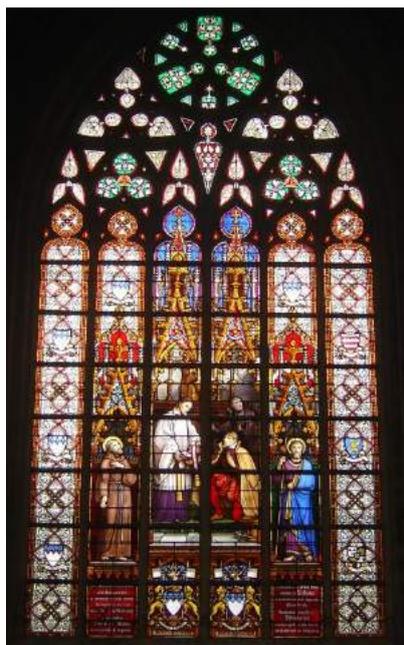
Várias obras de arte têm seus complexos efeitos cromáticos provocados pela combinação de absorção e reflexão do ouro incorporado nas suas pinturas, estando muitas datadas desde a antiguidade.

Realça-se a Taça de Lycurgs, datada de 400 d.C., cujo vidro é composto por nanopartículas de ouro e de prata que originam fenómenos de dispersão da luz que resultam em efeitos dicróicos. Sob luz direta, a taça reflete um tom esverdeado, mas quando a taça é iluminada pelo interior transmite um vermelho translúcido [30-32].



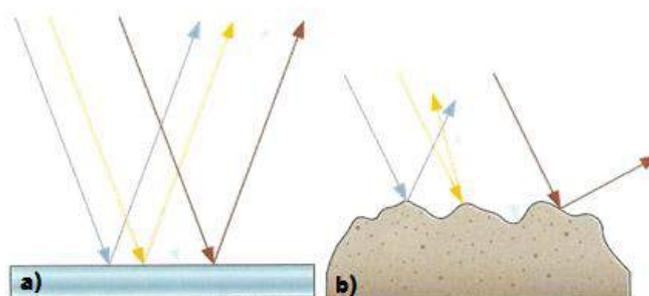
**Fig. 2.8** – Taça de Lycurgs. a) sob luz refletida; b) sob luz transmitida [32].

O efeito multicolorido dos vitrais das catedrais europeias, construídas entre os séculos VI e XV d.C., também se deve à presença de nanopartículas de ouro e de óxidos metálicos. As pequenas partículas de ouro permitem a passagem de luz vermelha, de maior comprimento de onda, mas impedem a travessia de radiações de menores comprimentos de onda como o amarelo e o azul. Uma outra particularidade destas partículas é a capacidade de degradar determinadas matérias orgânicas presentes no ar pela absorção da radiação visível funcionando sendo propostas como purificadores fotocatalíticos de ar de alta eficiência [33, 34].



**Fig. 2.9** – Vitral da Catedral de S. Miguel e S<sup>ta</sup> Gúdula, Bruxelas. Os diferentes tons de vermelho e violeta devem-se essencialmente às nanopartículas de ouro de diferentes formas e tamanhos presentes no vidro.

O brilho dourado do ouro, quando em formas macroscópicas, tem origem na reflexão especular (o feixe incidente é refletido numa superfície polida numa única direção bem definida, em que os raios refletidos são paralelos uns aos outros), contudo o ouro sob a forma de filmes finos apresenta-se em tons esverdeados dependendo da sua espessura [30].



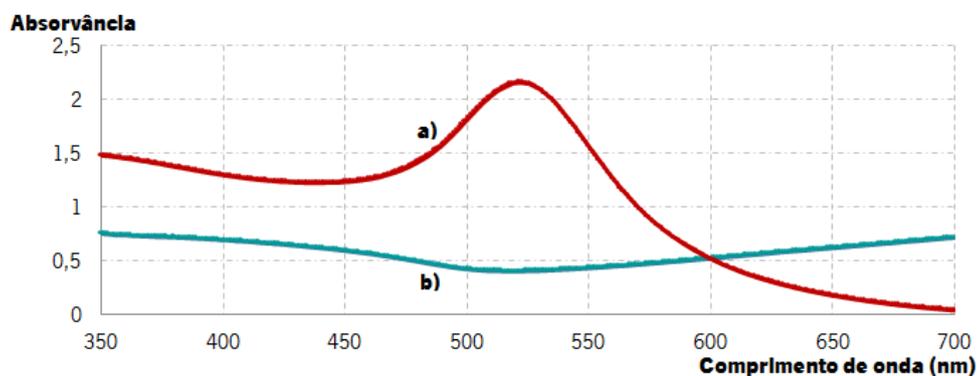
**Fig. 2.10** – Esquema de processos de reflexão de um feixe paralelo de luz: a) especular; b) difusa [35].

O termo filme diz respeito à matéria condensada disposta em camadas inseridas numa superfície. Os filmes finos podem ser classificados, quanto à sua espessura, em nanométricos, micrométricos e milimétricos referindo-se a faixas de [0,1; 100] nm, [0,1; 100]  $\mu\text{m}$  e [0,1; 100] mm, respetivamente [36].



**Fig. 2.11** – Filmes finos de ouro depositado sobre uma lâmina de vidro de sílica com ordem crescente de espessuras, em escala nanométrica.

Num filme nanométrico de ouro é possível observar um mínimo de absorção pelos 520 nm justificando a predominância do mecanismo de reflexão especular. Estranhamente a absorvidade, nesse mesmo comprimento de onda, é máxima [30].



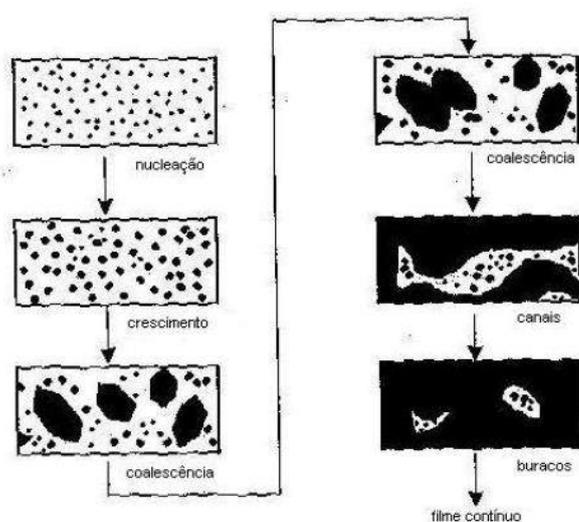
**Fig. 2.12** – Espectros eletrónicos obtidos para nanopartículas de ouro a) em suspensão aquosa e b) em filme fino.

Os processos de formação de filmes finos podem envolver reações químicas na superfície do substrato (descargas iónicas; decomposição de um composto; reação de gases com a superfície do substrato) ou processos físicos (evaporação; impacto de iões – *Sputtering*; condensação). Existem outros métodos de deposição de filmes, como as que empregam suspensão coloidal, misturando propriedades químicas e físicas, como o gotejamento, o *dip-coating*, a nebulização e o *spin-coating* [37, 38].

Independentemente da tecnologia adotada, a formação de filmes finos inclui processos de nucleação e crescimento. No primeiro, formam-se pequenos aglomerados de material, denominados núcleos, espalhados aleatoriamente sobre a superfície do substrato e fixando-se sobre este por ação de forças de atração eletrostática. À medida que mais átomos interagem os núcleos crescem, iniciando-se a fase de crescimento.

Nesta fase, os núcleos entram em contacto uns com os outros dando origem a estruturas maiores até formarem um filme [37, 38].

Um dos processos de produção de filmes finos por deposição num substrato é o realizado por evaporação térmica resistiva, um processo de deposição por fase vapor (PVD – Physical Vapor Deposition). Esta técnica permite transferir de forma controlada átomos ou moléculas de uma fonte de elevada pureza, inicialmente na forma de pó, grânulo ou fio, para um substrato, no qual a formação e o crescimento de filme ocorram camada por camada [39].



**Fig. 2.13** – Representação esquemática das várias fases de crescimento de um filme [37].

No caso da produção de revestimentos de ouro, o processo consiste no aquecimento, de uma amostra de ouro, por efeito Joule, num ambiente de alto vácuo. O ouro evapora-se e deposita-se essencialmente nos substratos. Contudo, verifica-se alguma deposição de ouro nas paredes da câmara devido à dispersão do feixe [40].

A evaporação permite altas taxas de deposição sem causar danos à superfície do substrato devido à baixa energia das espécies incidentes; evita a contaminação do filme pelo gás residual devido ao alto vácuo; e, o pouco aquecimento do substrato (o aquecimento decorre apenas do calor de condensação do filme e da radiação da fonte). No entanto, o processo de evaporação dificulta o controle da espessura e da composição de ligas [38]. O controle da espessura do filme pode ser possível, com algumas limitações, colocando no interior da câmara um medidor de espessuras que daria, em tempo real, uma indicação da evolução da espessura do filme permitindo parar o processo quando atingido a espessura desejada. Será igualmente possível ter um evaporador que tenha mais do que uma barquinha no seu interior, permitindo assim a evaporação simultânea de materiais diferentes.

A morfologia do filme produzido refletirá a morfologia do substrato sobre o qual é produzido: a maior ou menor rugosidade do substrato refletir-se-á na rugosidade do filme produzido uma vez que o filme não se limita a preencher os espaços vazios que o substrato tem, mas sim revestir de forma mais ou menos uniforme toda a superfície.

A tecnologia moderna de produção de filmes finos, tal como a praticada desde a antiguidade (há mais de 4000 anos), tem em consideração a pureza e o custo do ouro, a preparação da superfície (substrato), a uniformidade dos filmes aplicados, a adesão ao substrato, as possíveis reações entre o ouro e o substrato, a segurança do processo, a cor, a aparência ótica, a durabilidade do filme final. Atualmente, devido às novas aplicações, são também tidas em conta as propriedades eletrónicas do filme de ouro [37, 41].

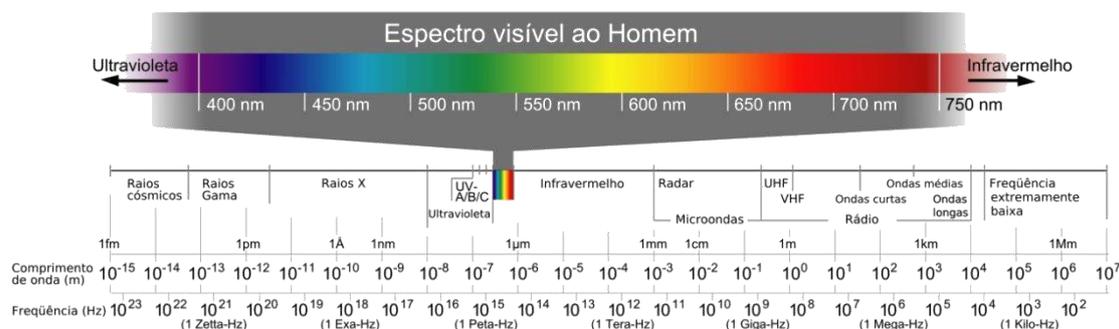
Na antiguidade, a produção de filmes finos de ouro era usada no revestimento de outros materiais.



**Fig. 2.14** – Espada com punho de ouro e empunhadura revestida a ouro encontrada no túmulo de um guerreiro Micénico do séc. XV a.C. [42].

### 2.2.1. Propriedades óticas: a cor

O comportamento ótico de um material resulta da interação deste com a radiação eletromagnética. A zona visível do espectro eletromagnético, designado por luz branca, é a responsável pela cor do material.



**Fig. 2.15** – Espectro eletromagnético da luz com evidência do espectro de luz branca [43].

Quando a luz atravessa um determinado meio, parte da radiação pode ser absorvida e convertida em energia térmica, parte pode ser dispersada ou reemitida como também sofrer variações no seu estado de

polarização. Quando parte da luz absorvida é reemitida, com menores valores de energia, observa-se o fenómeno de fluorescência [44, 45].



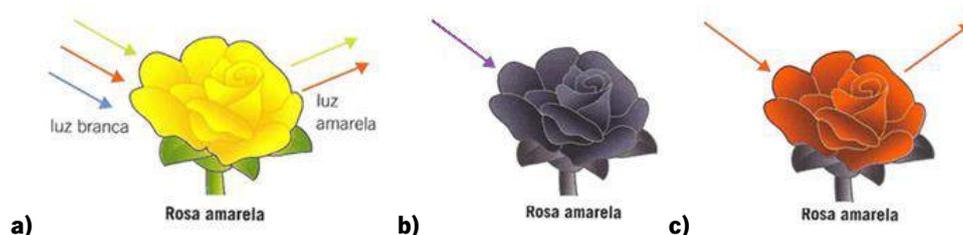
**Fig. 2.16** – Interação da luz com um material transparente. Imagem adaptada de [44].

Se a luz é branca, determinados comprimentos de onda podem ser absorvidos pelo meio e este revela-se colorido ao observador. Ao olho humano chega apenas a fração de luz transmitida, dita complementar da fração absorvida. Este fenómeno pode ser traduzido pelo diagrama de cromaticidade em que, diametralmente opostos, se situam gamas de radiação absorvida/ cor apresentada pelo meio [45].



**Fig. 2.17** – Diagrama de cromaticidade. Imagem adaptada de [45, 46]

Por exemplo, uma rosa que se apresenta amarela ao observador quando sobre ela incide luz branca quer dizer que absorve predominantemente a cor complementar (violeta) e transmite, predominantemente, o amarelo. Se incidirmos sobre a mesma rosa uma luz violeta, como esta será totalmente absorvida, não existirá transmissão de luz pelo que a rosa apresentar-se-á, ao observador, preta.



**Fig. 2.18** – Objetos iluminados por a) luz branca, b) luz violeta, c) luz vermelha. Imagem adaptada de [35].

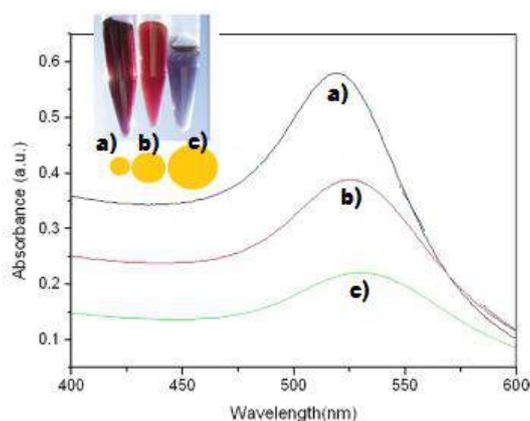
Contudo, a cor é essencialmente uma resposta subjetiva, fisiológica e psicológica do ser humano. Esta reação consiste na interpretação que o sistema sensorial faz dos comprimentos de onda de uma gama limitada do espectro eletromagnético (350 e 750 nm), pois uma variedade de comprimentos de onda diferentes pode refletir-se na mesma cor ao sistema sensorial olho-cérebro [47, 48], como é em casos extremos sentido por indivíduos que apresentam limitações desse órgão sensorial, como os que sofrem de daltonismos.

A cor dos metais, nomeadamente a do ouro, pode ser explicada pela teoria de banda que assume a sobreposição de níveis de energia dos eletrões da banda de valência e da banda de condução propiciando entre outras propriedades a elevada condutividade e as características espectroscópicas. Quando a luz incide sobre a superfície de um metal, os eletrões podem ser excitados para níveis de energia superiores, tal que a energia responsável pela transição é determinada pela diferença das energias dos níveis envolvidos. Havendo combinação de átomos, os níveis de energia fundem-se levando a uma redução da distância entre bandas e menos energia é necessária para excitar o eletrão. Por vezes, as bandas de energia superior e inferior podem ficar sobrepostas formando uma banda contínua de níveis de energia disponíveis, onde os eletrões se podem mover livremente. No ouro, a cor que vemos é amarela devido à absorção intensa de luz de comprimento de onda 400 nm [49].

De uma forma geral, os metais, como o ouro, são brilhantes quando sob a forma de superfícies polidas, uma vez que apresentam um coeficiente de absorção elevado, são capazes de absorver todos os fótons incidentes nas respetivas superfícies. Estes fótons, no entanto, são reemitidos, fazendo com que o metal tenha o característico aspeto refletor. A refletividade do ouro é mais notória para radiações de maior comprimento de onda na gama do visível pelo que a cor refletida por este metal é dominada pelos tons vermelhos e amarelos. Esta propriedade é controlada pela estrutura de banda do metal e pela probabilidade de um fóton ser capaz de excitar um eletrão para níveis de energia mais elevados no sólido, que no caso particular do ouro, a energia exigida para a transição de níveis não é constante [50].

Em sistemas coloidais, a cor pode ser causada pela dispersão de partículas pequenas, pela interferência, difração, refração e absorção. Através do coeficiente de absorção e dos índices de refração medidos no ouro em dimensões macro, Mie calculou a curva de absorção que a dispersão coloidal de ouro deveria exibir. Por experimentação, Mie encontrou um máximo na curva de absorção na gama verde do visível, correspondente ao vermelho rubi transmitido pela dispersão coloidal de ouro [51, 52].

O diâmetro das Au-NPs determina os comprimentos de onda da radiação absorvida resultando nas diferentes cores transmitidas pelas soluções coloidais.



**Fig. 2.19** – Esquema ilustrativo da variação do espectro de absorção e a cor exibida por soluções coloidais contendo partículas de diferentes diâmetros, quando são iluminadas com luz branca.

De acordo com o descrito na literatura [26, 53, 55], o tamanho das nanopartículas e a respetiva distribuição de tamanhos das partículas formadas pode ser influenciado por vários fatores, nomeadamente, por:

- ↳ Taxa de rotação (agitação) da mistura – Altas taxas de rotação conduzem à formação de partículas muito pequenas, mas de larga distribuição de tamanho;
- ↳ Tempo de reação – O aumento do tempo reacional entre os reagentes conduz a uma diminuição do tamanho das nanopartículas;
- ↳ Concentração da solução inicial de sal de ouro – Soluções que apresentam concentrações elevadas de Au (III) levam à formação de agregados e soluções turvas, enquanto que usando baixas concentrações obter-se-á micropartículas de ouro;
- ↳ Concentração da solução de citrato de sódio – Quando a solução de partida apresenta baixos valores de concentração, a reação de síntese não ocorre;
- ↳ Agente redutor – Por exemplo, a redução do ouro por ação do citrato de sódio conduz à formação de nanopartículas de maiores dimensões do que as obtidas usando borohidreto de sódio, devido às diferentes forças de interação destes redutores com os domínios cristalinos da superfície das Au-NPs.

### 2.2.2. Propriedades óticas: dispersão - Efeito de Tyndall

Um outro fenómeno ótico possível de observar nas soluções coloidais e característico destas soluções coloidais é o referido efeito de Tyndall. Quando um feixe de luz atravessa uma solução coloidal, uma porção da luz é dispersa pelas nanopartículas presentes na solução conduzindo a uma divergência do feixe de luz [54].

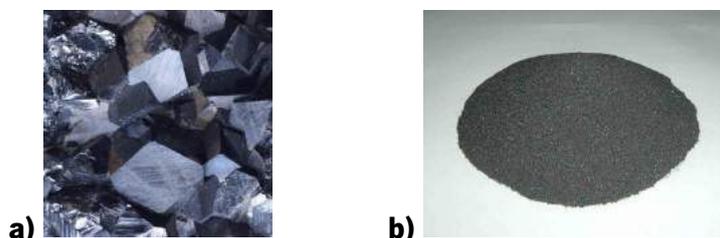
Numa solução coloidal contendo nanopartículas de ouro, esta dispersão de luz é especialmente significativa na ressonância de plasmão de superfície, embora o tamanho das Au-NPs seja muito menor do que o comprimento de onda da luz incidente [54].

É possível observar que o raio do feixe aumenta com o aumento da concentração de Au-Nps, e conseqüentemente a densidade de energia no ponto focal diminui para reduzir a quebra ótica. Contudo, a desfocagem causada pela dispersão de luz não só depende da concentração, mas também do comprimento de onda da luz laser. É de salientar que o comportamento das Au-NPs face à dispersão da luz também depende do seu tamanho e forma, tal como descrito detalhadamente na referência [54].

### 2.3. O óxido de ferro

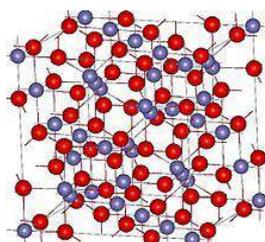
O ferro é o segundo metal mais abundante na crosta terrestre (6,2% em massa), encontrando-se na Natureza sob a forma de vários minérios [23]. De entre estes minérios destaca-se para o atual estudo, a magnetite.

A magnetite é um óxido de ferro, de cor castanha escura, cinza ou preta, formada por iões de  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  de fórmula molecular  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  [56].



**Fig. 2.20** – a) Cristais de magnetite [57]; b) Areia de magnetite [58].

O mineral, de estrutura cristalina cúbica chamada spinel invertida, apresenta um brilho metálico e exibe propriedades magnéticas [59]. Este mineral constitui uma pedra-íman natural, a mais magnética de todos os minerais da Terra [60].



**Fig. 2.21** – Representação da célula unitária de magnetite, sendo que os átomos vermelhos são de oxigénio, os azuis são os de  $\text{Fe}^{3+}$  nos sítios tetraédricos e os verdes os de  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$  nos sítios octaédricos [59, 61].

A magnetite pode ser preparada em laboratório como um ferrofluido através de vários métodos. O método original de produzir ferrofluidos a partir de diferentes estados de oxidação do ferro é atribuído a Papell [62].

O ferrofluido é uma suspensão coloidal estável, composta por cristais nanométricos de magnetite dispersos num líquido aquoso ou orgânico. A diferença de tamanho entre o ferrofluido e a areia de magnetite explica o facto destes não se comportarem de igual modo quando expostos a um campo magnético [56].

Ao contrário do que acontece no material massivo, cristais ou areia de magnetite, em que geralmente se dividem em múltiplos domínios magnéticos de modo a diminuir a energia magnetoestática, as nanopartículas (NPs) menores que um dado diâmetro crítico,  $D_c$ , constituem um único domínio magnético, configuração mais favorável para as NPs [63]. Para os óxidos de ferro ( $Fe_3O_4$ ), os monodomínios<sup>1</sup> são formados em partículas de 5 nm a 20 nm de diâmetro [64]. Assim existe uma forte atração magnetoestática de longo alcance entre partículas individuais, que resultaria na aglomeração das partículas e consequente sedimentação pelo que é necessário incorporar um meio de provocar uma interação repulsiva. Para produzir a desejada repulsão eletrostática, as partículas são cobertas por moléculas de cadeias longas orgânicas de um surfactante ou polímero [56, 59, 65].

O ligante é adicionado durante ou ao final da síntese, e é a repulsão entre as moléculas desse ligante que previne a aglomeração [66]. Assim, são os ligantes que determinam a solubilidade das NPs em meio aquoso ou orgânico, sendo possível substituir o ligante expondo a solução de NPs a um novo ligante em grande excesso [67].

O ligante também influenciará o arranjo bidimensional e o tamanho final das partículas [68]. Quanto maior a razão molar (ligante/metal), mais se direciona o equilíbrio para a espécie ligada, impedindo o crescimento e, como resultado, partículas menores serão obtidas ao se utilizar altas concentrações de ligantes. Do mesmo modo, quanto mais extenso e mais volumoso o ligante, mais difícil será o acesso de monómeros para promover o crescimento.

Além disso, com a diminuição no tamanho das partículas, uma fração cada vez maior dos átomos que as compõem localiza-se em sua superfície, tornando grande a razão área superficial/volume das NPs. Esta característica é vantajosa para gerar NPs funcionais ou para sua utilização no transporte de substâncias [69].

Confirma-se, portanto, que o desempenho destes nanomateriais é dependente dos surfactantes, logo dependem do método de síntese escolhido para sua preparação [70].

Estas características conferem propriedades únicas, nomeadamente, respeitante às propriedades magnéticas o que gerou motivações para investir nas inúmeras aplicações possíveis [71], tanto científicas quanto tecnológicas: armazenamento de dados, imagens por ressonância magnética, catálise, tratamentos médicos como hipertermia, carregamento de drogas, imobilização de enzimas [59].

---

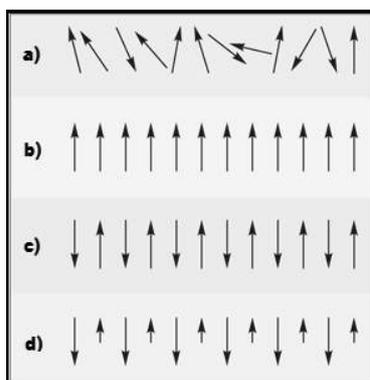
<sup>1</sup> As partículas individuais estão num estado permanente de saturação de magnetização.

Estes ferrofluídos são, assim, foco de interesse devido à formação de monodomínios magnéticos, à existência de grande área superficial em relação ao volume e à possibilidade de recobri-las com diversos tipos de ligantes específicos.

### 2.3.1. Propriedades magnéticas: superparamagnetismo

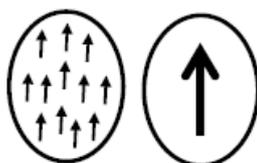
Ao aplicar um campo magnético a um material pode ocorrer uma mudança nos dipolos magnéticos deste, originando uma resposta macroscópica que é a magnetização.

Os materiais podem ser classificados de acordo com a orientação dos respetivos momentos magnéticos em relação ao campo magnético aplicado: diamagnéticos, paramagnéticos, ferromagnéticos, antiferromagnéticos e ferrimagnéticos. Tanto nos materiais paramagnéticos como nos diamagnéticos a variação da magnetização com o campo magnético é linear [59].



**Fig. 2.22** – Representação esquemática dos tipos de magnetismo: a) paramagnetismo; b) ferromagnetismo; c) antiferromagnetismo; d) ferrimagnetismo [72].

O magnetismo de pequenas partículas é descrito pela teoria superparamagnética introduzida em 1959 por Bean e Livingston [73]. Essa teoria considera que as nanopartículas sejam monodomínios e que o seu momento magnético total seja representado por único vetor clássico, descrevendo sistemas reais formados por nanopartículas magnéticas [74].



**Fig. 2.23** – Esquema do acoplamento ferromagnético de spins no interior de uma NP e analogia com um único grande momento magnético total [69].

Nestas pequenas dimensões revela-se importante uma outra característica – a energia de anisotropia, que é a energia que determina a direção preferencial da magnetização da NP, e pode ter origem magnetocristalina [69].

Partículas de magnetite com diâmetro de 10 nm apresenta comportamento superparamagnético à temperatura ambiente [75] mesmo quando dispersas em água.

O ferrofluido é um material singular, que atua como um sólido magnético na presença de um campo magnético e como um líquido não magnético, se não houver um íman por perto [56].

Em materiais ferromagnéticos de dimensões macro, a estrutura de múltiplos domínios e as interações entre eles fazem com que, após a aplicação de um campo magnético, exista um valor não nulo para a magnetização, mesmo após a retirada do campo [69].

## 2.4. Outros nanosistemas

O vasto trabalho na área da nanotecnologia envolve como já referido, o estudo das propriedades da matéria em dimensões nanométricas, o projeto e, a construção de dispositivos na mesma escala. Estes materiais/dispositivos são desenvolvidos para um determinado fim, encontrando-se alguns já em comercialização.

Para além dos nanosistemas referidos anteriormente, Au-Nps e Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-NPs, evidencia-se, de seguida, alguns outros que se têm revelado bastante promissores em diversas áreas.

Na área da construção estão em desenvolvimento nanosistemas, alguns já em comercialização, que permitem criar edifícios com maior sustentabilidade e eficiência energética, acompanhados por uma redução de resíduos e lixos tóxicos [76].

A adição de nanosilica amorfa (nSi amorfa) ao cimento permite melhorar a sua auto compactação tornando-o mais resistente e conseqüentemente mais duradouro. Estas NPs preenchem os nanoporos existentes entre as partículas de cinzas volantes e de cimento [76].

Os nanotubos de carbono (CNTs) podem ser igualmente adicionados ao cimento, com o intuito de aumentar a capacidade de resistência compressiva das estruturas produzidas, torná-las mais leves [76].

Também é possível incorporar NPs em tintas e revestimentos que lhes conferirá uma maior versatilidade de aplicação. A adição de NPs super-hidrofilicas de TiO<sub>2</sub> confere propriedades de auto-limpeza às superfícies revestidas, devido às características fotocatalíticas destas NPs [76].

Os nanoaditivos, como silica amorfa, silicatos de cálcio e de sódio ou óxido de cério permitem manter a flexibilidade, durabilidade, eficiência e aderência nas superfícies revestidas, conduzindo assim a uma

diminuição do consumo de recursos energéticos utilizados para a manutenção de superfícies dos edifícios e consequentemente uma diminuição de emissões de dióxido de carbono [76].

É igualmente possível usar filmes de nanocompósitos com espessuras reduzidas que por apresentarem uma rede sólida tridimensional complexa, e por terem associados valores de condutividade térmica extremamente baixos, dificultam a condução térmica ao longo de uma parede ou telhado, melhorando o isolamento térmico do edifício [76].

Os aerogéis, materiais nanoestruturados, podem ser compostos de uma grande variedade de bases químicas (sílica, óxido de alumínio, óxidos de metais de transição e lantanídeos, polímeros orgânicos e inorgânicos,...) e permitem potenciar as características de isolamento térmico do produto final, complementando uma área de isolamento a nível radiativo e condutivo [76].

**Tab. 2.3** – Alguns exemplos de materiais já comercializados na área da construção. Tabela adaptada de [76].

Material	Funcionalidade	Substrato	Aplicação	Produto Comercial	Empresa
Nano-TiO <sub>2</sub>	anti-poluente	cimento	Proteção de agentes ambientais nocivos como os COVs	TioCem TX Active	Heidelberg Cement
Nano-TiO <sub>2</sub>	anti-embaciante	vidro	Revestimento para vidros e espelhos	G-40 Nano 200	AVM Industries
Nano-TiO <sub>2</sub>	isolamento térmico	diversos	Revestimento isolante com porosidade à nanoescala	NanoPore™	Nanopore Incorporated
nSi amorfa	resistência mecânica	cimento	Adição ao preparado do cimento para aumento da compressividade da estrutura	Chronlia™	Lafarge
nSi amorfa	fotovoltaico	vidro	Tecnologia Double Layer. Vidro opaco e escuro.	Painéis amorfos Double Layer – série M	ENP
CNBs	isolamento térmico	cimento	Tinta com CNBs, barreira térmica refletora.	Thermalinsulating Paint Additive	Thermilate Technologies
aerogel	isolamento térmico	policarbonato	Multicamadas com aerogel que permitem um conforto térmico no interior altamente eficiente.	Nanogel	CABOT

Os cristais fotónicos, usados na fabricação de fibras ou *microchips* capazes de transmitir grandes capacidades de dados e, em estudo, na produção de lentes ou tintas que alteram a coloração, são estruturas tridimensionais periódicas, normalmente de materiais cerâmicos, dispostos de forma a configurar uma malha nanométrica com cavidades definidas à semelhança de uma colmeia. A malha pode ser intercalada com meios de diferentes índices de refração, resultando em um sistema com a capacidade de atuar sobre os

fotões incidentes, confinando ou limitando a propagação da luz nos diversos meios. Na natureza as opalas apresentam estas configurações [77].



**Fig. 2.24** – Opala, a pedra arco-íris [78].

Os compostos à base de NPs de óxido de zinco (ZnO) e de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) são utilizados em cosméticos como filtros UV. Em contrapartida, para a administração de ingredientes ativos, é incorporado nos cosméticos lipossomas e niossomas, nanopartículas sólidas lipídicas e veículos lipídicos nanoestruturados (que têm vindo a demonstrar serem mais eficazes que os lipossomas), dendrímeros, nanocristais e nanoemulsões [7].

Têm sido estudados NPs de óxido de ferro revestidas com dextrano e dendrímeros nanoparticulados de gadolínio para aplicação em técnicas de imagiologia, com o objetivo de detetar micro-metástases em pacientes com cancro [7].

Também em investigação estão os nanotubos subcutâneos utilizados na gestão da reprodução animal; nanoarames conectados com recetores de anticorpos para a deteção no sangue de marcadores genéticos do cancro; e, *arrays* baseados em silício possuindo transístores com nanoarames para a deteção simultânea de vários tipos de vírus [7].

## **2.5. Implicações éticas e ambientais da nanociência e nanotecnologia**

Toda a inovação científica e tecnológica envolve aspetos éticos, principalmente quanto à sua utilização e consequências para a sociedade.

Como em qualquer novo ramo do conhecimento e tecnologia, a nanociência e a nanotecnologia acarretam um impacto no meio ambiente quando manipuladas sem políticas públicas de gestão ou gerenciamento adequado, gestão esta que é inevitável na tentativa de minimização de riscos para prevenir incidentes nocivos na saúde e no meio ambiente.

Esta evolução científica e tecnológica implica uma reeducação continuada, maior consciência e humanismo levando a debates a nível internacional.

Os próximos cinquenta anos serão decisivos para o futuro da humanidade, diante da previsão de esgotamento dos recursos naturais não-renováveis e da expansão populacional, com a busca crescente por alimento, água e energia.

A nanotecnologia lida diretamente com a questão da redução de escala material e energética; maior eficiência e seletividade nos processos; uso de materiais mais inteligentes; e, até o desenvolvimento de dispositivos analíticos para monitoração em tempo real. Como exemplo pode-se referir o desenvolvimento de nanocatalisadores utilizados na produção de fertilizantes mais baratos, aumentando a oferta de alimentos; empreganação de nanopartículas de dióxido de titânio ativadas por luz em processos de descontaminação de águas contribuindo para o reaproveitamento de águas industriais; os avanços nos dispositivos moleculares fotossintéticos, importantes na área de conversão de energia; células de combustível, que por alternativa aos motores de combustão, são menos poluentes, menos barulhentos e de maior eficiência.

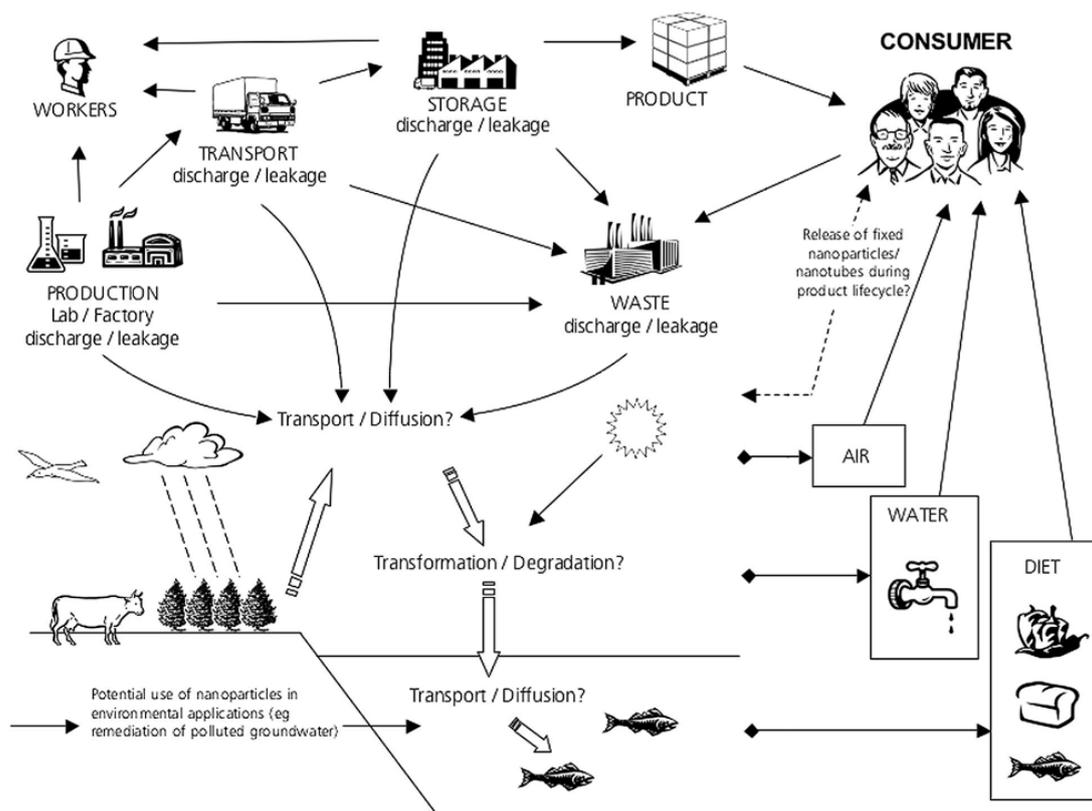
Também a medicina poderá concretizar-se em novos patamares por meio dos avanços da nanotecnologia, com um papel importante na longevidade e na qualidade de vida do homem; o emprego de nanopartículas como antioxidantes, de sistemas “inteligentes” para a absorção de ingredientes funcionais; e de embalagens contendo nanossensores para deteção de microrganismos e/ou toxinas.

A par destas promissoras aplicações, a diminuta dimensão das nanopartículas e as mesmas esperanças características físico-químicas facilitam a sua difusão e transporte na atmosfera, água e solo, dificultando a remoção por processos normais de filtração. Além disso, existe a possibilidade da penetrabilidade em tecidos e órgãos internos dos seres vivos, propiciando alta toxicidade, podendo acarretar, por conseguinte, mutações genéticas. Também os critérios utilizados para saber a toxicidade das substâncias na escala macro não trazem certezas quando confrontados com a nanotecnologia.

Um outro risco reside em novas armas que poderão ser criadas com base nas propriedades especiais dos nanossistemas, por exemplo, materiais capazes de escapar à deteção dos radares, produtos dotados de capacidade de reconhecimento molecular para atuar em alvos biológicos específicos, e até novos dispositivos de destruição ou defesa, baseados em alta tecnologia.

Os estudos sobre os problemas éticos, ambientais e na saúde inerentes à nanociência e à nanotecnologia devem ser minuciosos, requerendo o desenvolvimento de metodologias de controle de possíveis contaminações no ambiente e impactos na saúde.

Apesar de atualmente, não existir legislação em Portugal que regule o “uso” de nanomateriais, foram emitidas Recomendações e um Código de Conduta para uma investigação responsável em nanociências e nanotecnologia, em 7 de Fevereiro de 2008, em Bruxelas [79].



**Fig. 2.25** – Nanociência e nanotecnologia: oportunidades e incertezas [95].

A adoção voluntária deste código por parte das empresas/centros de investigação em nanociência e nanotecnologia é incutida pelos Estados Membros de modo a gerar um desenvolvimento da ciência promovendo um ambiente de investigação seguro, ético e eficiente.

Dos vários princípios em que se baseia o Código de Conduta, salienta-se a precaução – desenvolver estudos antecipando possíveis impactos ambientais, na saúde e na segurança – e a responsabilidade – os investigadores/centros de investigação devem ser responsáveis pelos impactos sociais, ambientais e na saúde que o seu estudo pode provocar na sociedade. Os Estados Membros devem aplicar o princípio de precaução de forma a proteger quer os investigadores como os cidadãos e o ambiente.

Um ano depois, o Comité Económico e Social Europeu (CESE) considerou que o desenvolvimento acelerado das aplicações industriais e multisectoriais das nanotecnologias deve ser responsável em estreito paralelismo com os apelos jurídicos, éticos, ambientais, relativos à saúde e à segurança. Segundo o CESE, é importante desenvolver perspetivas de antecipação em matéria de avaliação dos riscos nanotecnológicos, bem como um quadro regulamentar de referência integrado e um sistema de governação ao nível internacional [80].

Atualmente, já é grande o número de atividades realizado com vista os impactos da nanotecnologia sobre a saúde humana e o meio ambiente.

### 3. Atividades Experimentais

Neste capítulo são apresentadas as distintas metodologias usadas no processo de síntese de nanopartículas de ouro, na obtenção de filmes finos de ouro e da síntese de ferrofluidos. Os resultados deste trabalho de investigação são, também, apresentados e discutidos nesta secção.

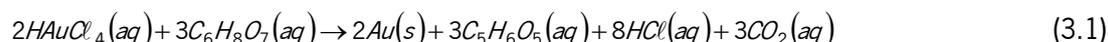
#### 3.1. Síntese e caracterização das propriedades óticas de soluções coloidais contendo nanopartículas de ouro

##### 3.1.1. Procedimento de síntese

A síntese de nanopartículas de ouro realizou-se através da reprodução em laboratório do método proposto por Turkevich [11, 26] em 1951. Em 1973 Frens [26] referiu ser possível controlar o tamanho médio das nanopartículas tendo em conta a razão  $\frac{[AuCl_4]^-}{\text{citrato}}$ .

Este método consiste na redução, em meio aquoso, dos iões Au (III) a Au, sob a forma de nanoesferas, pelos iões citrato que promovem, igualmente, a estabilização da solução coloidal. É um método simples e rápido que evita a agregação das nanopartículas devido à repulsão eletrostática proporcionada pela alta densidade de carga negativa dos grupos carboxilato adsorvidos à superfície das nanopartículas [26]. A estabilidade das dispersões coloidais é assim atribuída ao efeito conjunto de interações de Van der Waals e interações eletrostáticas [18].

A reação de oxidação-redução encontra-se esquematizada, a seguir:



Da reação de redução do sal de ouro ( $HAuCl_4 \cdot 3H_2O$ ) com o ácido cítrico<sup>2</sup> verifica-se a formação do ácido 3-oxopentano-dióico ( $C_5H_6O_5$ ) que se adsove à superfície das Au-NPs formadas contribuindo para modificar a respetiva superfície e impedir a sua agregação [53].

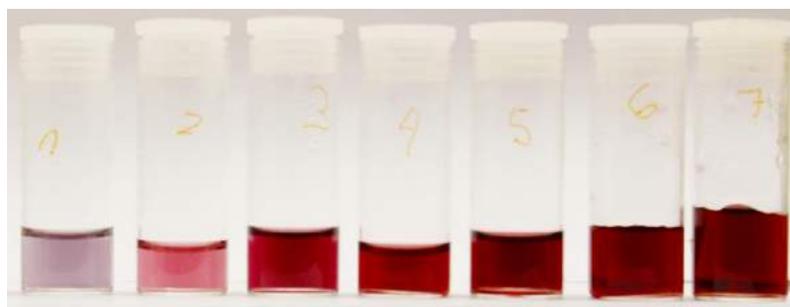
Não obstante o citrato de sódio ser o agente redutor mais comum utilizado na síntese de nanopartículas metálicas poder-se-á utilizar igualmente o borohidreto de sódio ou álcoois e açúcares redutores [26].

<sup>2</sup> O citrato de sódio, após a hidrólise na água, transforma-se em ácido cítrico, sendo os iões citrato os responsáveis pela redução do ouro [53].

Na atividade<sup>3</sup> em estudo, aqueceu-se 20 cm<sup>3</sup> de solução aquosa diluída (0,02%, equivalente a 5,14x10<sup>-4</sup> mol/dm<sup>3</sup>) de ácido cloráurico (III) tri-hidratado (HAuCl<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O), num erlenmeyer de 150 cm<sup>3</sup>, até à ebulição, a uma temperatura compreendida entre os 150 °C e os 180 °C (controlada com um sensor de temperatura), sob agitação média/baixa (400 rpm). No momento em que a solução entra em ebulição, adicionou-se 2 cm<sup>3</sup> de solução aquosa de citrato de sódio, 3,87x10<sup>-2</sup> mol/dm<sup>3</sup>, e diminui-se a temperatura, na placa de aquecimento, para 100 °C [11].

Seguindo este procedimento observou-se que a solução coloidal antes de apresentar uma coloração vermelha transitava entre diferentes colorações como o cinza e o violeta.

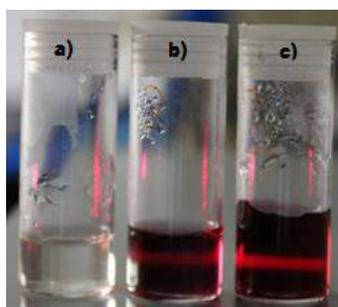
Com o intuito de averiguar as propriedades óticas das nanopartículas formadas em tempos de reação distintos, recolheram-se amostras da solução coloidal nos vários momentos.



**Fig. 3.26** – Da esquerda para a direita apresentam-se as soluções coloidais recolhidas por ordem crescente de tempo de reação, com um intervalo de tempo entre cada amostra de 20 s.

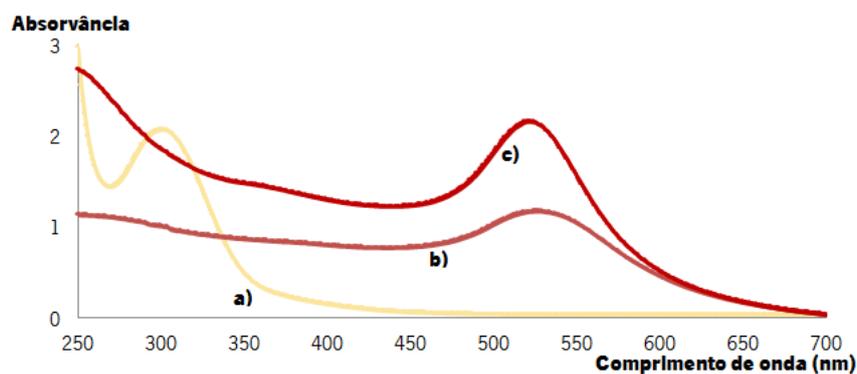
### 3.1.2. Observação e interpretação do efeito de Tyndall

Após a síntese das nanopartículas de ouro, é realizado um primeiro teste, por difusão de um feixe de laser - efeito Tyndall, com o tamanho das nanopartículas formadas, destacando a natureza da solução coloidal obtida.



**Fig. 3.27** – Observação do Efeito de Tyndall nas amostras coloidais (b e c) mas não na solução diluída de ácido cloráurico (a).

<sup>3</sup> No anexo 1 encontram-se descritos todo o material, reagentes e equipamentos utilizados para concretização da síntese de nanopartículas de ouro e visualização do efeito de Tyndall.

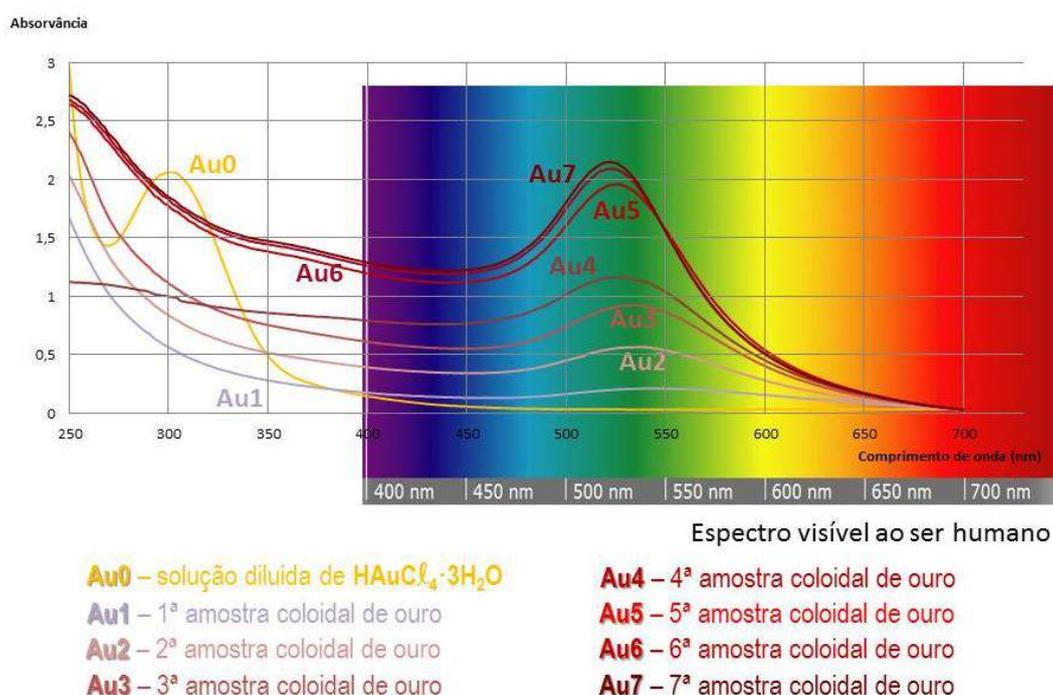


**Fig. 3.28** – Espectros de absorção na região UV-Vis para as amostras referidas na fig.3.2.

Pela observação do efeito de Tyndall nas amostras conclui-se que o feixe de luz tornou-se mais evidente nas últimas soluções coloidais recolhidas. De acordo com a literatura, podemos inferir que este facto deve-se a um aumento da concentração de Au-NPs na solução [54].

### 3.1.3. Observação dos espectros de absorção por espectroscopia de UV-Vis

A relação entre o tamanho das nanopartículas de ouro formadas e a cor por elas exibidas, foi observada por espectroscopia de UV-Vis. A figura 3.4 revela os espectros de UV-Vis das várias amostras de solução coloidal recolhidas.



**Fig. 3.29** – Espectros de absorvância obtidas na gama do UV-Vis para as diferentes amostras preparadas.

A banda de absorção próxima dos 520 nm no espectro eletrónico confirma a formação de nanopartículas esféricas de ouro [81, 82].

As várias amostras de solução coloidal foram recolhidas em tempos de reação diferentes, sendo a primeira amostra recolhida (amostra Au1) ao menor tempo de reação. Observando os espectros UV-Vis, verifica-se um ligeiro deslocamento da banda de ressonância plasmónica para menores comprimentos de onda com o aumento do tempo reacional, o que segundo a teoria de Mie [27], comprova a diminuição do tamanho das nanopartículas. Com o aumento do tempo reacional, ocorre uma maior aglomeração de citrato em torno das nanopartículas formadas levando à sua diminuição de tamanho.

Segundo Haiss [90], o diâmetro das nanopartículas pode ser auferido de acordo com a equação:

$$d = \frac{\ln\left(\frac{\lambda_{spr} - \lambda_0}{L_1}\right)}{L_2} \quad (3.2)$$

Para nanopartículas cujos diâmetros não são muito pequenas, foram determinados teoricamente valores para  $\lambda_0 = 512$  nm;  $L_1 = 6,53$ ;  $L_2 = 0,0216$  [90].

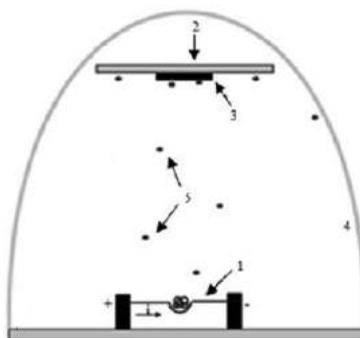
Na tabela 3.1 são apresentados os valores dos diâmetros estimados para as amostras obtidas:

**Tab. 3.4** – Valores estimados para os diâmetros das nanopartículas presentes em cada amostra.

<b>Amostra</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>6</sub></b>	<b>A<sub>7</sub></b>
<b><math>\lambda_{spr}</math> (nm)</b>	541	537	533	528	526	523	522
<b><math>d_{estimado}</math> (nm)</b>	69,02	62,15	54,08	41,49	35,31	24,14	19,73

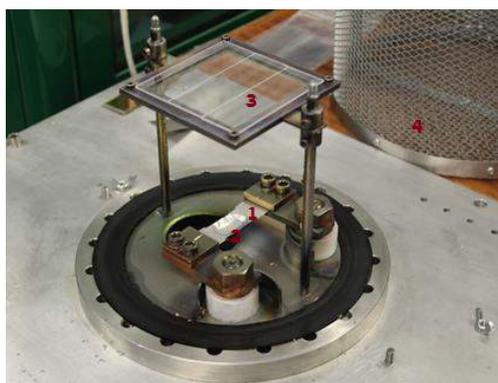
### 3.2. Tecnologia usada para a produção de filmes finos de ouro sobre um substrato de vidro e caracterização das suas propriedades óticas

A produção de filmes finos fez-se por evaporação térmica resistiva, em que uma quantidade de corrente é fornecida a uma barquinha que contém o material que, num ambiente de alto vácuo, é aquecido por efeito de Joule. O material evapora-se e deposita-se nos substratos e nas paredes da câmara de processo [37-39].



**Fig. 3.30** – Esquema da câmara de deposição: 1 – Barquinha com o fio do material; 2 – substrato; 3 – deposição do material; 4 – campânula de vidro; 5 – partículas vaporizadas. Imagem adaptada de [83].

<sup>4</sup>Registaram-se diferentes quantidades de Au (99,99% puro): 1,051 mg; 4,683 mg; 14,180 mg; 18,976 mg e 111,617 mg. Cada amostra de Au a ser evaporada foi colocada numa barquinha de tungsténio e sujeita a uma temperatura na qual a sua pressão de vapor<sup>5</sup> era aproximadamente de  $1,20 \times 10^{-6}$  mbar, de forma que ao evaporar este se difunda em todas as direções, depositando-se no substrato. Esta temperatura de evaporação é reduzida (aproximadamente 950 °C) pelo facto do sistema estar a uma pressão muito menor do que a atmosférica ( $1 \text{ atm} \approx 1013 \text{ mbar}$ ), pois a pressão de vapor do Au decresce com a diminuição da pressão a que está sujeito ( $10^{-4} \text{ mbar} = 1132 \text{ °C}$ ;  $10^{-6} \text{ mbar} = 947 \text{ °C}$ ;  $10^{-8} \text{ mbar} = 807 \text{ °C}$ ). Como a energia cinética aumenta com a temperatura, a evaporação ocorre com a perda de energia interna do material, sendo suprida continuamente pelo sistema de deposição. Ao encontrar a superfície do substrato, a uma menor temperatura, as partículas condensam e formam<sup>6</sup> o filme. Ao sistema foi aplicado uma corrente elétrica de [220; 230] A e 1,5 V [37, 84].



**Fig. 3.31** – Imagem da câmara de deposição: 1 – Barquinha de tungsténio (W); 2 – grânulo de ouro (Au); 3 – substrato de vidro; 4 – proteção de inox.

<sup>4</sup> No anexo 2 encontram-se descritos todo o material, reagentes e equipamentos utilizados para concretização do processo de formação de filmes finos.

<sup>5</sup> A pressão exercida pelo vapor de uma substância líquida, em equilíbrio com essa mesma fase, a uma dada temperatura, chama-se pressão de vapor [39].

<sup>6</sup> É necessário um valor considerável no coeficiente de adesão (taxa de adsorção das partículas com o substrato) [84].

É importante realçar alguns aspetos sobre a metodologia adotada:

- Como substratos utilizaram-se lâminas de vidro de sílica, tamanho 76x26x1 mm. Estas foram limpas individualmente com álcool etílico (96% V/V). A razão principal de se utilizar os substratos de vidro reside no fato de se prestarem melhor para as medidas óticas, especialmente as medidas por transmissão, uma vez que o vidro de sílica tem excelente transparência na faixa do ultravioleta [37]. Para uma melhor limpeza, mas não justificável no estudo em causa, poder-se-ia ter utilizado acetona ou ultrassons.
- Para evitar a deposição de Au na campânula de vidro, tendo em conta que a evaporação se dá em todas as direções, utilizou-se uma proteção de inox.
- A bomba de vácuo secundária produz uma pressão na ordem de grandeza dos  $10^{-6}$  mbar, impedindo que as moléculas do ar, em particular o oxigénio, regressem à campânula, garantindo a pureza do material depositado.
- O substrato deve estar diretamente exposto sobre o material a evaporar de modo a diminuir variações significativas na espessura do filme obtido.
- Os metais evaporam, essencialmente, como átomos e ocasionalmente como *clusters* [39].
- As barquinhas devem ser de tungsténio ou molibdénio para evitar contaminação da amostra uma vez que apresentam uma pressão de vapor desprezável [39].
- No caso particular do Au não é necessário pressões muito baixas, pois este é um metal pouco reativo, em particular com o oxigénio.
- Antes de abrir a campânula deve-se esperar cerca de 10 minutos para garantir o arrefecimento de todo o material.
- Recolhidos os substratos com o filme depositado, colou-se sobre o filme uma outra lamela para evitar que o filme se desgaste pois a aderência é fraca.

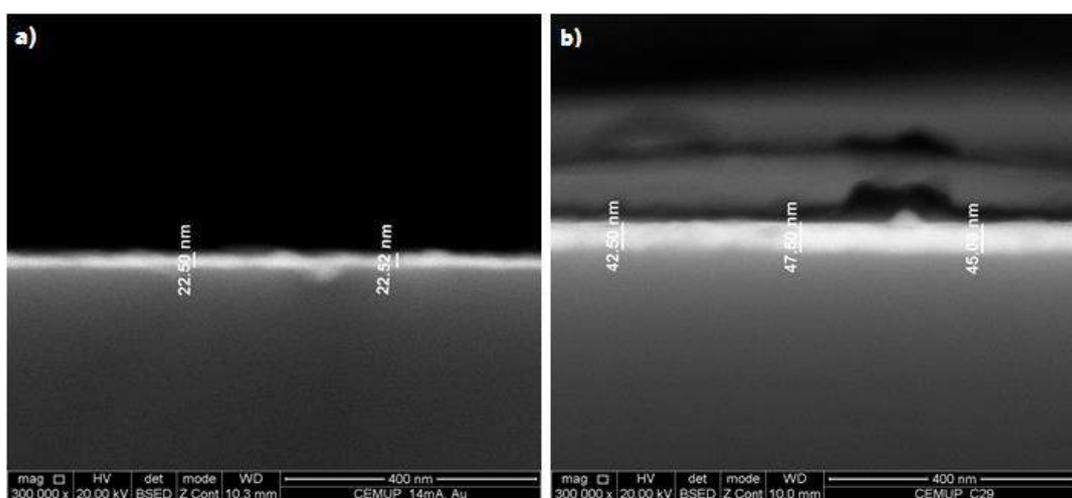


**Fig. 3.32** – Filmes finos das amostras de Au de 1,051 mg; 4,683 mg; 14,180 mg; 18,976 mg e 111,617 mg, respetivamente.

A evaporação térmica resistiva apresenta algumas restrições, em particular a incapacidade de controlar com precisão a espessura do filme [37, 38, 84], quando se pretendem filmes mais finos. Esta situação pode

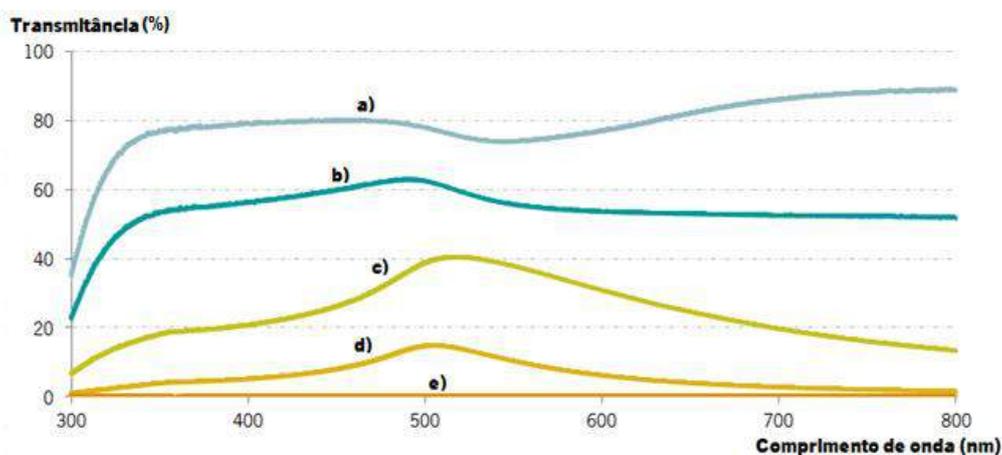
ser minorada colocando no interior da câmara um medidor de espessuras que nos dá uma medida em tempo real da espessura do filme.

A medição da espessura dos filmes foi feita com um microscópio eletrónico de varrimento através do corte das lâminas centrais que, por se encontrarem mais diretamente sobre o material a evaporar, espera-se apresentar uma espessura mais constante. Contudo, devido à reduzida espessura apresentada pelos filmes, só foi possível obter medições relativamente aos dois últimos filmes produzidos, o de 18,976 g e o de 111,617 g.

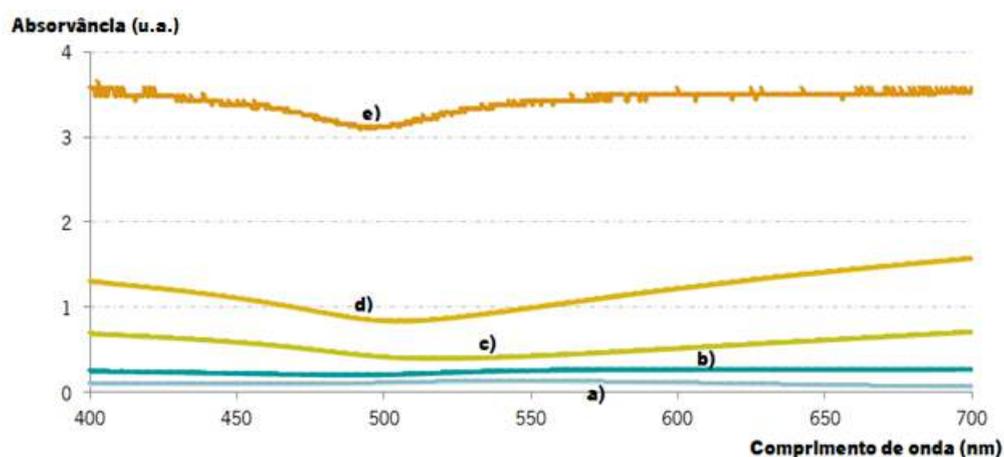


**Fig. 3.33** – Medição da espessuras dos filmes a) de 18,976 g e b) de 111,617 g. Imagem obtida no microscópio eletrónico de varrimento SEM JSM 35C/Noran Voyager do CEMUP.

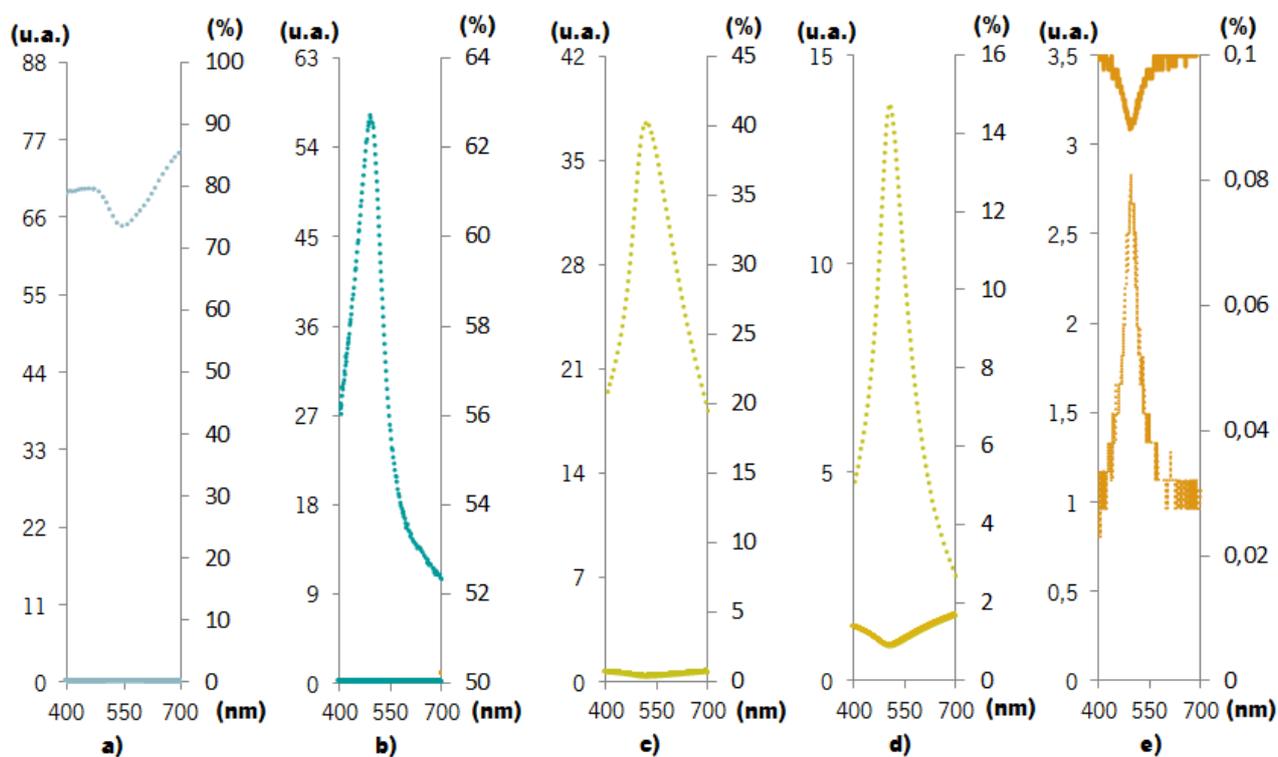
Para tentar quantificar a absorvância e respetiva transmitância das amostras onde estão depositadas apenas Au-NPs nos filmes, foram realizadas medidas de espectroscopia UV-Vis. Com a percentagem de luz absorvida pelas Au-NPs pode-se estimar uma quantificação das Au-NPs presentes nos filmes [36].



**Fig. 3.34** – Espectros de transmitância na região UV-Vis para as amostras de filmes finos: a) 1,051 mg, b) 4,683 mg, c) 14,180 mg, d) 18,976 mg, e) 111,617 mg.



**Fig. 3.35** – Espectros de absorvância na região UV-Vis para as amostras de filmes finos: a) 1,051 mg, b) 4,683 mg, c) 14,180 mg, d) 18,976 mg, e) 111,617 mg.



**Fig. 3.36** – Espectros de absorvância (linha em cheio) e de transmitância (linha em tracejado) na região UV-Vis, em função do comprimento de onda (nm), para cada uma das amostras de filmes finos a) 1,051 mg, b) 4,683 mg, c) 14,180 mg, d) 18,976 mg, e) 111,617 mg.

A cor dos filmes finos depende do processo usado para a deposição do ouro [89].

Através dos gráficos de absorção é possível observar uma banda de absorção devido à ressonância de superfície de plasmão. Essa banda torna-se mais evidente para partículas maiores [89].

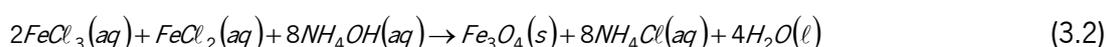
Na análise do espectro e) da figura 3.11 verifica-se uma diminuição da banda de absorção que se deverá, provavelmente, à elevada refletância apresentada por esta amostra.

### 3.3. Preparação de materiais ferrofluídos baseados em óxido de ferro (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)

#### 3.3.1. Procedimento preparativo

Nesta atividade, sintetizou-se um fluído baseado em óxido de ferro (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), que exhibe ferromagnetismo. Para tal, sintetizou-se nanopartículas magnéticas a partir de cloretos de ferro (II) e (III), dispersando-as num surfactante, o hidróxido de tetrametilamónio, para formar uma solução coloidal. Após a obtenção das nanopartículas, estudou-se o comportamento deste ferrofluído na presença de um campo magnético externo [85].

A reação que traduz a síntese das partículas de fluído pode ser descrita por:

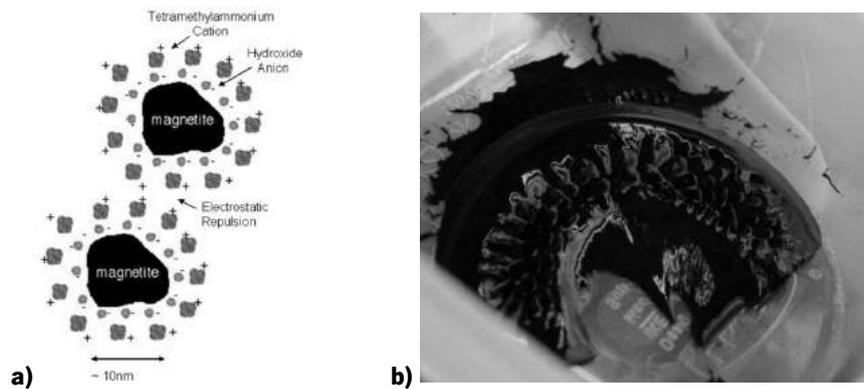


Assim<sup>7</sup>, a 8 ml de cloreto de ferro (III) hexahidratado (FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O) de concentração 1 mol/dm<sup>3</sup> contidos num erlenmeyer de 250 cm<sup>3</sup>, adicionou-se 2 cm<sup>3</sup> de cloreto de ferro (II) (FeCl<sub>2</sub>) de concentração 2 mol/dm<sup>3</sup> sob agitação lenta. Logo de seguida, adicionou-se muito lentamente, gota a gota, 100 cm<sup>3</sup> de amónia de concentração 0,5 mol/dm<sup>3</sup>. Finda a adição do amoníaco, interrompeu-se a agitação, colocou-se o erlenmeyer sobre um íman e decantou-se a solução aquosa sobrenadante. Transferiu-se a solução coloidal de cor preta para uma barquinha de plástico com o auxílio de uma pequena quantidade de água adicionada. Tendo a barquinha sobre o íman, desprezou-se a água em excesso e adicionou-se, mais uma a duas vezes, pequenas porções de água à solução coloidal para se proceder à sua lavagem. Após retirar o máximo de água possível, até formar um fluído viscoso, adicionou-se 2 cm<sup>3</sup> de hidróxido de tetrametilamónio ((CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>NH<sub>2</sub>OH) a 25%, agitou-se a barquinha durante dois minutos e removeu-se o líquido preto em excesso.

Como agente estabilizador utilizou-se, nesta síntese, um agente surfactante que é composto por duas espécies carregadas, (CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>N<sup>+</sup> e HO<sup>-</sup>. Os aniões hidróxido aderem à superfície das partículas magnetite, e essas cargas negativas atraem os cations formando um escudo exterior positivamente carregada [85].

A repulsão eletrostática entre as cargas positivas impedem as nanopartículas ferromagnéticas de se aglomerarem devido às forças de Van der Waals conferindo ao material a características de um material fluídico, de elevada viscosidade que é designado por ferrofluído [85].

<sup>7</sup> No anexo 3 encontram-se descritos todo o material, reagentes e equipamentos utilizados para concretização da síntese de nanopartículas de óxido de ferro.



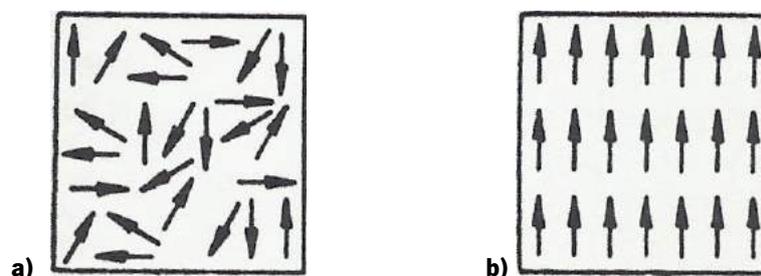
**Fig. 3.37** – a) Representação esquemática do comportamento do surfactante [85]; b) Imagem dos *spikes* exibidos pelo ferrofluido na presença de um campo magnético exterior.

Realça-se a importância, na síntese destas nanopartículas, a adição lenta de amoníaco de modo a assegurar a formação das partíulas a nanoescala. As nanopartículas formadas permanecem em suspensão coloidal se o seu diâmetro não exceder a ordem dos 10 nm. Se a adição de solução de amónia for demasiado rápida, serão formadas partículas maiores impossibilitando a formação do ferrofluido [85].

É igualmente importante decantar o líquido em excesso para que o ferrofluido adquira a viscosidade adequada e forme picos (*spikes*) notórios em resposta a um campo magnético próximo.

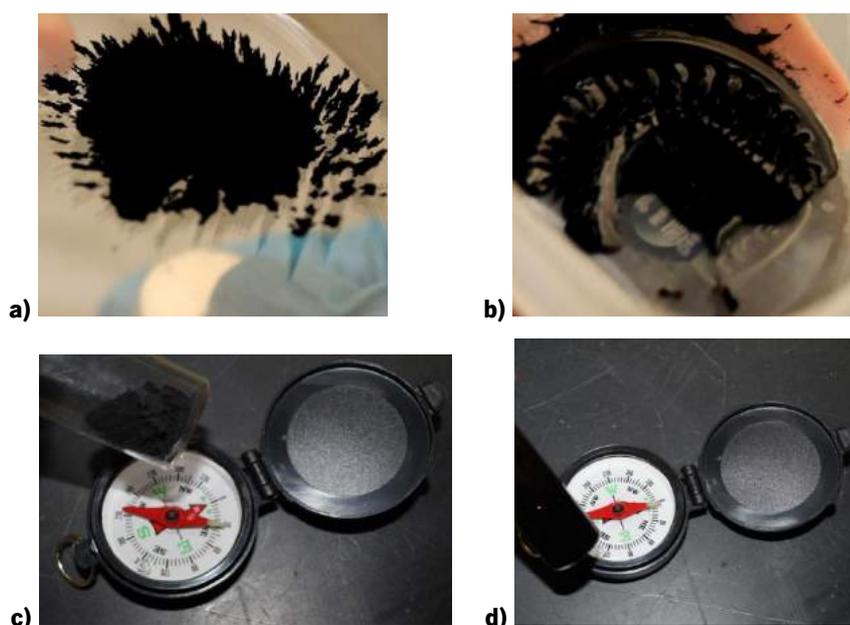
### 3.3.2. Observação das características físicas e magnéticas do ferrofluido preparado

Os materiais ferromagnéticos respondem a campos magnéticos externos alinhando o spin dos eletrões desemparelhados com os campos vectoriais. Quando um íman está afastado da solução, nenhum campo vectorial externo interage com o ferrofluido, e a solução comporta-se como um líquido preto. Ao aproximar um íman da solução, a intensidade do campo magnético é suficiente para dominar as forças de tensão superficial e gravidade e o ferrofluido forma picos na direção das linhas de campo magnético. Quanto mais forte as linhas de campo, maiores e mais visíveis são os picos formados [85].



**Fig. 3.38** – Representações esquemáticas do comportamento de spin do ferro: a) na ausência de um campo magnético – paramagnetismo; b) na presença de um campo magnético - ferromagnetismo [86].

Para verificar as propriedades ferromagnéticas do ferrofluido, sujeitou-se este a alguns testes e comparou-se o respetivo comportamento com o exibido pelas partículas de óxido de ferro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) com dimensões macroscópicas utilizando-se para esta comparação o que se designa por – areia de magnetite, tendo disso para o efeito sido adquirido este material (Sigma-Aldrich, ref. 310069). Os testes realizados consistiram na aproximação de um íman, provocando a alteração do campo magnético em redor das amostras em estudo, e na aproximação de uma bússola com a observação do comportamento da mesma nas imediações das amostras em estudo.



**Fig. 3.39** – a) areia de magnetite na presença de um campo magnético provocado por um íman; b) ferrofluido na presença de um campo magnético provocado por um íman; c) bússola na presença da areia de magnetite; d) bússola na presença do ferrofluido.

Apesar do ferrofluido e a areia de magnetite serem constituídos exatamente pelo mesmo material: óxido de ferro,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , o seu comportamento não é idêntico para todas as situações analisadas.

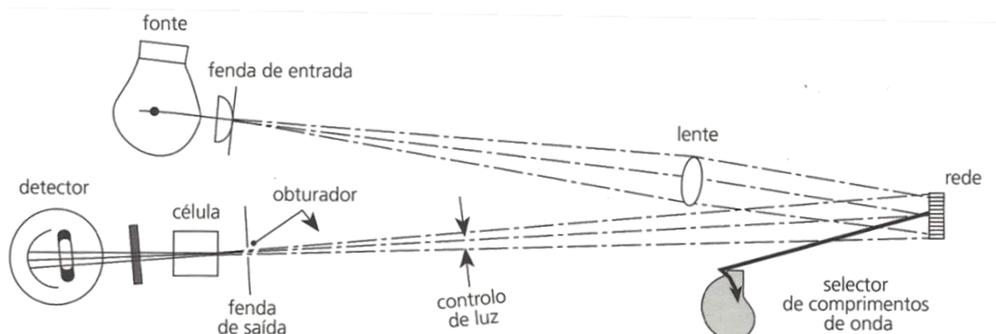
O ferrofluido, composto por cristais nanométricos de magnetite, atua como um sólido magnético na presença de um campo magnético externo orientando-se sob as linhas de campo, tal como acontece com a areia de magnetite, grãos macroscópicos deste material [56].

Porém, enquanto a areia de magnetite conserva as suas propriedades magnéticas, mesmo depois de se afastar o íman, conforme ilustrado com a bússola, o ferrofluido passa a comportar-se como um líquido não magnético [56].

### 3.4. Instrumentação

#### 3.4.1. Espectroscopia Ultra-Violeta/Visível

Os espectrofotômetros são aparelhos que medem a luz transmitida, contudo estão, por norma, calibrados em valores de absorvância. As células usadas nas determinações podem afetar o resultado, pelo que foi necessário proceder à sua adequada seleção e limpeza.



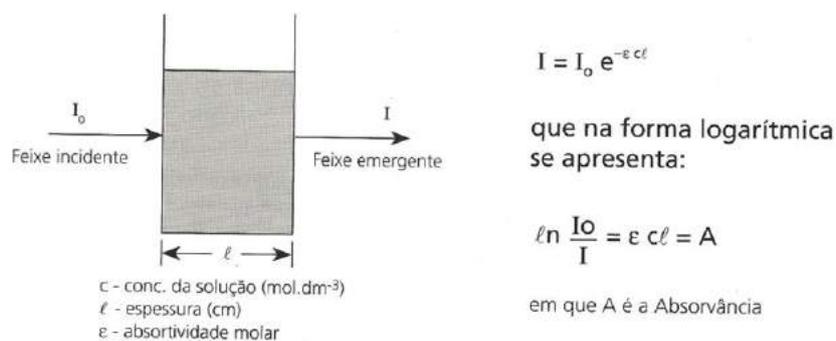
**Fig. 3.40** – Esquema de funcionamento de um espectrofotômetro UV-Vis [45].

Utilizaram-se, em todas as medições, células de vidro e como referência, o solvente, água ultrapura. A seleção de células de vidro justifica-se com a absorção na região do visível ser possível empregarem-se estas células ou de plástico. Para evitar eventuais dedadas exteriores ou vestígios de análises anteriores, lavou-se as células utilizadas nas medições, fazendo-as passar por várias porções de água ultrapura e por uma pequena porção de acetona a fim de obter uma rápida secagem.



**Fig. 3.41** – Espectrofotômetro UV-Vis.

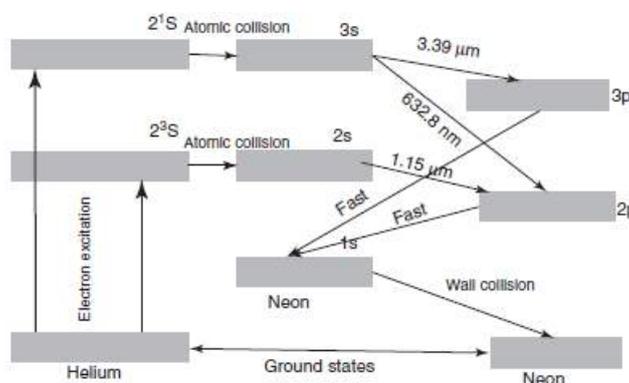
Como o substrato de vidro usado na preparação dos filmes finos de ouro absorve determinados comprimentos de onda da radiação, para desprezar as contribuições do substrato de vidro, utilizou-se este material como referência de leitura.



**Fig. 3.42** – Ao incidir um feixe de radiação paralela e monocromática, de intensidade  $I_0$ , perpendicularmente à amostra em estudo, ao atravessar a espessura da amostra, a intensidade da radiação é reduzida para um valor  $I$  devido à absorção [45].

### 3.4.2. Laser He-Ne

Os gases He e Ne, numa proporção de 10:1 preenchem um tubo estreito sob pressão de 10 torr. Os níveis de energia do átomo do Ne são envolvidos diretamente nas transições do laser, e átomos de Ne fornecem um mecanismo eficiente da excitação aos átomos do Ne [87]. O diagrama dos níveis de energia do laser He-Ne é representado na figura 3.18.



**Fig. 3.43** – Diagrama dos níveis de energia para o sistema laser He-Ne [87].

### 3.4.3. Evaporador Térmico Resistivo

Este sistema não é um modelo comercial, tendo sido os componentes no interior da câmara de vácuo desenhados pelo Eng. José Santos e construídos na oficina da Universidade do Minho. É composto por uma câmara de vácuo em pyrex (campânula); uma bomba primária, Pascal 2005SD; uma bomba difusora, Ilmvac PDM63; um medidor de vácuo, Balzers TPG300 com Pirani e Penning; e uma fonte de alimentação DC, Delta 3KVA. O sistema em questão permite atingir um vácuo na ordem de  $10^{-6}$  Pa.



**Fig. 3.44** – Evaporador térmico resistivo.

#### **3.4.4. Microscópio eletrónico de varrimento (MEV/SEM)**

Este equipamento permite observar a microestrutura de uma amostra por varrimento da mesma com um feixe de eletrões de elevada energia [41]. Foram utilizadas energias para o feixe com uma tensão de 20kV, com o intuito de obter uma melhor relação entre a qualidade da informação obtida e a profundidade de análise mais conveniente.

As amostras tiveram que ser cortadas de modo a terem dimensões compatíveis com as da câmara do microscópio. Não foi necessário revestir as amostras por deposição de uma camada condutora, uma vez que as amostras utilizadas, por serem de ouro, já apresentam boa condutividade elétrica superficial [55].

A microscopia eletrónica por varrimento é uma técnica não destrutiva que permitiu obter imagens de elevada resolução de detalhes da superfície da amostra [26].



**Fig. 3.45** – Microscópio eletrónico de varrimento SEM JSM 35C/Noran Voyager de CEMUP [88].

## 4. Exploração em contexto escolar

A «nanociência e nanotecnologia» (N&N) é considerada não só a fonte basilar da atual inovação em eletrónica, medicina e noutros campos, mas também um dos principais desafios durante o século XXI. Sendo um assunto em expansão é exigido mais pesquisas; regulamentações; estudos sobre seus impactos sociais, ambientais e éticos; e trabalho com criatividade, responsabilidade e segurança. Torna-se, portanto, relevante a inserção do tema N&N no contexto escolar, uma vez que os principais intervenientes desta nova era serão os jovens estudantes que necessitarão de uma visão crítica do mundo.

As universidades europeias e os programas de formação profissional de nível mais elevado já abordam esta ciência e tecnologia em maior detalhe. Contudo, o tema N&N é, ainda, pouco ou nada explorado na escolaridade obrigatória.

Com a atual publicidade, ao ler uma revista ou o assistir a um noticiário, as palavras contendo *nano* surgem como se fossem utilizadas pelo público leigo de forma prosaica. Todavia, e mesmo já existindo várias aplicações comercializadas, uma parte considerável da população desconhece o significado de N&N. Deste modo, é importante que os professores se encontrem preparados para responder a perguntas de jovens curiosos.

A área disciplinar de física e química (desde o ensino básico com a físico-química, no secundário e profissional como física e química ao ensino de adultos como sociedade, tecnologia e ciência), de um modo geral, tem contribuído para despertar nos jovens o interesse pelos avanços científicos e tecnológicos. Assim, considera-se importante que o tema N&N seja incorporado nos conteúdos já enraizados nos currículos escolares do ensino básico e secundário, e consequentemente nos respetivos livros didáticos.

As orientações curriculares, para as várias áreas disciplinares de física e química do Ministério da Educação, realçam a importância da formação científica e cultural do cidadão de forma a superar obstáculos que surjam devido a novas tendências científicas e tecnológicas [96-103].

De acordo com as mesmas, o currículo da área disciplinar de física e química deve estar adequado à realidade das escolas e da sociedade portuguesa (em especial alunos em idade regular ou adultos e professores). Os principais objetivos são a compreensão da Ciência e da Tecnologia, das relações entre uma e outra e das suas implicações na Sociedade. Pretende-se, portanto, que através desta disciplina, ao longo dos vários anos escolares, os alunos possam compreender o papel do conhecimento científico nas decisões do foro social, político e ambiental bem como o papel da experimentação na construção do mesmo; e, sentir-se melhor preparados para acompanhar, no futuro, o desenvolvimento científico e tecnológico, em particular o veiculado pela comunicação social.

Esta dotação de significado nos conteúdos científicos escolares para a vida do aluno favorece uma melhor conexão entre o ensino de física e química e o quotidiano do estudante.

Com isto, é da responsabilidade das nossas escolas e do Ministério da Educação e Ciência, modernizar os currículos, da escola primária à pós-graduação, para incorporar os avanços da ciência e tecnologia crescente multidisciplinar.

Sendo o manual da disciplina um dos principais facilitadores da inserção de temas científicos atuais, fez-se uma análise sobre a presença ou ausência do conteúdo N&N neste.

O ano de escolaridade escolhido para análise foi o sétimo ano do ensino regular. Esta escolha deve-se, essencialmente, a dois motivos:

- É o primeiro ano que se inicia o estudo concreto da físico-química. O programa curricular estabelece como meta a classificação dos materiais do dia a dia em misturas de substâncias ou substâncias puras, sendo que a classificação das misturas de substâncias é feita com base nas dimensões das partículas que as contituem. As misturas coloidais são constituídas por partículas nanométricas.
- Os manuais desta disciplina foram renovados no final do ano letivo de 2011/12 com a adoção efetiva pelas escolas no ano letivo 2012/13.

De todos os manuais, das várias editoras, num total de oito manuais, apenas um aborda o tema N&N. Esta abordagem, mesmo que de uma forma superficial, apresenta-se como um complemento (*saber +*) não totalmente desconexado dos conteúdos estudados. O texto escrito pelo professor da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Joaquim Esteves da Silva, intitulado «Os nanomateriais» aparece associado ao sub-capítulo «Tipos de misturas» com o intuito fundamental de esclarecer o conceito da dimensão *nano* [104].

**Tab. 4.5** – Lista de manuais analisados.

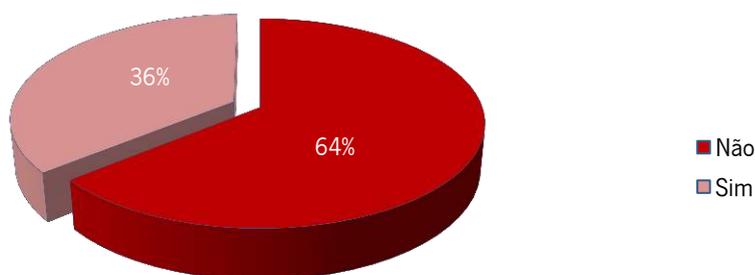
<b>Editora</b>	<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Referência a «N&amp;N»</b>
Areal Ed.	<i>Zoom 7</i>	António José Silva e outros	2012	sim
Areal Ed.	<i>Laboratorium 7</i>	André Costa e outros	2012	não
Texto Ed.	<i>Universo FQ</i>	Sandra Costa e outros	2012	não
Porto Ed.	<i>Explora 7</i>	Duarte Nuno Januário e outros	2012	não
Porto Ed.	<i>À Descoberta do Planeta Azul 7</i>	Noémia Maciel e Carlos Alberto Duarte	2012	não
Raiz Ed.	<i>C=FQ7</i>	Adelaide Amaro Rebelo e Filipe Rebelo	2012	não
Santillana-Constância	<i>Ciências Físico-Químicas 7º ano</i>	Francisca Lopes e outros	2012	não
Asa Ed.	<i>Novo FQ 7</i>	M. Neli G. C. Cavaleiro e M. Domingos Beleza	2012	não

Um primeiro passo é, então, a adaptação dos manuais escolares à nanociência. Um segundo passo, e provavelmente o mais importante, é a atualização da formação dos professores.

#### 4.1. Análise aos inquéritos dos professores

Neste estudo, elaborou-se, a nível nacional, um inquérito<sup>8</sup> aos professores da disciplina de Física e Química dos ensinos básico (3º ciclo) e de secundário com o intuito de recolher informação sobre a introdução do tema N&N e respetiva abordagem nos referidos níveis de ensino.

Foram recolhidas 161 respostas oriundas das várias zonas do país, continente e ilhas. Contudo, apenas 36% dos professores inquiridos afirmaram já ter abordado o tema em estudo com os seus alunos, como se observa na figura 4.1.



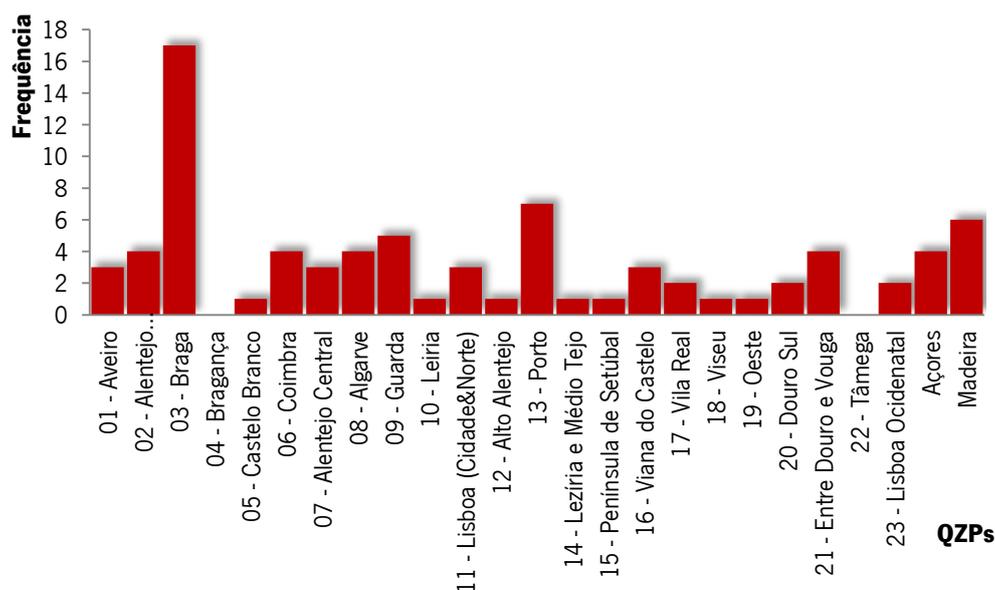
**Fig. 4.46** – Percentagem de professores inquiridos que abordaram o tema N&N.

O gráfico da figura 4.2 ilustra a frequência por zonas de quadro pedagógico (QZP), onde o tema foi introduzido pelos referidos professores.

Pela análise do referido gráfico verifica-se uma maior incidência no QZP de Braga que se justifica, em parte, com o novo centro de investigação de nanotecnologia – Laboratório Ibérico Internacional de Nanotecnologia (INL). A construção deste laboratório suscitou nos alunos curiosidade em saber mais sobre o assunto que os levou a questionar os seus professores sobre o tema, como relata um dos professores inquiridos:

*“O público alvo pertencia ao 10º ano do ensino secundário e o tema foi abordado na aula por pedido dos alunos. Leciono em Braga e como existe o Centro de Nanotecnologia na cidade os alunos mostraram vontade de o visitar e saber algo sobre o assunto.”*

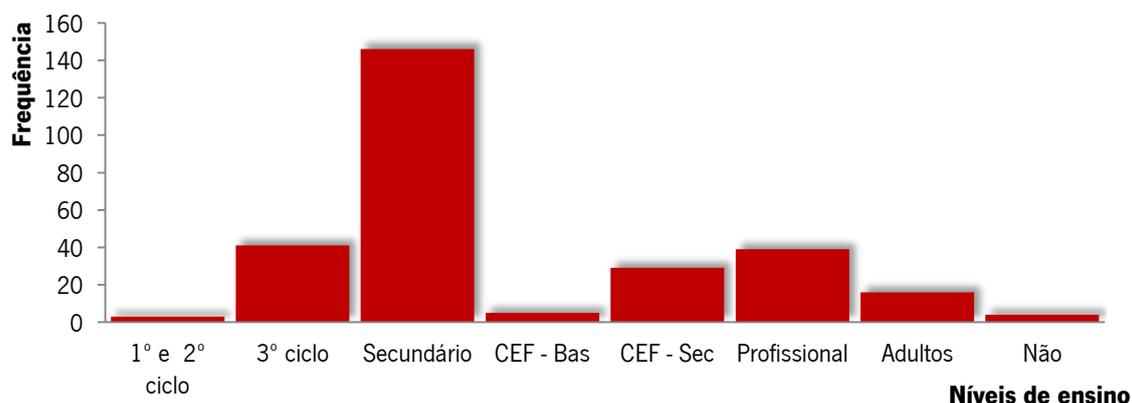
<sup>8</sup> O inquérito pode ser consultado no anexo 4.



**Fig. 4.47** – Zonas do quadro pedagógico onde fora abordado o tema N&N.

No inquérito, também se questionou os docentes sobre a importância da abordagem do tema N&N em contexto escolar pré-universitário e, em caso afirmativo, em que módulos o deveria ser feito.

O ensino secundário foi o nível de ensino que reuniu mais consenso entre os professores inquiridos para discutir o tema em questão, cerca de 93%. No entanto, 3% dos inquiridos referiram que este tema não deveria ser introduzido no ensino pré-universitário.



**Fig. 4.48** – Importância da abordagem ao tema N&N em contexto pré-universitário.

Foram alguns os motivos que os professores apresentaram para defender a abordagem do tema no ensino secundário nomeadamente a justificação:

*“Faz parte do programa curricular do 12º ano de Química.”*

No entanto, a abordagem aos conceitos «nanociência», «nanotecnologia», «nanomateriais», entre outros, contemplada no programa de 12º no de Química, pode (e deve) ser incluída na Unidade 3 – Plásticos, Vidros e Novos Materiais. Contudo, nos objetivos de aprendizagem não há referência a estes conceitos. Estes conceitos são sim enunciados numa concepção do programa que implica a posição sobre a imagem social da Química. Neste sentido, é referido a evolução da ciência dos materiais no domínio da nanociência para dar resposta aos desafios colocados pela Biologia, Medicina e Eletrónica [102]. Alguns professores conseguem gerir melhor o tempo e, tendo alunos interessados e curiosos, conseguem abordar este tipo de temas sem grande desenvolvimento:

*“Nanomateriais como absorventes de fármacos, para os computadores e máquinas de futuro; propriedades “estranhas” dos nanomateriais. Os alunos do 12º ano acharam curioso haver materiais tão pequenos e com aplicações tão grandiosas, mas o programa e a carga horária limitam a exploração destes temas.”*

Um outro motivo referido pelos professores, que apoia a escolha da aplicação no ensino secundário, é o criar a *ponte* com a sociedade e com um futuro promissor:

*“Ens. Secundário: O tema, assim como outros tecnológicos, serve de complemento para a compreensão de vários conteúdos de física e química.”*

*“Foi feita uma abordagem superficial sobre a aplicação da nanotecnologia para a administração de medicamentos e meios médicos de diagnóstico, relacionando-a com alguns conceitos como o de polaridade (formação de micelas), tipos de ligação química (afinidade de reagentes químicos)... A finalidade é relacionar os conceitos químicos com as suas aplicações mais modernas ajudando o aluno a ver a impotência do conhecimento científico. O público-alvo foram alunos de FQ do ensino secundário. A maioria dos alunos gosta de saber este tipo de informações.”*

*“No 12º ano de Química, abordei a importância crescente deste tema e como é uma excelente área a explorar pelos alunos; informei do trabalho realizado em Braga e da oportunidade dos alunos prosseguirem estudos nestas áreas. Abordou-se a propósito da possibilidade de, no futuro, se poder usar “nanomáquinas” para reparações no organismo aquando de determinadas doenças. Pretendeu-se mostrar essencialmente aplicações na Ciência em casos concretos. Os alunos mostraram, de um modo geral, curiosidade e interesse.”*

Os professores que consideraram outros níveis de ensino igualmente adequados e aconselhados para a inclusão deste tema fizeram os seguintes comentários a seu abono:

*“Abordei o tema por causa de um artigo de uma revista, numa aula de alunos do 9º ano. Os alunos ouviram, mas não fizeram questões relevantes.”*

*“Público-alvo: alunos do 3º ciclo. Finalidade: Dar a conhecer aos alunos a importância do estudo da disciplina no desenvolvimento de novas indústrias/tecnologias e a importância para a sociedade. Os alunos entendem a importância destes avanços no conhecimento.”*

*“Quando referimos as ordens de grandeza de várias medidas e quando referimos a importância de física e química para a evolução da ciência e da tecnologia.”*

*“Quando são lecionados os componentes eletrónicos no 9º ano, na perspetiva de sensibilizar para as vantagens económicas e para as aplicações práticas nos diversos domínios da vida quotidiana (dando especial ênfase às aplicações na medicina).”*

*“Abordei o tema nanociência e nanotecnologia nas turmas de 8º ano em articulação com a disciplina de Ed. Tecnológica. Ao lecionar a constituição da matéria: átomos, moléculas e iões, os alunos foram alertados para a pequenez dessas partículas e falei-lhes da importância da nanotecnologia para o desenvolvimento das várias áreas da sociedade. Posteriormente e em parceria com ET, os alunos fizeram um trabalho de pesquisa sobre a nanotecnologia que foi apresentado em movie maker. Por fim, os referidos alunos vão fazer uma visita ao centro de nanotecnologia de Braga.”*

*“A nível de conhecimento geral, a propósito de uma notícia divulgada na TV.”*

*“Enquanto formador de STC no CNO. Um dos formandos tinha trabalhado em Espanha numa empresa com nanotecnologia e escreveu-o na sua história de vida... A partir daí tive que investigar um pouco para o ajudar.”*

*“Público-Alvo: alunos do 3º ciclo. Um projeto desenvolvido nas disciplinas não curriculares (Cidadania e Formação Cívica) NANOYOU e projeto da fundação Ilídio Pinho.”*

Pode-se inferir que os meios de comunicação social (televisão, rádio, revistas...) são o primeiro meio de divulgação do tema N&N. São estes que fomentam a curiosidade dos alunos e os levam a questionar seus professores que por sua vez tentam manter-se devidamente informados. Os professores evidenciaram, ao longo do inquérito, alguma inquietação no que diz respeito à sua capacidade de esclarecer as dúvidas colocadas pelos alunos relativas ao tema.

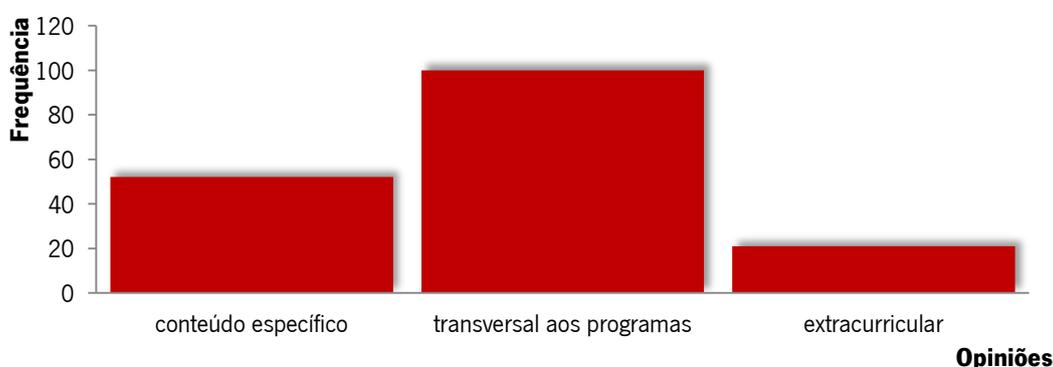
*“Falo do pouco que sei do assunto nas aulas de química do 12º ano. A reação é um misto de fascínio e de incredulidade.”*

Os projetos, disponíveis à participação das escolas de ensino obrigatório, são também um meio de exploração do tema, com a vantagem de fornecer diversos recursos de informação aos professores auxiliando-os na sua formação respeitante ao tema pretendido.

*“Com a participação de uma docente da UBI e com uma mestranda da mesma universidade, com o objetivo de promover a curiosidade pelo tema e por aprofundar alguns conhecimentos dos alunos do ensino secundário.”*

*“Experiências demonstrativas no âmbito do projeto NANOYOU experimania I.”*

Do que fora apresentado até agora, pode-se resumir dois contextos de introdução da temática: como atividades extracurriculares e como um tema de carácter transversal aos conteúdos já previstos nos programas. Contudo, um terceiro contexto (como um conteúdo específico de estudo a integrar nos programas curriculares da disciplina) foi também muito votado pelos professores quando questionados sobre como deveria ser feita a introdução do tema N&N.



**Fig. 4.49** – Situações nas quais deve ser introduzido o tema N&N.

Seguem-se algumas respostas que corroboram o definido no gráfico:

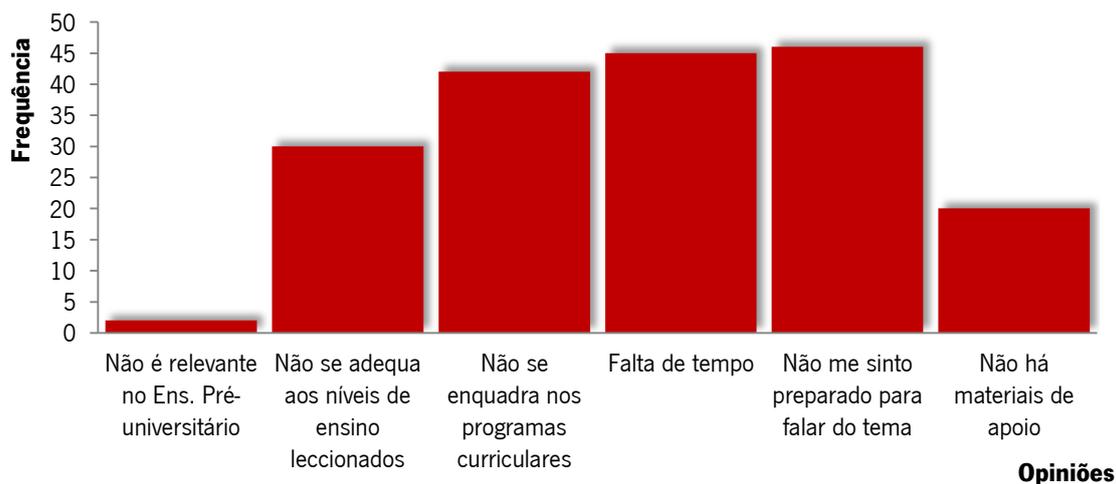
*“Estas conversas têm ocorrido com mais frequência fora do espaço aula.”*

*“Em ações de divulgação da ciência.”*

*“Apresentação de uma atividade que abordava a nanotecnologia com base na propriedade hidrofóbica da folha do inhame.”*

*“Em cursos profissionais na modalidade aprendizagem, no 3º período, enquadrado no módulo de física, física moderna – fundamentos.”*

No universo dos professores que considerou não ser importante esta abordagem no ensino pré-universitário ou, sendo importante nunca o fizeram, explicaram, essencialmente, as suas escolhas com o enquadramento do tema nos programas curriculares, a falta de tempo devido à extensão dos mesmos e por não se sentirem preparados para falar sobre N&N.



**Fig. 4.50** – Motivos para não inserir o tema N&N no ensino pré-universitário.

Também os professores que já incluíram o tema no ensino pré-universitário fizeram referência aos mesmos constrangimentos:

*“Tenho participado nalgumas sessões que abordavam o tema...”*

*“No âmbito do programa curricular de Qui 12º ano, tendo por base uma apresentação em ppt que elaborei que, por sua vez, foi construída a partir da informação constante em manuais desta disciplina e também de exemplos retirados da internet.”*

*“...é um tema que interessa a todos e também a mim, já que iniciei um mestrado em micro e nanotecnologia.”*

*“Palestras para alunos do ensino secundário dadas por professores da FCUP.”*

*“...o programa e a carga horária limitam a exploração destes temas.”*

*“O público alvo são alunos de qui 12º ano, embora eu pense que em anos anteriores já se deva introduzir.”*

Toda a gente sabe que as ciências experimentais são ciências em evolução, em particular a tecnologia associada a estas. Assim, os professores vêm-se obrigados a atualizarem, constantemente, os seus conhecimentos e a informarem-se sobre as recentes novidades em tecnologia e respetiva compreensão. Têm que ser professores autónomos e autodidáticos porque não existe muita oferta de formação. No entanto, o tempo do professor não é elástico muito menos dentro da sala de aula. E, apesar de as orientações curriculares aconselharem a motivação para a ciência e o despertar da curiosidade, a verdade é que os alunos no final de cada ciclo têm que demonstrar conhecimentos científicos reais numa avaliação escrita que se reflete na avaliação do professor. São, assim, compreensíveis as percentagens obtidas.

Existe um outro senão neste cenário de autoformação. Uma parte significativa dos professores que afirmaram ter abordado o tema nas suas aulas, fizeram-no porque os alunos os questionaram sobre isso ora porque ouviram na televisão, ora porque leram numa revista, ora porque se criou um centro para a sua investigação, ora porque alguém trabalha na área ou simplesmente, porque numa consulta médica foi referido o termo *nano*... E se os alunos não questionassem?! O tema não seria certamente abordado!

*“O tema da nanotecnologia foi abordado de forma muito superficial quando falei de escala, múltiplos e submúltiplos, no 7º e curso profissional 10º. A maioria dos alunos nunca tinha ouvido falar de tal assunto (diga-se que são alunos extremamente fracos, com percursos de vida muito complicados).”*

Em Portugal, infelizmente, existe ainda muita iliteracia científica. Cabe à escola combatê-la. Não deveria partir dos alunos o discutir ou não determinado tema. Claro que se deve ir ao encontro destes de modo a incutir-lhes a alegria de estudar ciência e saciar-lhes a sua curiosidade científica. Porém, os alunos que não têm inerente a si esta curiosidade, talvez devido ao meio em que estão inseridos ou às dificuldades de aprendizagem que demonstram, devem ser estimulados para saber mais, provavelmente não compreenderão, mas terão conhecimento. Numa idade tenra, conhecer é provir de competências para num futuro as poder desenvolver. Na escolaridade básica pretende-se formar estudantes capazes de pensar e interpretar o mundo que os cerca.

Com isto, realça-se a importância de incluir as recentes evoluções científicas nos manuais dos estudantes; de proporcionar formação em pequenos workshops e/ou palestras para os professores e, eventualmente, para os alunos; e, da criação de recursos didáticos acessíveis aos professores aplicáveis nos diferentes níveis de ensino.

É fundamental induzir os professores das áreas disciplinares de física e química a refletirem sobre vantagens e desafios de introduzir temas de Física Contemporânea nas salas de aula.

## **4.2. Análise às atividades implementadas**

Neste trabalho, projetaram-se duas metodologias distintas que foram desenvolvidas com alunos de diferentes níveis de ensino, 9º e 10º, inserindo-os no contexto N&N.

Estas atividades poderão, facilmente, ser introduzidas noutros níveis de ensino, nomeadamente no 7º e 8º anos, fazendo ajustes nas respetivas fichas de trabalho.

No 7º ano, a atividade dos ferrofluidos pode ser incorporada durante a leção das misturas coloidais e aproveitar para recordar ou introduzir o conceito nanométrico. Como os alunos neste nível de ensino também estudam as propriedades dos materiais, sendo uma delas as propriedades magnéticas, será possível

demonstrar que o mesmo material pode exibir diferentes comportamentos mediante as dimensões das partículas que o constituem.

No 8º ano, optaria pela aplicação da atividade das nanopartículas de ouro para demonstrar que a cor dos materiais não é apenas uma resposta sensorial do nosso cérebro à absorção seletiva da luz incidente no material. Esta absorção dependerá não só do tipo de material, mas para materiais com a mesma constituição, dependerá igualmente das dimensões das partículas que os constituem.

#### **4.2.1. Atividade implementada no 10º ano**

No programa curricular do 10º ano está previsto a realização de uma atividade laboratorial, conjunto de trabalhos laboratoriais, com a qual se pretende que o aluno saiba como preparar soluções, com rigor, e distinguir entre soluções, coloides e suspensões.

A atividade selecionada para este nível de ensino e para os objetivos previstos foi a preparação de nanopartículas de ouro.

Nas turmas em estudo não se preparou as soluções iniciais de base à síntese de Au-NPs por dois motivos:

- ↪ O primeiro deve-se ao momento em que foi aplicada a atividade. As professoras titulares da turma já tinham realizado com os alunos a preparação de soluções, a partir de solutos sólidos e respetivas diluições. E, como o programa é extenso não se justificava despende de mais 135 minutos para repetir uma atividade que fora bem compreendida pelos discentes.
- ↪ O segundo motivo prende-se à dificuldade de se encontrar o sal de ouro nos laboratórios das escolas públicas devido ao seu elevado custo.

Foram usados dois métodos distintos para a concretização da mesma atividade de acordo com o plano de aula elaborado<sup>9</sup> e facultado aos docentes. Um, consiste na realização prática da síntese de Au-NPs (turma 1); o outro consiste na visualização de um vídeo que ilustra as diferentes etapas da atividade prática (turma 2). O vídeo foi construído a partir de material recolhido aquando o desenvolvimento da atividade nos laboratórios da Universidade do Minho e publicado no *YouTube*<sup>10</sup> para servir de ferramenta de apoio aos professores e alunos.

Após a realização da atividade ou visualização do vídeo de apoio, os alunos resolveram uma ficha de trabalho que lhes permitiu organizar as aprendizagens obtidas e formular sínteses dos conteúdos.

A atividade, pelo método de visualização do vídeo, foi aplicada numa terceira turma como trabalho de casa, exigindo aos alunos um trabalho autónomo mais exigente na interpretação dos fenómenos ilustrados

---

<sup>9</sup> O plano de aula pode ser consultado no anexo 5.

<sup>10</sup> <http://youtu.be/f4JXVwOQFos>

(turma 3). Nesta turma, a docente já tinha lecionado o capítulo “Atmosfera: temperatura, pressão e densidade em função da altura” que inclui a atividade laboratorial “Soluções e Coloides”.

Todos os alunos, independentemente do método utilizado, concluíram ser observável um feixe laser cilíndrico evidente e nítido nas amostras recolhidas durante o aquecimento. Nas soluções de ouro, concentrada e diluída, e na substância pura, a água, o feixe laser é invisível. Alguns alunos foram, igualmente, capazes de interpretar o fenómeno observado:

*“Concluimos que nas soluções verdadeiras não é possível observar o feixe do laser. Já nas coloidais é possível observá-lo, uma vez que há interação com as partículas devido à sua maior dimensão.”*

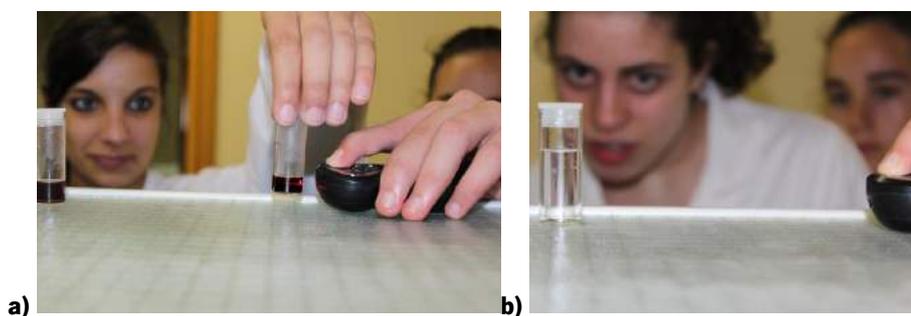
*(grupo de alunos da turma 1)*

*“Nas soluções não se observa o efeito de Tyndall. Quanto maior o tamanho das partículas da fase dispersa maior o efeito de Tyndall.”*

*(aluno da turma 2)*

*“O feixe de luz não atravessa as soluções verdadeiras, porque as partículas são muito pequenas.”*

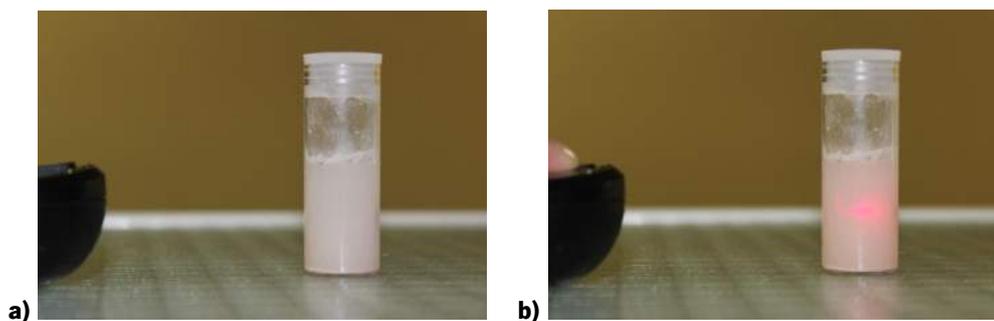
*(aluno da turma 3)*



**Fig. 4.51** – Observação, pelos alunos, do Efeito de Tyndall **a)** nas amostras coloidais, mas **b)** não na solução de ácido cloráurico.

Durante a resolução da ficha de trabalho, os alunos foram levados a pensar sobre a diferença do feixe observado ao atravessar coloides e suspensões; os cuidados a ter no manuseamento do material; as diferentes cores exibidas pelas amostras coloidais recolhidas; as diferenças no tamanho das nanopartículas contituíntes das amostras; e, por fim, tentarem aplicar os conhecimentos adquiridos na interpretação de um fenómeno natural.

De um modo geral, os alunos compreenderam que quando se sujeita uma suspensão e um coloide à travessia de um mesmo feixe de luz, o comportamento é distinto. Nos coloides observa-se um feixe laser cilíndrico evidente e nítido, enquanto que nas suspensões esse mesmo feixe de luz sofre maior espalhamento.



**Fig. 4.52** – Observação, pelos alunos, do espalhamento do feixe de luz ao atravessar uma suspensão: a) antes, b) depois de incidir o feixe laser sobre a suspensão.

*“Nas suspensões também se observa o feixe laser. No entanto, mais disperso do que no coloide.”*

*(grupo de alunos da turma 1)*

*“Numa suspensão as partículas que constituem a fase dispersa são maior, pelo que o feixe de luz laser sofre um espalhamento completo, vai espalhar-se por toda a suspensão.”*

*(aluno da turma 2)*

*“A luz atravessa e sofre espalhamento.”*

*(aluno da turma 3)*



**Fig. 4.53** – Da esquerda para a direita: solução aquosa concentrada de ouro; solução aquosa diluída de ouro; amostras das soluções coloidais recolhidas por ordem crescente de tempo de reação.

No que diz respeito à interpretação da cor exibida pelas várias amostras recolhidas, os alunos formularam possíveis justificações para o observado. Esta questão, de maior dificuldade, reuniu um menor número de respostas aceitáveis. Na turma 3, foram poucos os alunos que, efetivamente, tentaram responder. As outras turmas, que poderiam contar com alguma ajuda do professor, deram respostas como:

*“A cor observada depende do espectro de emissão e da interação da radiação com o material.”*

*(grupo de alunos da turma 1)*

*“A cor que vemos é resultado da mistura da luz de diversos comprimentos de onda, em consequência, a absorção seletiva da luz branca pelas substâncias. Apenas vemos a fração de luz difundida.”*

*(aluno da turma 2)*

A questão que suscitou maior dúvida nos alunos foi a que se referia ao tamanho das nanopartículas formadas. Foram pouquíssimos os alunos que a tentaram responder e, quando o fizeram, relacionaram quase sempre com o efeito de Tyndall observado:

*“Quanto mais escura for a sua cor, maior é o tamanho das partículas.”*

*(aluno da turma 2)*

*“Com a dispersão da cor é possível saber o tamanho das partículas de cada amostra uma vez que com partículas maiores a luz se dispersa mais enquanto que em partículas menores, o feixe passa mais facilmente a amostra.”*

*(aluno da turma 2)*

*“Quanto maior são as partículas, maior é o efeito de Tyndall.”*

*(aluno da turma 2)*

De um modo geral, os alunos concluíram que, com o aumento do tempo reacional entre o sal áurico e o citrato, o tamanho das nanopartículas sofre alteração, pois nos espectros UV-Visível verifica-se um ligeiro deslocamento do pico máximo de absorção para menores comprimentos de onda. Mais difícil de compreender foi o facto do tamanho das nanopartículas ter diminuído de amostra para amostra, uma vez que o feixe laser era muito mais nítido na última amostra recolhida.

Uma das últimas questões da ficha de trabalho exigia a aplicação das aprendizagens das últimas aulas ao dia a dia. Foi pedido aos jovens que justificassem o porquê do céu ser azul de manhã e avermelhado ao pôr do sol.

*“A interação da luz com as partículas fazem as radiações sofrer desvios.”*

*(grupo de alunos da turma 3)*

*“Devido à quantidade de superfície de luz que o sol tem de atravessar, sendo maior ao pôr do sol.”*

*“O céu é azul porque espalha a luz em apenas alguns comprimentos de onda (neste caso em maior concentração no azul). O pôr do sol é avermelhado porque o sol está mais inclinado e faz com que a luz se disperse mais e como incide radiação em maior concentração nos comprimentos de onda correspondentes à zona do vermelho, verifica-se este fenómeno apenas ao pôr do sol.”*

*(alunos da turma 2)*

*“O céu é azul e o pôr do sol avermelhado pois a sua cor é o resultado da luz visível refletida.”*

*(aluno da turma 3)*

Apesar dos alunos não terem sido capazes de responder a todas as questões, os objetivos de aprendizagem contemplados no plano de aula foram atingidos. Algumas questões pretendiam apenas levar os alunos a pensar sobre determinados comportamentos das partículas, suscitar-lhes curiosidade.

Os alunos demonstraram muita satisfação na realização da atividade e puderam comprovar, visualmente, que a mesma substância química pode apresentar diferentes comportamentos (óticos, na situação em particular), consoante as dimensões das suas partículas.

#### **4.2.2. Atividade implementada no 9º ano**

O 9º ano é o ano final do 3º ciclo, ao fim do qual o aluno deve reunir as competências básicas de todo o ciclo.

Das várias metas definidas para este ano de escolaridade, salienta-se as duas que justificaram a introdução da atividade dos ferrofluidos:

- ↪ Descrever, operacionalmente, a existência de campos magnéticos atrativos e repulsivos criados por ímanes permanentes através da orientação de limalha, ou pequenos fios de aço, relacionando a sua intensidade com a maior ou menor proximidade das linhas de campo.
- ↪ Saber explicar o funcionamento de uma bússola.

Quando se fala em magnetismo, neste nível de ensino, está previsto dar a conhecer aos alunos a existência de ímanes artificiais, feitos de ferro e aço, e de ímanes naturais como a magnetite, minério de ferro; descrever, sumariamente, como atuam os ímanes entre si; referir a existência de campos magnéticos que são detetáveis por agulhas magnéticas.

Neste sentido, e para demonstrar que o mesmo material pode exibir diferentes propriedades, os alunos de uma turma do 9º ano puderam experimentar o efeito provocado numa bússola com a aproximação de areia de magnetite e de uma solução coloidal do mesmo material, bem como o efeito de um íman nos mesmos materiais.

Os alunos ficaram muito admirados com o observado e puderam, com a resolução de uma ficha de trabalho<sup>11</sup>, desenvolver um raciocínio crítico sobre as várias etapas demonstradas no vídeo e sobre as propriedades dos materiais.

---

<sup>11</sup> A ficha de trabalho e respetiva proposta de resolução podem ser consultados no anexo 6.

## 5. Conclusão

Neste estudo, os dados recolhidos com a atividade de síntese de nanopartículas de ouro, permitiram concluir que o aumento do tempo reacional entre o sal cloroaúrico e o citrato conduz a uma diminuição no tamanho das nanopartículas formadas. Esta conclusão foi verificada nos espectros UV-Visível através da observação de um ligeiro deslocamento da banda de ressonância plasmónica para menores comprimentos de onda, tal como referido na teoria de Mie.

Nesta mesma atividade foi possível confirmar o efeito de Tyndall em soluções coloidais, tendo-se observado um feixe laser cilíndrico evidente e nítido nas amostras recolhidas durante o aquecimento. Nas soluções de ouro, quer concentrada como diluída, bem como na substância pura – a água – o feixe laser é invisível. Também foi possível observar que o feixe laser era mais nítido em soluções coloidais mais concentradas em nanopartículas.

Nesta mesma atividade, aquando resolvida com os alunos do 10º ano, foi possível fazer a distinção entre os conceitos de solução, suspensão e dispersão coloidal através da observação, ou não, do efeito de Tyndall. Assim, foi possível aos alunos confirmarem que as soluções são misturas homogéneas que constituem uma única fase, não sendo possível observar o feixe laser através das mesmas. Em contrapartida, as dispersões coloidais formam-se quando as partículas do material disperso ficam disseminadas no seio de um agente dispersante, sem sofrerem deposição por ação da gravidade, apresentando-se, aparentemente, como uma mistura homogénea. Quando estas dispersões são atravessadas por um feixe de luz, provocam a sua difusão, observando-se o efeito de Tyndall. Nas suspensões, o feixe laser sofre espalhamento uma vez se tratar de uma mistura heterogénea cujas partículas constituintes têm dimensões superiores a 1 µm.

Foi igualmente interessante observar que as soluções de ouro coloidal exibem diferentes tonalidades na região do visível. A diversidade de cores observada para estes materiais é resultante da ressonância plasmónica de superfície, sendo no caso particular em estudo, determinado pelo diâmetro das Au-NPs.

No caso dos filmes de ouro a mudança de cor foi visível passando de uma tonalidade de azul acinzentado ao dourado, dependendo da quantidade vaporizada e conseqüentemente da espessura do filme obtido.

Conclui-se, portanto, que em escala nanométrica, a dimensão das partículas influencia nos efeitos de cor.

A realização da atividade de síntese de nanopartículas de óxido de ferro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) permitiu demonstrar como as propriedades da matéria podem mudar à nanoescala: assim a areia de magnetite, constituída por partículas de escala macro, permanece magnetizada depois de se afastar um íman, enquanto que as  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -NPs perdem a sua magnetização quando o íman é removido, adotando novamente o comportamento de um líquido não magnético.

Em contexto escolar, o tema deste trabalho, nanociência e nanotecnologia, foi eleito por ser uma temática atual, presente constantemente nos diferentes tipos de comunicação social – possibilitando, assim, a contextualização da ciência e da tecnologia, com as demandas atuais da sociedade – além de se constituir como saber essencialmente interdisciplinar.

Todavia, a realidade escolar pré-universitária não tem acompanhado os avanços tecnológicos. Esta posição faz levantar várias questões sobre a preparação dos professores e dos próprios alunos; sobre a abertura dos programas curriculares e, até mesmo, a importância do referido acompanhamento. A verdade, é que a opinião dos intervenientes no papel da educação é divergente: não existe consenso entre os encarregados de educação, os discentes e os professores.

## Bibliografia

- [1] <http://www.veiculoselectricospt.com/veiculos-electricos-a-pilha-de-combustivel/> [consultado em 2013-07-24]
- [2] <http://www.tvciencia.pt/tvcnot/pagnet/tvcnot03.asp?codpub=31&codnot=40> [consultado em 2013-07-24]
- [3] <http://especiais.ig.com.br/infograficos/nova-geracao-de-motores-de-avioes/> [consultado em 2013-07-24]
- [4] [http://www2.imec.be/be\\_en/press/imec-news/archive-2009/imec-reports-ultra-thin-chip-embedding-for-wearable-electronics.html](http://www2.imec.be/be_en/press/imec-news/archive-2009/imec-reports-ultra-thin-chip-embedding-for-wearable-electronics.html) [consultado em 2013-07-24]
- [5] <http://www.rcmpharma.com/actualidade/id/04-02-13/portugal-e-pioneiro-na-aplicacao-da-nanotecnologia-na-deteccao-e-combate-do-> [consultado em 2013-07-24]
- [6] <http://www.ecofriend.com/about-nano-structured-organic-photovoltaic-cells.html> [consultado em 2013-07-24]
- [7] [http://www.marcaspatentes.pt/files/collections/pt\\_PT/1/300/303/NanoBiotecnologia.pdf](http://www.marcaspatentes.pt/files/collections/pt_PT/1/300/303/NanoBiotecnologia.pdf) [consultado em 2013-07-24]
- [8] <http://www.rtp.pt/noticias/index.php?article=616339&tm=8&layout=122&visual=61> [consultado em 2013-07-24]
- [9] <http://www.olavia.com/leballage-comestible-quelle-idee-geniale> [consultado em 2013-07-24]
- [10] <http://www.cienciahoje.pt/index.php?oid=50337&op=all> [consultado em 2013-07-24]
- [11] [http://www.nanolab.unimore.it/it/?page\\_id=4912](http://www.nanolab.unimore.it/it/?page_id=4912) [consultado em 2013-01-02]
- [12] [http://meetrajesh.com/publications/ne489\\_pchen\\_report.pdf](http://meetrajesh.com/publications/ne489_pchen_report.pdf) [consultado em 2013-07-24]
- [13] [http://tne.fct.unl.pt/file.php/72/Posters\\_em\\_portugues/297\\_PT-poster5ICT.pdf](http://tne.fct.unl.pt/file.php/72/Posters_em_portugues/297_PT-poster5ICT.pdf) [consultado em 2013-07-24]
- [14] <http://www.scienceinschool.org/print/656> [consultado em 2013-07-24]
- [15] <http://phys.org/news/2011-02-carbon-nanotube-transistors-inexpensive-flexible.html> [consultado em 2013-07-24]
- [16] <http://www.nanotechnologyresearchfoundation.org/nanohistory.html> [consultado em 2013-07-24]
- [17] <http://www.phy.pku.edu.cn/~qhcao/resources/class/QM/Feynman%27s-Talk.pdf> [consultado em 2013-07-01]
- [18] PINTO, Ricardo. *Nanocompósitos de celulose e metais (Au e Ag)*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2008.
- [19] [http://www.demat.ist.utl.pt/departamento/jornal/jornal1/pagina\\_1\\_3.html](http://www.demat.ist.utl.pt/departamento/jornal/jornal1/pagina_1_3.html) [consultado em 2013-07-01]
- [20] [http://www.nytimes.com/2006/11/28/science/28observ.html?\\_r=0](http://www.nytimes.com/2006/11/28/science/28observ.html?_r=0) [consultado em 2013-07-01]
- [21] LEAL, M<sup>a</sup> Luisa. *Cartilha sobre Nanotecnologia*. Revisão técnica de Oswaldo Luís Alves. Brasília: ABDI, 2010.
- [22] [http://www.nanolab.unimore.it/it/wp-content/uploads/2012/09/Nanoparticelle\\_Presentazione\\_IT.pdf](http://www.nanolab.unimore.it/it/wp-content/uploads/2012/09/Nanoparticelle_Presentazione_IT.pdf) [consultado em 2013-01-02]
- [22] <http://selling-gold.org.uk/sell-gold/> [consultado em 2013-06-20]

- [23] CHANG, Raymond. *Química*. 5ª edição. Lisboa: McGraw-Hill, 1994. ISBN 972-9241-68-6
- [24] NERY, Miguel A. C. e SILVA, Emanuel A. Ouro. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Balanço Mineral Brasileiro*. 24ª edição. 2001, p.1-40.
- [25] <http://www.wisc-online.com/Objects/ViewObject.aspx?ID=GCH8204> [consultado em 2013-07-24]
- [26] FERREIRA, Virgínia. Polímeros condutores e monocamadas auto-montadas na concepção de novas arquitecturas contendo nanopartículas metálicas: preparação, caracterização e desempenho para electrocatálise e biosensores. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, 2011.
- [27] FELDHEIM, Daniel L., FOSS, Colby A. *Metal Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Applications*. New York: Marcel Dekker, Inc., 2002. p. 21, 89 – 97, 184. ISBN 0-8247-0604-8.
- [28] LIZ-MARZÁN, L.M. Nanometals: Formation and color. *Materials Today*, Fevereiro 2004, Vol 7, Issue 2, p. 26-31. ISSN 1369 7021.
- [29] ALVES, Oswaldo L. Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre o presente e futuro não é apenas questão de tempo. *Parcerias Estratégicas*. Agosto 2004, n.18, p. 23-40, Brasília. ISSN 1413-9375
- [30] TOMA, Henrique E., BONIFÁCIO, Leonardo da Silva e ANAISSI, Fauze J.. Da cor à cor inexistente: uma reflexão sobre espectros eletrônicos e efeitos cromáticos. *Quím. Nova* [online]. 2005, vol.28, n.5, p. 897-900. ISSN 0100-4042.
- [31] BONIFÁCIO, Leonardo da Silva. *Processos de Agregação e Fusão de Nanopartículas de Ouro: uma abordagem química*. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2005.
- [32] FREESTONE, Ian e outros. The Lycurgus Cup – A Roman Nanotechnology. *Gold Bulletin* 2007, Vol 40, Issue 4, p. 270-277. ISSN 0017-1557.
- [33] <http://www.dcr.fct.unl.pt/investigacao/projectos/vidro-e-vitral> [consultado em 2013-06-20]
- [34] <http://www.scienceinschool.org/print/656> [consultado em 2013-06-20]
- [35] PIRES, Isabel e RIBEIRO, Sandra. *Universo da Matéria – Sustentabilidade na Terra*. Revisão Técnica de Guida Bastos, Paula Marques, Paula Pinto e Rosário Correia. 1ª Ed. Porto: Santillana-Constância, 2007. ISBN 978-972-761-665-7
- [36] POPIOLSKI, Tatiane M. Avaliação da Incorporação de Nanopartículas de Ouro em Filmes Automontados de Polieletrólitos Fracos. Tese de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul, 2011.
- [37] SIGAUD, Lucas M. Caracterização da emissão de radiação na faixa de UV induzida por elétrons em materiais em forma de filmes finos. Tese de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005.
- [38] <http://www.ccs.unicamp.br/cursos/fee107/download/cap11.pdf> [consultado em 2013-07-24]
- [39] TEIXEIRA, Kelly C. Estudo das propriedades eletroluminescentes de novos complexos tetrakis beta-dicetonatos de európio utilizadas em OLEDs. Tese de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2010.

- [40] <http://escolaverao.fis.puc-rio.br/P06.pdf> [consultado em 2013-07-24]
- [41] FERNANDES, Ana C. *Desenvolvimento de filmes finos de TICxOy*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, 2011.
- [42] [http://clitmenestra.blogspot.pt/2012/12/museu-nacional-de-arqueologia-de-atenas\\_13.html](http://clitmenestra.blogspot.pt/2012/12/museu-nacional-de-arqueologia-de-atenas_13.html) [consultado em 2013-07-24]
- [43] <http://pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por/Multimedia/Imagens/Eletromagnetismo/Espectro-eletromagnetico> [consultado em 2013-02-13]
- [44] GONÇALVES, M. Clara. Propriedades ópticas dos materiais. *Arquitectura e Vida*. Maio 2004, nº 49, Lisboa. p. 80-86
- [45] SIMÕES, Teresa S. e outros. *Técnicas Laboratoriais de Química – Bloco II*. Porto: Porto Editora, 1995. ISBN 972-0-42252-1
- [46] <http://www.visual-arts-cork.com/artist-paints/colour-mixing-tips.htm> [consultado em 2013-02-13]
- [47] SANTOS, António J. *Luz, cor e visão*. Lisboa: LNEC, 2000. ISBN 972-49-1839-4
- [48] <http://disciplinas.ist.utl.pt/leic-cg/textos/livro/Cor.pdf> [consultado em 2013-02-13]
- [49] <http://www.webexhibits.org/causesofcolor/9.html> [consultado em 2013-07-24]
- [50] TILLEY, Richard. *Colour and the optical properties of materials: an exploration of the relationship between light, the optical properties of materials and colour*. Chichester: John Wiley & Sons, LTD, 2000. ISBN 0-471-85197-3
- [51] TAYLOR, Hugh S. and GLASSTONE, Samuel. *Physical Chemistry, Vol 2 – States of Matter*. 3ª ed. New York: D. Van Nostrand Company, Inc. 1951.
- [52] AMENDOLA, Vincenzo. *Synthesis of gold and silver nanoparticles for photonic applications*. Tese de Doutoramento, Università Degli Studi Di Padova, 2008.
- [53] TABIRIZI, Amir e outros. Gold Nanoparticle Synthesis and Characterisation. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*. 2009, Vol. 37, Issue 3, p. 217–226.
- [54] LIAW, Jiunn-Woei e outros. Wavelength-dependent Faraday-Tyndall effect on laser-induced microbubble in gold colloid. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*. 2012, Vol. 113, Issue 17, p. 2234–2242.
- [55] MOREIRA, Sandra D. F. C. *Desenvolvimento de compósitos híbridos orgânicos e inorgânicos dopados com nanopartículas de ouro*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 2013.
- [56] <http://www.timefornano.eu/pt/nanokit#ac06> [consultado em 2013-01-02]
- [57] [http://lh4.ggpht.com/-2R32CnBKMJA/UJjbSD0\\_I6I/AAAAAAAAAD3w/3wucVD9HCal/s720/Magnetite-crystals.jpg](http://lh4.ggpht.com/-2R32CnBKMJA/UJjbSD0_I6I/AAAAAAAAAD3w/3wucVD9HCal/s720/Magnetite-crystals.jpg) [consultado em 2013-08-07]

- [58] [http://image.ec21.com/image/victor10us/OF0017678089\\_1/Sell\\_Iron\\_Sand\\_Magnetite\\_Ore.jpg](http://image.ec21.com/image/victor10us/OF0017678089_1/Sell_Iron_Sand_Magnetite_Ore.jpg) [consultado em 2013-08-07]
- [59] ARANTES, Fabiana R. Estudo do comportamento magnético de nanopartículas de magnetite e de nanofios de níquel diluídos em cristais líquidos liotrópicos. Tese de Mestrado, Universidade de S. Paulo, 2010.
- [60] HARRISON, Richard J. e outros. Direct imaging of nanoscale magnetic interactions in minerals. *Proceedings of the National Academy of Science*. 2002, Vol. 99, N° 26, p. 16556-16561.
- [61] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/f/f7/Magnetite\\_structure.jpg/220px-Magnetite\\_structure.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/thumb/f/f7/Magnetite_structure.jpg/220px-Magnetite_structure.jpg) [consultado em 2013-08-07]
- [62] PAPELL, Solomon S. Low viscosity magnetic fluid obtained by the colloidal suspension of magnetic particles. U.S. Patent 3 215 572. 1965-11-02.
- [63] *Nanoscale materials in chemistry*. Ed. Kenneth J. Klabunde. New York: Wiley-Interscience, 2001. ISBN 0 471 38295 3.
- [64] GUPTA, A. K. e GUPTA, M. Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications. *Biomaterials*. 2005, Vol. 26, Issue 18, p. 3995-4021
- [65] STUART, Charles W. The preparation of magnetic fluids. In *Ferrofluids: magnetically controllable fluids and their applications*. Ed. S. Odenbach. Vol. 594. Berlim: Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2002. Part I, Synthesis and characterization. p. 3-18.
- [66] *Nanomaterials : synthesis, properties and applications*. Ed. A. S. Edelstein and R. C. Cammarata. Bristol: Institute of Physics Publishing, 1998. ISBN 0 7503 0578 9.
- [67] MURRAY, C. B. e outros. Synthesis and characterization of monodisperse nanocrystals and close-packed nanocrystal assemblies. *Annual Review of Materials Science* 2000, Vol. 30, p. 545-610.
- [68] CAO, G. e WANG, Ying. *Nanostructures and Nanomaterials – Synthesis, Properties and Applications*. Singapore: World Scientific, 2011. ISBN 981-4322-50-4
- [69] ALVES, Tatiana. Síntese e caracterização de nanopartículas de óxido de ferro para aplicações biomédicas. Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2007.
- [70] MARGULIES, D. T. e outros. Anomalous moment and anisotropy behavior in Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> films. *Physical Review B* 1996, Vol. 53, p. 9175-9187.
- [71] HUBER, Dr. Dale L. Synthesis, Properties, and Applications of Iron Nanoparticles. *Small* 2005, Vol. 1, Issue 5, p. 482–501.
- [72] <http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/alternative-energy-materials/magneticmaterials/tutorial/properties.html> [consultado em 2013-08-07]

- [73] BEAN, C. P. e LIVINGSTON, J. D. Superparamagnetism. *Journal of Applied Physics* 1959, Vol. 30, Issue 4, p. 120S–130S.
- [74] O'HANDLEY, Robert. *Modern magnetic materials: principles and applications*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1999. ISBN 047-1155-66-7
- [75] GOYA, G. F. e outros. Static and dynamic magnetic properties of spherical magnetite nanoparticles. *Journal of Applied Physics* 2003, Vol. 94, Issue 5, p. 3520–3529.
- [76] [http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDYQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.centrohabitat.net%2FReadObject.aspx%3Fobj%3D21445&ei=8V9DUt2EMee57AbcxIDIDA&usg=AFQjCNEiMEdER0Z5zo-9si1s8-P\\_-05sJQ&bvm=bv.53077864,d.ZGU](http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDYQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.centrohabitat.net%2FReadObject.aspx%3Fobj%3D21445&ei=8V9DUt2EMee57AbcxIDIDA&usg=AFQjCNEiMEdER0Z5zo-9si1s8-P_-05sJQ&bvm=bv.53077864,d.ZGU). [consultado em 2013-01-02]
- [77] ASSIS, Odílio B. G. A asa da borboleta e a nanotecnologia: cor estrutural. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 2013, Vol. 35, N° 2, p. 2301–2309.
- [78] <http://umadblog.blogspot.pt/2012/10/opala-pedra-arco-iris.html> [consultado em 2013-08-07]
- [79] C(2008) 424: 07.02.2008. Commission recommendation of 07/02/2008 on a code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research.
- [80] Parecer do Comité Económico e Social Europeu sobre a Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho e ao Comité Económico e Social Europeu — Aspectos regulamentares dos nanomateriais. *Jornal Oficial da União Europeia*. 52º ano. 11 de Setembro de 2009. C 218. p. 21 a 26. ISSN 1725-2482.
- [81] UNG, T. e outros. Optical Properties of thin Films of Au@SiO<sub>2</sub> Particles. *The Journal of Physical Chemistry B*. 2001, Vol 105, Issue 17, p. 3441-3452.
- [82] SALGUEIRO, Ana M. *Hidrogéis nanocompósitos de ouro para a libertação de fármacos*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2011.
- [83] BRAS, B. E FERREIRA, I. Baterias de Filme Fino de Papel. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*. 2010, Vol 22, N° 1-2, p. 14-28. ISSN 0870 8312.
- [84] ANDRADE, M<sup>a</sup> de Fátima. Análise da morfologia e da resitência ao desgaste de revestimentos TiAlSiN efetuados por PVD. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [85] [http://voh.chem.ucla.edu/classes/Magnetic\\_fluids/pdf/Ferrofluid%20Teacher%20Manual%202005.pdf](http://voh.chem.ucla.edu/classes/Magnetic_fluids/pdf/Ferrofluid%20Teacher%20Manual%202005.pdf) [consultado em 2013-04-26]
- [86] VENKATARAMAN, G. *The many phases of matter*. India: Universities Press, 1991. ISBN 81 7371 034 1
- [87] SINGH, S. C. e outros. *Nanomaterials, Processing and Characterization with Lasers*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2012. ISBN 978 3 527 32715 7
- [88] [http://rnme.up.pt/in3/rnme\\_pr\\_3sem\\_en.htm](http://rnme.up.pt/in3/rnme_pr_3sem_en.htm) [consultado em 2013-07-07]
- [89] LOEBICH, Otto. The optical properties of gold. *Gold Bulletin* 1972, Vol 5, Issue 1, p. 2-10. ISSN 0017-1557.

- [90] HAISS, Wolfgang e outros. Determination of size and concentration of gold nanoparticles from UV-Vis spectra. *Analytical Chemistry* 2007, Vol 79, No 11, p. 4215-4221.
- [91] CAMPOS, A. L. C., MOREIRA, S. D., SILVA, C. J. R. e GOMES, M. J. M. Efeito de Tyndall em soluções coloidais de ouro. *Semana de la Nanociencia y la Nanotecnologia em Columbia 2013 (SNNC 2013)*. Medellin: Universidade de Antiqua, 2013, p. 56-57.
- [92] A. L. C., S. D. Moreira, C. J. R. Silva, M. J. M. Gomes – Tyndall Effect in gold colloidal solutions, *2do Simposio Iberoamericano de Divulgación y Formación en Nanotecnología, NANODYF'2013*, Medellin (Colombia), 15-19, Julho, 2013.
- [93] <http://www.mundofisico.joinville.udesc.br/index.php?idSecao=1&idSubSecao=&idTexto=300> [consultado em 2013-08-31]
- [94] <http://www.mobilemag.com/2010/08/13/darpa%E2%80%99s-butterfly-inspired-sensors-light-up-at-chemical-threats/> [consultado em 2013-08-31]
- [95] [http://royalsociety.org/uploadeFiles/Royal\\_Society\\_Content/policy/publications/2004/9693.pdf](http://royalsociety.org/uploadeFiles/Royal_Society_Content/policy/publications/2004/9693.pdf) [consultado em 2013-01-27]
- [96] [http://dge.mec.pt/metascurriculares/data/metascurriculares/E\\_Básico/eb\\_cfn\\_orient\\_curriculares\\_3c.pdf](http://dge.mec.pt/metascurriculares/data/metascurriculares/E_Básico/eb_cfn_orient_curriculares_3c.pdf) [consultado em 2013-01-27]
- [97] [http://www.dge.mec.pt/data/ensinosecundario/Programas/fisica\\_12.pdf](http://www.dge.mec.pt/data/ensinosecundario/Programas/fisica_12.pdf) [consultado em 2013-01-27]
- [98] [http://www.dge.mec.pt/data/ensinosecundario/Programas/fisica\\_quimica\\_a\\_10.pdf](http://www.dge.mec.pt/data/ensinosecundario/Programas/fisica_quimica_a_10.pdf) [consultado em 2013-01-27]
- [99] [http://www.dge.mec.pt/data/ensinosecundario/Programas/fisica\\_quimica\\_a\\_11.pdf](http://www.dge.mec.pt/data/ensinosecundario/Programas/fisica_quimica_a_11.pdf) [consultado em 2013-01-27]
- [100] [http://www.dge.mec.pt/data/ensinosecundario/Programas/fisica\\_quimica\\_b\\_10.pdf](http://www.dge.mec.pt/data/ensinosecundario/Programas/fisica_quimica_b_10.pdf) [consultado em 2013-01-27]
- [101] [http://www.dge.mec.pt/data/ensinosecundario/Programas/fisica\\_quimica\\_b\\_11.pdf](http://www.dge.mec.pt/data/ensinosecundario/Programas/fisica_quimica_b_11.pdf) [consultado em 2013-01-27]
- [102] [http://www.dge.mec.pt/data/ensinosecundario/Programas/quimica\\_12.pdf](http://www.dge.mec.pt/data/ensinosecundario/Programas/quimica_12.pdf) [consultado em 2013-01-27]
- [103] <http://www.anqep.gov.pt/default.aspx> [consultado em 2013-01-27]
- [104] SILVA, Antonio J. e Outros. *Zoom 7 – Terra em Transformação*. Revisão científica de Joaquim Esteves da Silva. 1ª Ed. Maia: Areal Editores, 2012. ISBN 978-989-647-377-8

## Anexos

### Anexo 1

#### Protocolo experimental para a síntese de nanopartículas de ouro

##### 1. Reagentes

- ↪ Ácido cloroáurico (III) trihidratado, pureza 99,9% (Sigma-Aldrich);
- ↪ Citrato de sódio diidratado, 99,0% (Sigma-Aldrich);
- ↪ Água ultrapura (todas as soluções aquosas foram preparadas com água ultrapura<sup>12</sup>).

##### 2. Material

- ↪ Balão volumétrico (10,000±0,025 ) mL;
- ↪ Balão volumétrico (50,00±0,06) mL;
- ↪ Micropipeta (1000) µL;
- ↪ Micropipeta (200) µL;
- ↪ Pipeta graduada (5,00±0,03) mL;
- ↪ Pipeta volumétrica (20,000±0,038) mL;
- ↪ Pompete;
- ↪ Vidro de relógio;
- ↪ Espátula (não metálica);
- ↪ Erlenmeyer 150 mL;
- ↪ Papel de alumínio<sup>13</sup>;
- ↪ Agitador magnético;
- ↪ Frascos para amostra;
- ↪ Garrafa de esguicho.



**Fig. A.54** – Material utilizado na síntese de Au-NPs.

##### 3. Equipamento

- ↪ Balança digital analítica (AND – GR200) [±0,1 mg];
- ↪ Placa de aquecimento com agitador magnético [Selecta; Agimatic - E];
- ↪ Termómetro digital [Heidolf EKT 3001];
- ↪ Luz laser de He-Ne (vermelho,  $\lambda = 670$  nm);
- ↪ Espectrofotómetro UV-Vis [Shimadzu; UV – 250 1PC].

<sup>12</sup> Obtida num equipamento Millipore em que a resistividade da água era de 18 M $\Omega$  cm @ 25 °C.

<sup>13</sup> As soluções, a concentrada como a diluída, de sal áurico podem ser preparadas previamente com bastante antecedência desde que sejam guardadas em frascos escuros, ou revestidos por papel de alumínio.

#### 4. Procedimento Experimental

- ↪ Preparar 10 cm<sup>3</sup> de uma solução aquosa de ácido cloroáurico (III) trihidratado de concentração 0,0257 mol/dm<sup>3</sup>;
- ↪ Embrulhar o balão volumétrico numa folha de papel de alumínio;
- ↪ Preparar 50 cm<sup>3</sup> de uma solução aquosa de ácido cloroáurico (III) trihidratado de concentração 5,14x10<sup>-4</sup> mol/dm<sup>3</sup> a partir da solução anterior;
- ↪ Embrulhar o balão volumétrico numa folha de papel de alumínio;
- ↪ Preparar 10 cm<sup>3</sup> de uma solução aquosa de citrato de sódio diidratado de concentração 0,0387 mol/dm<sup>3</sup>;
- ↪ Introduzir um agitador magnético no erlenmeyer;
- ↪ Adicionar ao erlenmeyer 20 cm<sup>3</sup> da solução diluída de ácido cloroáurico (III) trihidratado;
- ↪ Acoplar o termómetro digital à placa de aquecimento;
- ↪ Colocar o erlenmeyer com a solução diluída de ácido cloroáurico (III) trihidratado sobre a placa de aquecimento;
- ↪ Regular a temperatura da placa de aquecimento para valores compreendidos entre os 150 °C e os 180 °C, controlando-a com o termómetro digital;
- ↪ Regular a agitação produzida pela placa de aquecimento para as 400 rpm;
- ↪ Adicionar 2 cm<sup>3</sup> de solução de citrato de sódio diidratado no momento em que entra em ebulição;
- ↪ Diminuir, na placa, a temperatura para os 100 °C;
- ↪ Retirar 200 µl, com uma micropipeta de erro 0,6%, da mistura num intervalo de 20 s, aproximadamente, para diferentes frascos de amostras;
- ↪ Quando a solução atingir o vermelho vivo, desligar a placa de aquecimento;
- ↪ Fazer atravessar o feixe de luz laser de He-Ne pelas várias amostras recolhidas, pela solução inicial de ácido cloroáurico e por uma amostra de água pura;
- ↪ Medir a absorvância no espectrofotómetro UV-Vis da solução diluída de ácido cloroáurico (III) trihidratado e das amostras recolhidas.

#### 5. Cálculos auxiliares

- ↪ Para a preparação de 10 cm<sup>3</sup> da solução aquosa de ácido cloroáurico (III) trihidratado [HAuCl<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O] de concentração 0,0257 mol/dm<sup>3</sup> foi necessário determinar previamente a massa a medir deste sal. Assim, sabendo que a sua massa molar é de 393,84 g/mol temos que:

$$c = \frac{n}{V}; \quad n = \frac{m}{M} \Rightarrow c = \frac{m}{M \cdot V} \Leftrightarrow m = c \cdot M \cdot V \quad \text{onde, } c \text{ representa a concentração da solução em mol/dm}^3;$$

**M** a massa molar da substância em g/mol; e, **V** o volume da solução em dm<sup>3</sup>.

A massa de ácido cloroáurico (III) trihidratado [HAuCl<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O] a medir é de 0,1012 g.

- ↪ Para a preparação de 50 cm<sup>3</sup> da solução aquosa de ácido cloroáurico (III) trihidratado [HAuCl<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O] de concentração 5,14x10<sup>-4</sup> mol/dm<sup>3</sup> a partir da solução anterior foi necessário determinar previamente o volume desta solução inicial. Assim, sabendo que a quantidade química do sal é igual em ambas soluções (concentrada e diluída) e que  $c = \frac{n}{V}$  onde, **c** representa a concentração da solução em mol/dm<sup>3</sup>; e, **V** o volume da solução em dm<sup>3</sup>; tem-se que:  $n_i = n_f \Leftrightarrow c_i \cdot V_i = c_f \cdot V_f \Leftrightarrow V_i = \frac{c_f \cdot V_f}{c_i}$  onde, **c<sub>f</sub>** representa a concentração da solução diluída em mol/dm<sup>3</sup>; **V<sub>f</sub>** o volume da solução diluída em dm<sup>3</sup>; **c<sub>i</sub>** representa a concentração da solução concentrada em mol/dm<sup>3</sup>; e, **V<sub>i</sub>** o volume da solução concentrada em dm<sup>3</sup>.  
O volume da solução concentrada de ácido cloroáurico (III) trihidratado [HAuCl<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O] a medir é de 1 cm<sup>3</sup>.

- ↪ Para a preparação de 10 cm<sup>3</sup> da solução aquosa de citrato de sódio diidratado [C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub>·2H<sub>2</sub>O] de concentração 0,0387 mol/dm<sup>3</sup> foi necessário determinar previamente a massa a medir deste sal. Assim, sabendo que a sua massa molar é de 294,12 g/mol temos que:  
 $c = \frac{n}{V}$ ;  $n = \frac{m}{M} \Rightarrow c = \frac{m}{M \cdot V} \Leftrightarrow m = c \cdot M \cdot V$  onde, **c** representa a concentração da solução em mol/dm<sup>3</sup>; **M** a massa molar da substância em g/mol; e, **V** o volume da solução em dm<sup>3</sup>.  
A massa de citrato de sódio diidratado [C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub>·2H<sub>2</sub>O] a medir é de 0,1138 g.

## Anexo 2

### Protocolo experimental para produção de filmes finos de ouro

#### 1. Reagentes/Produtos químicos

- ↪ Ouro, pureza (99,99% puro);
- ↪ Álcool etílico 96% (V/V).

#### 2. Material

- ↪ Lamelas de vidro de sílica<sup>14</sup> (76x26x1) mm.

#### 3. Equipamento

- ↪ Balança (AND – GR200) [10,0±0,1] mg;
- ↪ Evaporador térmico resistivo;
- ↪ Espectrofotómetro UV-Vis [Shimadzu; UV – 310 1PC];
- ↪ Microscópio eletrónico de varimento [SEM JSM 35C/Noran Voyager].

#### 4. Procedimento experimental

- ↪ Separar 30 lamelas e lavá-las com álcool etílico;
- ↪ Medir diferentes gramagens de ouro (Au a 99,99%): 1,051 mg; 4,683 mg; 14,180 mg; 18,976 mg e 111,617 mg;
- ↪ Introduzir cada amostra de Au a ser evaporada na barquinha de tungsténio do evaporador térmico resistivo;
- ↪ Introduzir três lamelas no apoio de substratos do evaporador térmico;
- ↪ Fechar a câmara de vácuo;
- ↪ Aplicar ao sistema evaporador térmico resistivo uma corrente elétrica de [220; 230] A e 1,5 V;
- ↪ Sujeitar cada amostra a uma pressão de vapor<sup>15</sup> de aproximadamente de  $1,20 \times 10^{-6}$  mbar;
- ↪ Esperar cerca de 10 minutos antes de reabrir a campânula;
- ↪ Recolher as amostras depositadas nas lamelas;
- ↪ Colar novas lamelas sobre as recolhidas para melhor armazenamento.

---

<sup>14</sup> Lâminas de microscópio.

<sup>15</sup> A pressão exercida pelo vapor de uma substância líquida, em equilíbrio com essa mesma fase, a uma dada temperatura, chama-se pressão de vapor [39].

## Anexo 3

### Protocolo experimental para síntese de nanopartículas de óxido de ferro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) na forma de um material ferrofluídico

#### 1. Reagentes/Produtos químicos

- ↪ Cloreto de ferro (III) hexahidratado (Panreac);
- ↪ Cloreto de ferro (II), 99% (Acros);
- ↪ Amoníaco 25% (m/V) (Chem-Lab NV);
- ↪ Hidróxido de tetrameilamónio 25% (m/m) em água (Sigma-Aldrich);
- ↪ Magnetite em pó, powder < 5  $\mu\text{M}$ , 95% (Sigma-Aldrich);
- ↪ Água ultrapura (todas as soluções aquosas foram preparadas com água ultrapura<sup>16</sup>).

#### 2. Material

- ↪ Erlenmeyer 250 mL;
- ↪ 2 Gobelés 50 mL;
- ↪ Gobelé 100 mL;
- ↪ Pipeta graduada (2,00±0,03) mL;
- ↪ Pipeta graduada (5,00±0,03) mL;
- ↪ Pipeta graduada (10,00±0,04) mL;
- ↪ Pipeta volumétrica (100,00±0,08) mL;
- ↪ Pompete;
- ↪ Pipeta de Pasteur;
- ↪ Espátula;
- ↪ Vareta de vidro;
- ↪ Agitador magnético;
- ↪ Frascos para amostra;
- ↪ Barquinha de plástico;
- ↪ Garrafa de esguicho;
- ↪ Íman<sup>17</sup> forte (de preferência de superfície esférica).

#### 3. Equipamento

- ↪ Balança (AND – GR200) [10,0±0,1] mg;
- ↪ Placa de aquecimento com agitador magnético [Selecta; Agimatic - E];

<sup>16</sup> Obtida num equipamento Millipore em que a resistividade da água era de 18 M $\Omega$  cm @ 25 °C.

<sup>17</sup> Um íman é um objecto feito de ferro, aço, níquel ou cobalto que cria um campo magnético à sua volta [20].

#### 4. Procedimento experimental

- Preparar 8 cm<sup>3</sup> de uma solução aquosa de cloreto de ferro (III) hexahidratado de concentração 1 mol/dm<sup>3</sup>;
- Preparar 2 cm<sup>3</sup> de uma solução aquosa de cloreto de ferro (II) de concentração 2 mol/dm<sup>3</sup>;
- Preparar 100 cm<sup>3</sup> de uma solução aquosa de amoníaco de concentração 0,5 mol/dm<sup>3</sup>;
- Introduzir um agitador magnético no erlenmeyer;
- Misturar as soluções aquosas de ferro no erlenmeyer sob agitação lenta (100 rpm);
- Adicionar gota a gota a solução aquosa de amoníaco, muito lentamente durante os primeiros 10 minutos, podendo ser mais rápido no volume final (aproximadamente nos últimos 20 cm<sup>3</sup>);
- Desligar a rotação na placa de aquecimento no final da adição da solução de amoníaco;
- Colocar o erlenmeyer sobre o íman e decantar a solução aquosa transparente em excesso<sup>18</sup> sem mexer no íman;
- Adicionar uma pequena quantidade de água ao erlenmeyer e transferir a solução coloidal de cor negra para a barquinha de plástico;
- Colocar a barquinha sobre o íman e desprezar o excesso de água;
- Lavar com pequenas porções de água o ferrofluido (duas vezes);
- Retirar o máximo de água possível de modo a obter um ferrofluido viscoso<sup>19</sup>;
- Adicionar 2 cm<sup>3</sup> de hidróxido de tetrameilamónio 25%;
- Agitar a barquinha durante dois minutos, aproximadamente;
- Pousar a barquinha sobre o íman e remover o líquido de cor negra em excesso;
- Transferir o ferrofluido para o frasco de amostra.

#### 5. Cálculos auxiliares

- Para a preparação de 8 cm<sup>3</sup> da solução aquosa de cloreto de ferro (III) hexahidratado [FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O] de concentração 1 mol/dm<sup>3</sup> foi necessário determinar previamente a massa a medir deste sal. Assim, sabendo

que a sua massa molar é de 270,33 g/mol temos que:  $c = \frac{n}{V}$ ;  $n = \frac{m}{M} \Rightarrow c = \frac{m}{M \cdot V} \Leftrightarrow m = c \cdot M \cdot V$

onde, **c** representa a concentração da solução em mol/dm<sup>3</sup>; **M** a massa molar da substância em g/mol; e, **V** o volume da solução em dm<sup>3</sup>.

A massa de cloreto de ferro (III) hexahidratado [FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O] a medir é de 2,1625 g.

- Para a preparação de 2 cm<sup>3</sup> da solução aquosa de cloreto de ferro (II) [FeCl<sub>2</sub>] de concentração 2 mol/dm<sup>3</sup> foi necessário determinar previamente a massa a medir deste sal. Assim, sabendo que a sua massa molar é de

126,74 g/mol temos que:  $c = \frac{n}{V}$ ;  $n = \frac{m}{M} \Rightarrow c = \frac{m}{M \cdot V} \Leftrightarrow m = c \cdot M \cdot V$  onde, **c** representa a

<sup>18</sup> A separação é evidente: o ferrofluido é atraído pelo e a solução aquosa transparente fica por cima.

<sup>19</sup> Visualizar picos à medida que a barquinha é movida.

concentração da solução em mol/dm<sup>3</sup>; **M** a massa molar da substância em g/mol; e, **V** o volume da solução em dm<sup>3</sup>.

A massa de cloreto de ferro (II) [FeCl<sub>2</sub>] a medir é de 0,5070 g.

- ↳ Para a preparação de 100 cm<sup>3</sup> da solução aquosa de amoníaco [NH<sub>3</sub>] de concentração 0,5 mol/dm<sup>3</sup> foi necessário determinar previamente o volume a medir da solução aquosa de amoníaco a 25% (m/V). Assim, sabendo que a massa molar do amoníaco é de 17,03 g/mol, a densidade da solução aquosa de amoníaco a 25% é de 0,91 g/cm<sup>3</sup> e que o volume da solução inicial é de 1 dm<sup>3</sup> temos que:  $\rho = \frac{m}{V}$  onde, **ρ** representa a massa volúmica da solução em g/dm<sup>3</sup>; **m** a massa da solução em g; e, **V** o volume da solução em dm<sup>3</sup>. Desta equação determina-se a massa da solução que substituindo em  $\%(m/m) = \frac{m_{\text{solute}}}{m_{\text{solução}}} \times 100$ ;  $n = \frac{m}{M}$  onde, **n** representa a quantidade química de amoníaco em mol; **m** a massa do soluto em g; e, **M** a massa molar do amoníaco em g/mol, é possível determinar a quantidade química de amoníaco existente em 1 dm<sup>3</sup> de solução a 25%. Como a quantidade química de amoníaco é igual em ambas soluções (concentrada e diluída) e que  $c = \frac{n}{V}$  onde, **c** representa a concentração da solução em mol/dm<sup>3</sup>; e, **V** o volume da solução em dm<sup>3</sup>; tem-se que:  $n_i = n_f \Leftrightarrow c_i \cdot V_i = c_f \cdot V_f \Leftrightarrow V_i = \frac{c_f \cdot V_f}{c_i}$  onde, **c<sub>i</sub>** representa a concentração da solução diluída em mol/dm<sup>3</sup>; **V<sub>f</sub>** o volume da solução diluída em dm<sup>3</sup>; **c<sub>f</sub>** representa a concentração da solução concentrada em mol/dm<sup>3</sup>; e, **V<sub>i</sub>** o volume da solução concentrada em dm<sup>3</sup>.
- O volume da solução de amoníaco [NH<sub>3</sub>] a 25% a medir é de 3,742 cm<sup>3</sup>.

## Anexo 4

### Carta de apresentação e Inquérito aos professores

	<b>Mestrado em Ciências</b> <b>Formação Contínua de Professores - Física e Química</b> <i>Nanociência e nanotecnologia nos Ensinos Básico (3º ciclo) e Secundário</i>
<b>Universidade do Minho - Escola de Ciências</b>	

Exmo(a) Diretor(a),

Chamo-me Ana Luísa Campos, sou professora de Física e Química na Escola Básica e Secundária de Celorico de Basto e encontro-me a fazer um Mestrado em Ciências – Formação Contínua de Professores em Física e Química sob o tema «Nanociência e Nanotecnologia nos Ensinos Básicos (3º ciclo) e Secundário» na Universidade do Minho, integrado no Projeto Europeu NanoDYF.

Para cumprir um dos objetivos do meu projeto, necessitava da colaboração dos professores de Física e Química para responderem a um inquérito, a nível nacional, que não ocupará mais de cinco minutos.

É neste sentido, que solicito e agradeço a sua ajuda ao encaminhar este documento e o em anexo para todos os professores de Física e Química da sua escola/agrupamento.

O inquérito poderá ser respondido em suporte de papel ou online de acordo com o endereço <https://docs.google.com/forms/d/1qBxH4lJ1a7w8Azfi0fPSVQWFEFjxGk58RltkpSpbdjuo/viewform> até à data limite de 15 de Abril de 2013. Os inquéritos respondidos em suporte de papel deverão ser enviados para o endereço:

Ana Luísa Campos c/ Prof Maria Gomes  
Departamento de Física, Escola de Ciências  
Campus de Gualtar  
4710 -057 Braga

Os meus agradecimentos,

Ana Luísa Campos.



Universidade do Minho - Escola de Ciências

Mestrado em Ciências

Formação Contínua de Professores - Física e Química

Nanociência e nanotecnologia nos Ensinos Básico (3º ciclo) e Secundário

### BREVE INTRODUÇÃO

O inquérito que se segue foi realizado no âmbito do Mestrado em Ciências – Formação Contínua de Professores em Física e Química sob o tema «Nanociência e Nanotecnologia nos Ensinos Básicos (3º ciclo) e Secundário» e integrado no Projeto Europeu NanoDYF (<http://www.nanodyf.org/>).

Pretende-se com este inquérito recolher informação, a nível nacional, sobre a introdução do tema «nanociência e nanotecnologia» e respetiva abordagem nos ensinos básico (3º ciclo) e secundário.

A nanociência e nanotecnologia é uma realidade na sociedade tecnológica atual e já se encontram aplicações na indústria alimentar nomeadamente nas embalagens de alimentos; na cosmética; na medicina...

Neste sentido, agradece-se a colaboração de todos os professores de Física e Química, respondendo ao inquérito até ao dia 15 de Abril de 2013.

### INQUÉRITO

Para a sua comodidade, pode responder o inquérito online:

<https://docs.google.com/forms/d/1qBxH4J1a7w8Azfi0FPSVQWFEFjxGk58RlIkpSpbdjuo/viewform>

1. Considera importante a abordagem do tema em contexto escolar pré-universitário?

(assinale com uma cruz (x) as opções com as quais concorda)

- Sim,  no ensino básico (1º e 2º ciclo)     no ensino básico (3º ciclo)     no ensino secundário
- nos cursos de educação e formação (CEF – básico)
- nos cursos de educação e formação (CEF – secundário)
- nos cursos profissionais     no ensino para adultos

Não deve ser introduzido no ensino pré-universitário.

2. Na sua opinião, a introdução ao tema referido deve...

(assinale com uma cruz (x) as opções com as quais concorda)

- ...constituir um conteúdo específico de estudo a integrar nos programas curriculares.
- ...ser de carácter transversal aos conteúdos já previstos nos programas.
- ...ser feito em atividades extra-curriculares.

3. Da sua experiência, enquanto profissional, já abordou o tema «nanociência e nanotecnologia» com alunos?

(assinale com uma cruz (x) as opções com as quais concorda)

- Não.     Sim.

4. Se respondeu «não» à pergunta anterior, identifique o(s) motivo(s) que fundamentam a sua opção:

(assinale com uma cruz (x) as opções com as quais concorda)

- Não acho relevante a introdução da «nanociência e nanotecnologia» no ensino pré-universitário.
- Não se adequa aos níveis de ensino que alguma vez leccionei.
- Não se enquadra nos programas curriculares dos anos que já leccionei.
- Por falta de tempo devido à extensão dos programas.
- Por não me sentir devidamente preparado(a) para falar sobre o tema.
- Por falta de materiais adequados.
- Outro. \_\_\_\_\_

5. Se respondeu «sim» à pergunta 3, descreva, sumariamente, como, com que finalidade, qual o público alvo e qual foi a recepção por parte deste.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. Relativamente à questão anterior, assinale o(s) quadro(s) de zona pedagógica onde desenvolveu o tema.

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> 01-Aveiro                              | <input type="checkbox"/> 10-Leiria                               |  |
| <input type="checkbox"/> 02-Baixo Alentejo/<br>Alentejo Litoral | <input type="checkbox"/> 11-Cidade Lisboa e<br>Zona Norte Lisboa | <input type="checkbox"/> 18-Viseu                  |
| <input type="checkbox"/> 03-Braga                               | <input type="checkbox"/> 12-Alto Alentejo                        | <input type="checkbox"/> 19-Oeste                  |
| <input type="checkbox"/> 04-Bragança                            | <input type="checkbox"/> 13-Porto                                | <input type="checkbox"/> 20-Douro Sul              |
| <input type="checkbox"/> 05-Castelo Branco                      | <input type="checkbox"/> 14-Lezíria e Médio Tejo                 | <input type="checkbox"/> 21-Entre Douro e<br>Vouga |
| <input type="checkbox"/> 06-Coimbra                             | <input type="checkbox"/> 15-Península de<br>Setúbal              | <input type="checkbox"/> 22-Tâmega                 |
| <input type="checkbox"/> 07-Alentejo Central                    | <input type="checkbox"/> 16-Viana do Castelo                     | <input type="checkbox"/> 23-Lisboa Ocidental       |
| <input type="checkbox"/> 08-Algarve                             | <input type="checkbox"/> 17-Vila Real                            | <input type="checkbox"/> Madeira                   |
| <input type="checkbox"/> 09-Guarda                              |  | <input type="checkbox"/> Açores                    |

Se desejar, deixe o seu contacto para obter informações sobre este projeto a decorrer no Departamento de Física na Universidade do Minho: \_\_\_\_\_

Obrigada pela sua colaboração!

## Anexo 5

### Plano de aula 10º ano

	<b>Universidade do Minho</b> <b>Escola de Ciências</b>	<b>Mestrado em Ciências</b> <b>Formação Contínua de Professores - Física e Química</b> <i>Nanociência e nanotecnologia nos Ensinos Básico (3º ciclo) e Secundário</i>	<b>Disciplina:</b> <u>Física e Química A, 10º Ano</u> <b>Unidade Temática:</b> <u>Na atmosfera da Terra</u>

#### Objetivo da aula/Competências a desenvolver nos alunos:

Pretende-se com esta aula que os alunos sejam capazes de...

- ...indicar o significado de solução, colóide e suspensão e distingui-los uns dos outros;
- ...identificar soluções, colóides e suspensões do quotidiano;
- ...preparar, experimentalmente, soluções de concentração conhecida;
- ...selecionar material adequado à preparação de uma solução;
- ...explicitar as etapas e procedimento necessários à preparação de uma solução tanto a partir de um soluto sólido como por diluição de outra solução;
- ...preparar, experimentalmente, colóides;
- ...criar situações em que se observem suspensões;
- ...interpretar o comportamento de soluções, de colóides e de suspensões face à incidência de luz branca;
- ...interpretar o comportamento de soluções, de colóides e de suspensões face à incidência de em feixe de luz monocromática.

Sub-unidade (nº aulas) Conceitos e Princípios	Nível de formulação inicial		Nível de formulação desejado	Estratégias/Atividades
	Concepções cientificamente aceites	Concepções alternativas		
<b>Atmosfera:</b> <b>temperatura,</b> <b>pressão e</b> <b>densidade em</b> <b>função da</b> <b>altitude</b> (1 aula, 90')				Dependendo do material, equipamento e tempo que o professor tem disponível, este poderá optar por realizar a atividade com os alunos (em demonstração ou não) ou por exibição do vídeo de apoio (anexo 1).  Em diálogo com os alunos, o professor deverá recordar os conceitos de base a esta atividade e já trabalhados nas aulas anteriores, nomeadamente os termos solução, colóide e suspensão; bem como a forma de distingui-los uns dos outros.

Universidade do Minho

Mestrado em Ciências – Formação Contínua de Professores – Física e Química

FQA – 10º ano, Na atmosfera da Terra

Sub-unidade (nº aulas) Conceitos e Princípios	Nível de formulação inicial		Nível de formulação desejado	Estratégias/Atividades
	Concepções cientificamente aceites	Concepções alternativas		
Solução	<b>Solução</b> é uma mistura homogénea constituída por um ou mais solutos e um único solvente. (CFQ, 7º ano)		<b>Solução</b> é uma mistura homogénea, constituída por uma única fase. As partículas constituintes apresentam um diâmetro médio inferior a 1 nm pelo que não são visíveis nem recorrendo a um microscópio eletrónico de elevada resolução.	Durante este período o professor deverá introduzir o conceito de nanopartícula e explorar, de uma forma muito básica e sintética algumas das suas propriedades físicas e químicas.
Colóide	<b>Mistura homogénea</b> é uma mistura de duas ou mais substâncias que apresentam aspecto uniforme em toda a sua extensão, constituindo uma única fase. (CFQ, 7º ano) <b>Mistura heterogénea</b> é uma mistura de duas ou mais substâncias em que algumas permanecem fisicamente separadas. (CFQ, 7º ano)		<b>Colóide</b> forma-se quando as partículas do material disperso ficam disseminadas no seio de um dispersante, sem sofrerem deposição por ação da gravidade, apresentando-se, aparentemente, como uma mistura homogénea. No entanto, quando observados por processos específicos de análise mostram ser constituídos por mais do que uma fase. As partículas constituintes, <u>nanopartículas</u> , apresentam dimensões que variam entre 1 nm e 1 µm, proporcionando grande estabilidade o que torna impraticável a sua separação por processos comuns como a filtração. As nanopartículas possuem propriedades físicas e químicas dependentes do seu tamanho e forma.	Assim, o professor deverá dar a conhecer à turma que as nanopartículas são partículas cujas dimensões variam entre um nanómetro e um micrometro; proporcionando grande estabilidade, sendo impraticável a sua separação por processos comuns como a filtração. Para alguns tipos de nanopartículas as propriedades químicas e físicas, designadamente a cor, dependem do tamanho, da forma e da substância em que estão imersas. Deverá realçar igualmente que as nanopartículas apresentam propriedades distintas dos materiais à escala macroscópica, o que as torna elementos relevantes para diversas aplicações, em particular: (bio)sensores; electrocatálise; desenvolvimento de dispositivos electrónicos...
Nanopartícula	<b>Fase</b> é a parte homogénea de um sistema que se encontra separada fisicamente das outras partes do sistema. (CFQ, 7º ano) <b>Luz</b> é constituída por radiações de vários comprimentos de onda, em que a luz visível, para o olho humano, conhecida por "luz branca", está compreendida entre os comprimentos de onda 400 e 750 nm. (CFQ, 8º ano)		Antes de dar início à atividade prática (ou visualização do vídeo), o professor deverá distribuir a respetiva ficha de apoio (anexo 2 ou 3) pelos alunos e chamar a atenção destes para os objetivos da mesma de modo a que, ao longo desta, possam tomar as notas necessárias.	Concluída a atividade, os alunos serão convidados a partilhar as observações com a turma de modo a proporcionar a devida discussão e conduzirem-se mutuamente às conclusões esperadas.
Suspensão	<b>Cor</b> resulta da mistura de luz de diversos comprimentos de onda, sendo o resultado da absorção seletiva da luz branca pelas substâncias. (CFQ, 8º ano)		<b>Suspensão</b> é uma mistura heterogénea de dois ou mais constituintes (agregados de numerosas partículas) que, passado algum tempo em repouso, se separam. As partículas constituintes da fase dispersa	Durante este debate é essencial que o professor faça com que os alunos recordem as noções de luz e cor lecionadas no 8º ano. Os alunos deverão ter presente que a cor não é uma propriedade intrínseca dos materiais, mas sim o resultado da interação da radiação com o material e a respetiva interpretação sensorial.

Ana Luísa Carvalho de Campos

2

Universidade do Minho

Mestrado em Ciências – Formação Contínua de Professores – Física e Química

FQA – 10º ano, Na atmosfera da Terra

Sub-unidade (nº aulas) Conceitos e Princípios	Nível de formulação inicial		Nível de formulação desejado	Estratégias/Atividades
	Concepções cientificamente aceites	Concepções alternativas		
Efeito de Tyndall			têm uma dimensão superior a 1 µm. <b>Efeito de Tyndall</b> consiste na dispersão da luz pelas partículas que constituem os sistemas coloidais.	Deverão recordar-se também que, quando a luz branca atravessa um meio ótico, sofre modificação, sendo determinados comprimentos de onda absorvidos, aparecendo o meio colorido ao observador: ao olho humano apenas chega a fração de luz transmitida ou refletida, dita complementar da fração que é absorvida; os comprimentos de onda da fração que o meio transmite ou reflete definem a cor do meio para o observador. Como exemplo, o professor poderá mostrar o gráfico de absorção obtido pelo espectrofotómetro para as diferentes amostras (anexo 4), realçando o pico máximo de absorção de cada uma. Deste modo os alunos poderão estabelecer a correspondência entre os comprimentos de onda ao qual se dá a absorção máxima e o que é transmitido ao observador. Aquando a discussão do efeito de Tyndall, o professor deverá chamar a atenção para o diâmetro do feixe, aproximadamente cinco milímetros, quando atravessa o ar. E pedir para que os alunos comparem o feixe aquando este atravessa as diferentes amostras. Registadas as principais conclusões (anexo 5), e para dar início à resolução das questões pós-laboratoriais, o professor faz incidir o feixe laser sobre uma amostra de uma suspensão. Como suspensão o professor poderá usar uma mistura de água com pequenos grãos de areia ou cinza. Os alunos deverão resolver as questões pós-laboratoriais individualmente ou em pares. O professor prestará auxílio pelos lugares.

Ana Luísa Carvalho de Campos

3

## Anexo 5.1

### Ficha Laboratorial 10º ano

		<b>AGRUPAMENTO DE ESCOLAS DE CELORICO DE BASTO</b>		<b>FÍSICA E QUÍMICA A 10º</b> <b>FICHA LABORATORIAL</b>	
Nome/Grupo:		Nº:		Turma:	

Deverá responder às perguntas de modo sucinto e claro, aplicando conhecimentos científicos de Física e Química.

**Título:** Dispersões: soluções e colóides

#### Objetivos:

- Preparar experimentalmente sistemas coloidais;
- Observar e interpretar a cor de soluções e de sistemas coloidais quando observados sob a incidência de luz branca;
- Observar e interpretar a passagem de um feixe de luz monocromática através de soluções e de sistemas coloidais.

#### Notas Teóricas:

As dispersões são misturas de duas ou mais substâncias em que as partículas de uma fase (fase dispersa) distribuem-se no seio de outra (fase dispersante), podendo ser classificadas quanto ao tamanho das partículas da fase dispersa como: soluções, sistemas coloidais e suspensões.

As soluções são misturas homogêneas que constituem uma única fase. As suas partículas constituintes apresentam um diâmetro médio inferior a 1 nm pelo que não são visíveis nem recorrendo a um microscópio de alto poder de resolução.

Os sistemas coloidais formam-se quando as partículas do material disperso ficam disseminadas no seio de um dispersante, sem sofrerem deposição por ação da gravidade, apresentando-se, aparentemente, como uma mistura homogênea. No entanto, quando observados por processos específicos de análise mostram ser constituídos por mais do que uma fase.

Estes sistemas são constituídos por partículas extremamente pequenas - nanopartículas, cujas dimensões variam entre 1 nm e 1 µm, apresentando grande estabilidade o que torna impraticável a sua separação por processos comuns como a filtração. As nanopartículas possuem propriedades físicas e químicas dependentes do seu tamanho e forma. Quando são atravessadas por um feixe de luz, provocam a sua difusão – efeito de Tyndall.

	<b>Solução</b>	<b>Colóide</b>	<b>Suspensão</b>
<b>Dimensão das partículas</b>	< 1 nm	1 a 1 000 nm	> 1 000 nm (1 µm)
<b>Interação com a luz (Efeito de Tyndall)</b>	Não Feixe laser invisível	Sim Feixe laser cilíndrico evidente e nitido	Sim Feixe laser sofre espalhamento
<b>Deposição</b>	Não	Não	Sim

#### Material:

- Proveta 20 mL;
- Micropipeta 2 mL;
- Erlenmeyer 50 mL;
- Pinça de madeira;
- Agitador magnético;
- Frascos de amostras transparentes.

**Reagentes:**

- Solução diluída de ácido cloráurico triidratado;
- Solução de citrato de sódio diidratado [0,0387 mol/dm<sup>3</sup>];
- Água destilada.

**Equipamento:**

- Luz laser de He-Ne (vermelho,  $\lambda = 670$  nm);
- Placa de aquecimento com agitador magnético.

**Procedimento:**

1. Colocar uma barra agitadora magnética num erlenmeyer;
2. Adicionar ao erlenmeyer 20 ml de solução diluída de ácido cloráurico triidratado;
3. Colocar o erlenmeyer sobre a placa de aquecimento a temperatura compreendida entre os 150/180 °C e velocidade média/baixa;
4. Adicionar 2 ml de solução de citrato de sódio diidratado no momento em que entra em ebulição;
5. Diminuir, na placa, a temperatura para os 100 °C;
6. Aguardar e retirar 2 ml da mistura num intervalo de 20 s, aproximadamente, para os frascos de amostras;
7. Observar as mudanças de cor;
8. Quando a solução atingir o vermelho vivo, desligar a placa de aquecimento;
9. Fazer atravessar o feixe de luz laser de He-Ne pelas várias amostras recolhidas, pela solução inicial de ácido cloráurico e por uma amostra de água pura.

**Observações:**

- Registe as cores observadas da solução inicial e da mistura durante o aquecimento:



- Registe o que se observa quando se fez atravessar o feixe de luz laser pelas várias amostras:

**Discussão/Conclusão:**

- Discuta os resultados com os seus colegas e regista as principais conclusões.

**Questões Pós-Laboratoriais:**

1. Faça incidir o feixe laser sobre uma amostra de uma suspensão (fornecida pelo professor). Observe o trajeto definido pelo feixe e registre as suas conclusões.
2. A solução diluída de ácido cloráurico triidratado foi preparada através da diluição de 1 cm<sup>3</sup> de solução concentrada [0,0257 mol/dm<sup>3</sup>] num balão volumétrico de 50 cm<sup>3</sup>. Determine a concentração da solução diluída.
3. Preparou-se 10 ml da solução de citrato de sódio diidratado (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub>·2H<sub>2</sub>O) com uma concentração de 0,0387 mol/dm<sup>3</sup> a partir do sólido. Descreva o procedimento que se deveria ter adotado, apresentando todos os cálculos necessários.
4. As soluções de ácido cloráurico triidratado preparadas, tanto a concentrada como a diluída, foram armazenadas num recipiente revestido por papel de alumínio. Preveja um motivo para tal procedimento.
5. Uma das propriedades identificativas do ouro maciço é a sua cor – amarelo metálico (“dourado”), que se deve à reflexão de determinados comprimentos de onda da luz branca que sobre ele incide. Contudo, as soluções preparadas laboratorialmente apresentaram diferentes cores, sob luz branca, facilmente observadas durante a atividade.

É usual, e incorreto, pensar na cor como uma propriedade intrínseca dos objetos. Na verdade, vê-se a luz que o objeto transmite ou reflete. A cor percebida depende da fonte de luz (espectro de emissão) e da substância (interação da radiação com o material). Recordando os conhecimentos adquiridos no 8º ano: a cor que se vê resulta da mistura de luz de diversos comprimentos de onda, sendo o resultado da absorção seletiva da luz branca pelas substâncias. Isto é, ao olho humano apenas chega a fração de luz difundida, dita complementar da fração que é absorvida. Esta relação é muitas vezes demonstrada, de uma forma simples, com uma roda<sup>1</sup> de cores como a que se apresenta na figura 1.

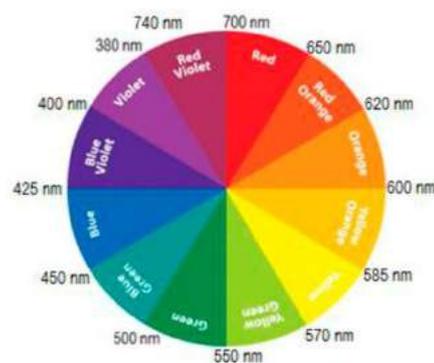
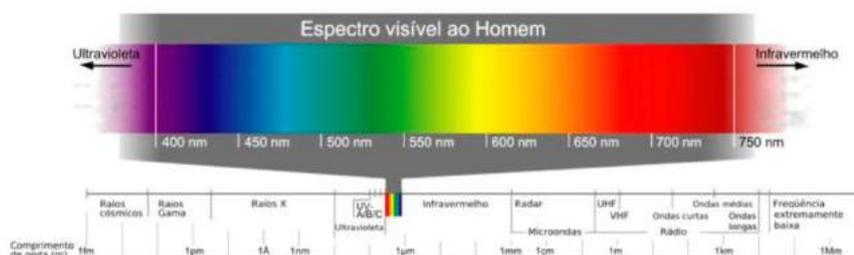


fig. 1 Roda de cores complementares



<sup>1</sup> Note-se que esta roda é um modelo aproximado para facilitar a previsão da cor que uma substância apresenta face ao comprimento de onda máximo de absorção.

5.1. Sabendo que as mudanças de cor observadas nesta experiência não se devem à alteração do elemento químico que constitui as partículas, preveja um motivo para o observado.

5.2. Com base nesta informação complete a tabela que se segue:

	Água	SC	SD	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Cor observada										
$\lambda_{\text{máx}}$ (nm) absorção										
$\lambda_{\text{máx}}$ (nm) transmissão										

6. Tendo em conta que o número de nanopartículas existente em cada amostra é o mesmo e que todas as nanopartículas apresentam igual forma, o que poderá concluir sobre o tamanho destas baseando-se apenas na sua cor?
7. Na atividade realizada, qual será o estado físico do meio disperso do colóide preparado? E do meio dispersante?
8. Dê exemplos de soluções e sistemas coloidais que pode encontrar em situações do quotidiano.
9. Porque é o céu azul e o pôr do sol avermelhado? Responda recorrendo aos conhecimentos adquiridos com esta atividade e com a A.L. 2.1 do seu manual.
10. Classifique as seguintes proposições como verdadeiras (V) ou falsas (F):
- O efeito de Tyndall é observável quando a luz visível atravessa sistemas coloidais.
  - A luz de um farol ao atravessar a atmosfera sofre dispersão devido às propriedades químicas das partículas que constituem o nevoeiro.
  - Os *sprays* constituem um aerosol em que as fases dispersa e dispersante se encontram ambas no estado líquido.
  - As partículas constituintes das dispersões coloidais são visíveis ao microscópio eletrónico de elevada resolução.
  - As partículas constituintes das suspensões possuem dimensões inferiores a 1 nm.
  - Um feixe de luz vermelha, ao atravessar uma solução aquosa de cloreto de sódio, deixa um rasto através da solução.

😊 Bom trabalho!

## Anexo 5.2

### Ficha Laboratorial 10º ano (apoio vídeo)

		UNIVERSIDADE DO MINHO – ESCOLA DE CIÊNCIAS		FÍSICA E QUÍMICA A 10º FICHA LABORATORIAL	
Nome/Grupo:		Nº:		Turma:	

Deverá responder às perguntas de modo sucinto e claro, aplicando conhecimentos científicos de Física e Química.

**Título:** Dispersões: soluções e colóides

**Objetivos:**

- Visualizar uma preparação experimental de sistemas coloidais;
- Observar e interpretar a cor de soluções e de sistemas coloidais quando observados sob a incidência de luz branca;
- Observar e interpretar a passagem de um feixe de luz monocromática através de soluções e de sistemas coloidais.

**Notas Teóricas:**

As dispersões são misturas de duas ou mais substâncias em que as partículas de uma fase (fase dispersa) distribuem-se no seio de outra (fase dispersante), podendo ser classificadas quanto ao tamanho das partículas da fase dispersa como: soluções, sistemas coloidais e suspensões.

As soluções são misturas homogéneas que constituem uma única fase. As suas partículas constituintes apresentam um diâmetro médio inferior a 1 nm pelo que não são visíveis nem recorrendo a um microscópio de alto poder de resolução.

Os sistemas coloidais formam-se quando as partículas do material disperso ficam disseminadas no seio de um dispersante, sem sofrerem deposição por ação da gravidade, apresentando-se, aparentemente, como uma mistura homogénea. No entanto, quando observados por processos específicos de análise mostram ser constituídos por mais do que uma fase.

Estes sistemas são constituídos por partículas extremamente pequenas - nanopartículas, cujas dimensões variam entre 1 nm e 1 µm, apresentando grande estabilidade o que torna impraticável a sua separação por processos comuns como a filtração. As nanopartículas possuem propriedades físicas e químicas dependentes do seu tamanho e forma. Quando são atravessadas por um feixe de luz, provocam a sua difusão – efeito de Tyndall.

	<b>Solução</b>	<b>Colóide</b>	<b>Suspensão</b>
<b>Dimensão das partículas</b>	< 1 nm	1 a 1 000 nm	> 1 000 nm (1 µm)
<b>Interação com a luz (Efeito de Tyndall)</b>	Não Feixe laser invisível	Sim Feixe laser cilíndrico evidente e nítido	Sim Feixe laser sofre espalhamento
<b>Deposição</b>	Não	Não	Sim

**Procedimento:**

1. Observe atentamente o vídeo «Nanopartículas de ouro» em <http://youtu.be/f4JXVwOQFos>

**Observações:**

- Registe as cores observadas da solução inicial e da mistura durante o aquecimento:



- Registe o que se observa quando se fez atravessar o feixe de luz laser pelas várias amostras:

**Discussão/Conclusão:**

- Discuta os resultados com os seus colegas e regista as principais conclusões.

**Questões Pós-Laboratoriais:**

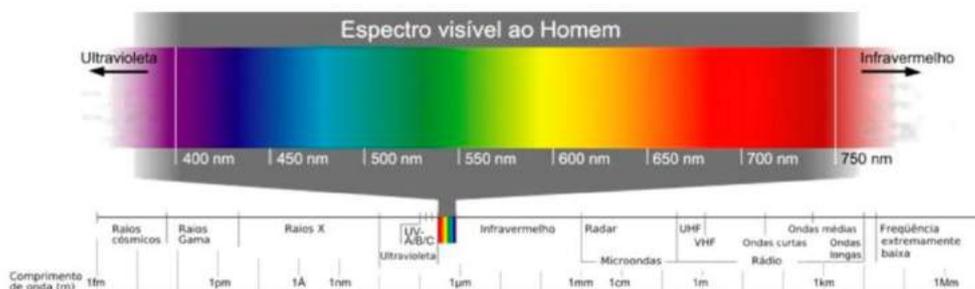
1. Faça incidir o feixe laser sobre uma amostra de uma suspensão (fornecida pelo professor). Observe o trajeto definido pelo feixe e registe as suas conclusões.
2. A solução diluída de ácido cloráurico triidratado foi preparada através da diluição de 1 cm<sup>3</sup> de solução concentrada [0,0257 mol/dm<sup>3</sup>] num balão volumétrico de 50 cm<sup>3</sup>. Determine a concentração da solução diluída.
3. Preparou-se 10 m<sup>l</sup> da solução de citrato de sódio diidratado (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub>·2H<sub>2</sub>O) com uma concentração de 0,0387 mol/dm<sup>3</sup> a partir do sólido. Descreva o procedimento adotado, apresentando todos os cálculos necessários.

4. As soluções de ácido cloráurico triidratado preparadas, tanto a concentrada como a diluída, foram armazenadas num recipiente revestido por papel de alumínio. Preveja um motivo para tal procedimento.
5. Uma das propriedades identificativas do ouro maciço é a sua cor – amarelo metálico (“dourado”), que se deve à reflexão de determinados comprimentos de onda da luz branca que sobre ele incide. Contudo, as soluções preparadas laboratorialmente apresentaram diferentes cores, sob luz branca, facilmente observadas durante a atividade.

É usual, e incorreto, pensar na cor como uma propriedade intrínseca dos objetos. Na verdade, vê-se a luz que o objeto transmite ou reflete. A cor percebida depende da fonte de luz (espectro de emissão) e da substância (interação da radiação com o material). Recordando os conhecimentos adquiridos no 8º ano: a cor que se vê resulta da mistura de luz de diversos comprimentos de onda, sendo o resultado da absorção seletiva da luz branca pelas substâncias. Isto é, ao olho humano apenas chega a fração de luz difundida, dita complementar da fração que é absorvida. Esta relação é muitas vezes demonstrada, de uma forma simples, com uma roda<sup>1</sup> de cores como a que se apresenta na figura 1.



fig. 1 Roda de cores complementares



- 5.1. Sabendo que as mudanças de cor observadas nesta experiência não se devem à alteração do elemento químico que constitui as partículas, preveja um motivo para o observado.

<sup>1</sup> Note-se que esta roda é um modelo aproximado para facilitar a previsão da cor que uma substância apresenta face ao comprimento de onda máximo de absorção.

5.2. Com base nesta informação complete a tabela que se segue:

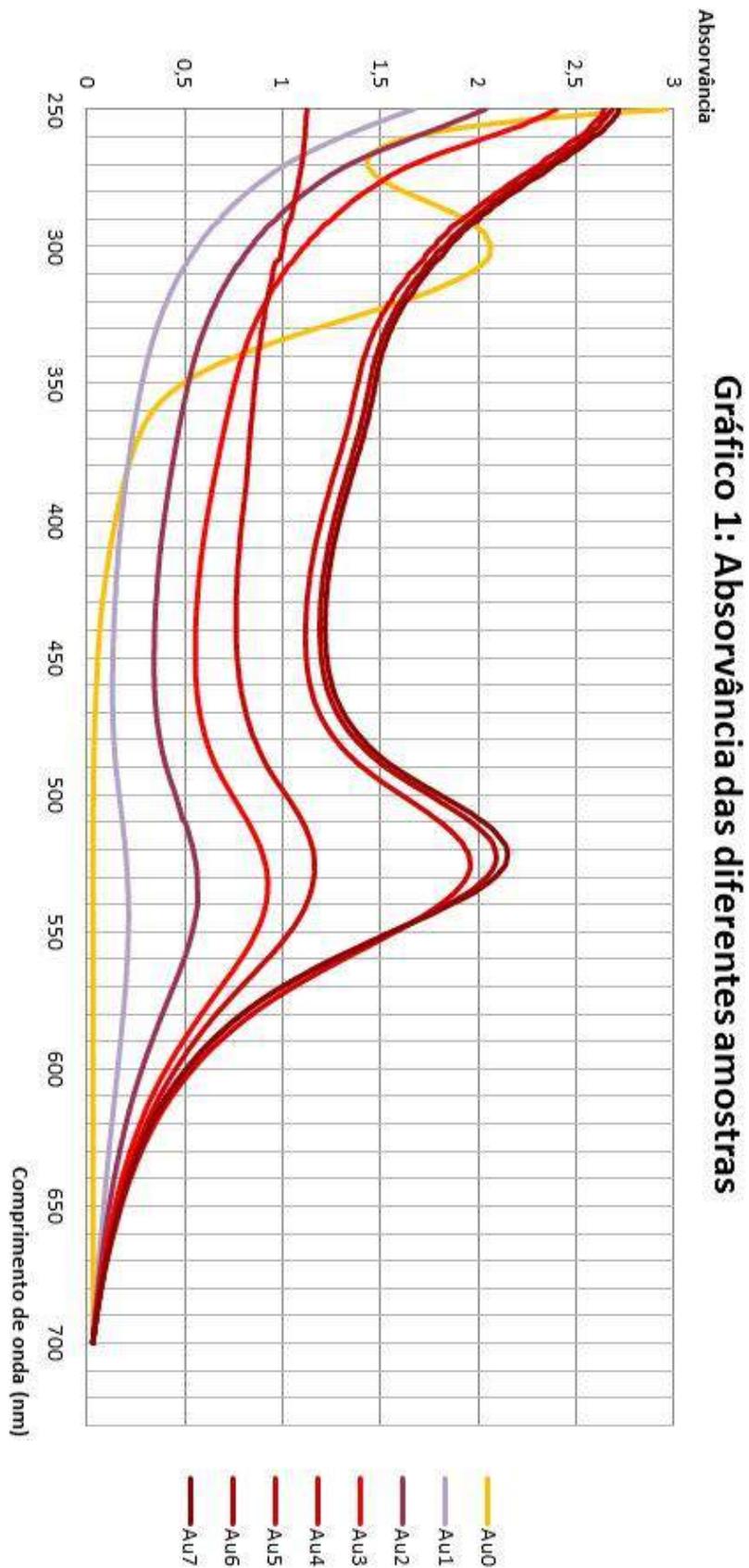
	Água	SC	SD	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Cor observada										
$\lambda_{\text{máx}}$ (nm) absorção										
$\lambda_{\text{máx}}$ (nm) transmissão										

6. Tendo em conta que o número de nanopartículas existente em cada amostra é o mesmo e que todas as nanopartículas apresentam igual forma, o que poderá concluir sobre o tamanho destas baseando-se apenas na sua cor?
7. Na atividade realizada, qual será o estado físico do meio disperso do colóide preparado? E do meio dispersante?
8. Dê exemplos de soluções e sistemas coloidais que pode encontrar em situações do quotidiano.
9. Porque é o céu azul e o pôr do sol avermelhado? Responda recorrendo aos conhecimentos adquiridos com esta atividade e com a A.L. 2.1 do seu manual.
10. Classifique as seguintes proposições como verdadeiras (V) ou falsas (F):
- O efeito de Tyndall é observável quando a luz visível atravessa sistemas coloidais.
  - A luz de um farol ao atravessar a atmosfera sofre dispersão devido às propriedades químicas das partículas que constituem o nevoeiro.
  - Os *sprays* constituem um aerosol em que as fases dispersa e dispersante se encontram ambas no estado líquido.
  - As partículas constituintes das dispersões coloidais são visíveis ao microscópio eletrónico de elevada resolução.
  - As partículas constituintes das suspensões possuem dimensões inferiores a 1 nm.
  - Um feixe de luz vermelha, ao atravessar uma solução aquosa de cloreto de sódio, deixa um rasto através da solução.

😊 Bom trabalho!

### Anexo 5.3

#### Gráfico de absorção das amostras coloidais de ouro



## Anexo 5.4.

### Proposta de Resolução da Ficha Laboratorial 10º ano

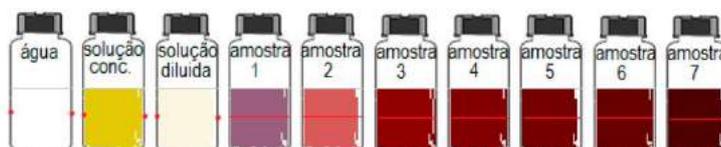
 <p>AGRUPAMENTO DE ESCOLAS DE CELORICO DE BASTO Cami Celorico - Zebreira e Inovar</p>	<p>AGRUPAMENTO DE ESCOLAS DE CELORICO DE BASTO</p>	<p>FÍSICA E QUÍMICA A 10º PROPOSTA DE RESOLUÇÃO DA FL</p>
--	--	---

#### Observações:

- Registe as cores observadas da solução inicial e da mistura durante o aquecimento:



- Registe o que se observa quando se fez atravessar o feixe de luz laser pelas várias amostras:



#### Discussão/Conclusão:

- Os alunos deverão concluir que as amostras recolhidas durante o aquecimento são colóides, pois ao incidir um raio laser sobre estas, observa-se um feixe laser cilíndrico evidente e nítido. O mesmo não poderão dizer sobre as soluções de ouro, concentrada e diluída, e sobre a substância pura, a água, nas quais o feixe laser é invisível. Outra conclusão a tirar é que as diferentes cores que as amostras revelam face à incidência de luz branca, devem-se a diferentes tamanhos ou formas das nanopartículas, uma vez que a substância em que estão imersas não é alterada.

#### Questões Pós-Laboratoriais:

- O feixe laser observado sofre uma maior espalhamento quando comparado aos feixes nítidos observados nos sistemas coloidais.

$$2. \quad n_i = n_f \Leftrightarrow c_i \cdot V_i = c_f \cdot V_f \Leftrightarrow c_f = \frac{c_i \cdot V_i}{V_f} \Leftrightarrow c_f = \frac{0,0257 \cdot 1}{50} \Leftrightarrow c_f = 5,14 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

- Determinar a massa de soluto necessário e medi-la, com um vidro de relógio numa balança. Depois, num gobelé com um pouco de água, dissolver o soluto. Com a ajuda de uma vareta de vidro e um funil de vidro, transferir a solução para o balão volumétrico de 10 mL, tendo o cuidado de arrastar todo o soluto para dentro do balão. Adicionar solvente até à marca de referência, primeiro com a garrafa de esguicho e depois com a pipeta de Pasteur. Tapar e homogeneizar a solução.

$$c = \frac{n}{V}; \quad n = \frac{m}{M} \Rightarrow c = \frac{m}{M \cdot V} \Leftrightarrow m = c \cdot M \cdot V \Leftrightarrow m = 0,0387 \cdot 29412 \cdot 10 \times 10^{-3} \Leftrightarrow m \approx 0,1138 \text{ g}$$

$${}^{CA(1)} M_r(C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O) = 6 \cdot A(C) + 5 \cdot A(H) + 3 \cdot (Na) + 7 \cdot A(O) + 2 \cdot (2 \cdot A(H) + A(O)) \approx 29412 \text{ uma} \Rightarrow \\ \Rightarrow M(C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O) = 29412 \text{ g/mol}$$

4. Ao revestir os recipientes com papel de alumínio prevê-se que as soluções de ácido cloráurico reajam com a luz visível e UV.
- 5.
- 5.1. Os alunos deverão concluir que as amostras são constituídas por nanopartículas de ouro, formando colóides, e que estas nanopartículas poderão apresentar diferentes tamanhos e/ou formas. Assim, diferentes tamanhos e diferentes formas das nanopartículas conduzirão a diferentes frequências de absorção.

## 5.2.

	Água	SC	SD	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Cor observada	incolor	Amarelo-dourado	Amarelo-translúcido	violeta	Violeta-avermelhado	Diferentes tons de vermelho, ficando cada vez mais escuro				
$\lambda_{\text{máx}}$ (nm) absorção	----	400	390	577	560	550	540	530	520	510
$\lambda_{\text{máx}}$ (nm) transmissão	----	585	577	390	720	700	690	680	670	660

6. Tendo em conta que o número de nanopartículas existente em cada amostra é o mesmo e que todas as nanopartículas apresentam igual forma, e uma vez que o laser é cada vez mais nítido e evidente, então poder-se-á dizer que a diminuição do tamanho das nanopartículas leva a uma diminuição de comprimentos de onda de absorção.
7. O meio disperso do colóide preparado será sólido, e o meio dispersante será líquido.
8. Entre vários exemplos, os alunos poderão referir como soluções o ar e a água mineral; como sistemas coloidais poderão referir o nevoeiro, a gelatina...
9. À medida que o tamanho e a quantidade de partículas existentes na atmosfera aumentam, ou quando os raios solares atravessam uma maior espessura de ar devido à aparente inclinação do Sol, uma maior quantidade de luz será dispersa. Verificar-se-á então uma diminuição de frequências de absorção, pelo que se observa mais as cores avermelhadas no céu.
10. São verdadeiras as opções A e D.
- B. F\_ A luz de um farol ao atravessar a atmosfera sofre dispersão devido às propriedades químicas ao tamanho das partículas que constituem o nevoeiro.
- C. F\_ Os *sprays* constituem um aerosol em que as fases dispersa e dispersante se encontram ambas no estado líquido e gasoso, respectivamente.
- E. F\_ As partículas contituíntes das suspensões possuem dimensões inferiores superiores a 1  $\mu\text{m}$ .
- F. F\_ Um feixe de luz vermelha, ao atravessar uma solução aquosa de cloreto de sódio, não deixa um qualquer rasto através da solução.

## Anexo 6

### Ficha de Trabalho 9º ano e respetiva proposta de resolução

		UNIVERSIDADE DO MINHO – ESCOLA DE CIÊNCIAS		FÍSICA E QUÍMICA 9º FICHA DE TRABALHO	
Nome/Grupo:		Nº:		Turma:	

Deverá responder às perguntas de modo sucinto e claro, aplicando conhecimentos científicos de Física e Química.

**Título:** Ferrofluido

**Objetivos:**

- Observar e interpretar o comportamento do ferrofluido na presença de um campo magnético exterior;
- Compreender que a matéria pode apresentar comportamentos diferentes à escala nano ou macro.

**Notas Teóricas:**

O ferrofluido é uma suspensão coloidal de nanocristais de magnetite, composto essencialmente por óxido de ferro, cujas dimensões são aproximadamente 10 nm. Os cristais estão cobertos por uma camada de um material especial, chamado surfactante, que evita a aproximação de outras partículas de magnetite e a aglutinação de todo o ferrofluido numa massa sólida única.

Na ausência de um campo magnético, as nanopartículas do ferrofluido estão orientadas aleatoriamente, e este comporta-se como um líquido não magnético. Na presença de um campo magnético, todas as nanopartículas ficam alinhadas e o ferrofluido torna-se magnético.

Assim, o ferrofluido é um material líquido que tem propriedades sólidas quando submetido a um campo magnético. No entanto, não é um íman líquido! Quando o íman é removido, as partículas perdem a sua magnetização e o ferrofluido comporta-se novamente como um líquido não magnético. Este comportamento é chamado de superparamagnetismo.

A areia de magnetite, composto essencialmente por óxido de ferro, que apresenta tamanho macro permanece magnetizada depois de se afastar o íman.

**Discussão:**

1. Descreva o que acontece quando se aproxima um íman ao ferrofluido.
2. Qual é a grandeza do tamanho das partículas magnéticas no ferrofluido?
3. O que é um ferrofluido?
4. O que evita a agregação das nanopartículas do ferrofluido?

© Bom trabalho!

	<b>UNIVERSIDADE DO MINHO – ESCOLA DE CIÊNCIAS</b>	<b>FÍSICA E QUÍMICA 9º</b> <b>PROPOSTA DE RESOLUÇÃO</b>			
Nome/Grupo:		Nº:		Turma:	

**Discussão:**

1. Descreva o que acontece quando se aproxima um íman ao ferrofluido.

Quando o íman está longe da solução não há nada interessante para ver, exceto uma solução preta líquida. Quando se aproxima o íman da solução, observam-se picos correspondentes às linhas do campo magnético.

2. Qual é a grandeza do tamanho das partículas magnéticas no ferrofluido?

$10^{-9}$

3. O que é um ferrofluido?

Um ferrofluido é uma suspensão coloidal de nanocristais de magnetite, pequenos ímanes cujas dimensões são aproximadamente 10 nm. Os cristais estão cobertos por uma camada de um material especial, chamado surfactante, que evita a aproximação de outras partículas de magnetite e a aglutinação de todo o ferrofluido numa massa sólida única.

4. O que evita a agregação das nanopartículas do ferrofluido?

Um surfactante ou uma camada de óleo sobre a nanopartículas.