



DEQ
DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA QUÍMICA
TÉCNICO LISBOA



NEQIST
NÚCLEO DE ENGENHARIA QUÍMICA
DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO



Laboratórios Abertos 2020

3 - 7 Fevereiro

Laboratórios Abertos 2020

Editado por:

Departamento de Engenharia Química

Instituto Superior Técnico

Edição de:

Maria Amélia Lemos, Cristina Gomes de Azevedo, Dulce Simão

Com a colaboração de:

Núcleo de Engenharia Química



Fevereiro 2020

ISBN: 978-989-99508-7-0

Índice

ÍNDICE	I
PROGRAMA SECUNDÁRIO	III
PROGRAMA JÚNIOR (2º E 3º CICLO BÁSICO)	IV
PROGRAMA KIDS (1º CICLO BÁSICO)	V
PREFÁCIO	6
PALESTRAS	7
<i>Porque é que as moléculas gostam de namorar em espaços apertados?</i>	8
<i>Plástico ou não plástico, eis a questão</i>	12
<i>Carbono: super-herói ou vilão</i>	20
<i>Moléculas, materiais e seres vivos luminosos</i>	24
<i>Biomateriais... O segredo da eterna juventude</i>	28
<i>Como podemos produzir gasolina?</i>	33
<i>LASERS, LEDS e Plasmas: A força está no Técnico</i>	38
EXPERIÊNCIAS NO LABORATÓRIO	43
<i>Há Química (Orgânica) entre nós</i>	44
<i>VER Química</i>	59
<i>À descoberta da Engenharia Química</i>	69
<i>Química 3D</i>	78
<i>O nitrogénio vai à bola</i>	93
<i>Embrulhada de Reações - do encanto à razão</i>	96
EXPERIÊNCIAS PARA OS KIDS	109
<i>Engenheiro químico por um dia</i>	110
<i>Parece magia, mas é ciência</i>	112
<i>Brincar com o frio</i>	118
<i>De comer e chorar por mais</i>	119
<i>Bomba de ursinho</i>	124
CRISTAIS QUÍMICOS EM 3D E EXPOSIÇÃO	127
EQUIPA	181
ESCOLAS PARTICIPANTES	183

PATROCÍNIOS..... 184

Programa Secundário

	Horário	Actividades
Manhã	9:30h	Palestra
	10:30 - 12:30h	Experiências nos laboratórios
Tarde	14:30h	Palestra
	15:30 - 17:30h	Experiências nos laboratórios

Palestras	9:30h	14:30h
5 Feb 4ª Feira	<p>Porque é que as moléculas gostam de namorar em espaços apertados?</p> <p><i>Moisés Pinto, DEQ, IST</i></p>	<p>Plástico ou não plástico, eis a questão</p> <p><i>Ana Clara Marques, DEQ, IST</i></p>
6 Feb 5ª Feira	<p>Carbono: super-herói ou vilão?</p> <p><i>Ermelinda Maças, CQE, IST</i></p>	<p>Moléculas, materiais e seres luminosos</p> <p><i>Manuel Prieto & Mário Berberan, DEQ, IST</i></p>
7 Feb 6ª Feira	<p>Biomateriais...o segredo da eterna juventude</p> <p><i>Ana Paula Serro, DEQ, IST</i></p>	<p>Como podemos produzir gasolina?</p> <p><i>Filipa Ribeiro, DEQ, IST</i></p>

Experiências nos laboratórios:

Há Química (Orgânica) entre nós	O Nitrogénio vai à bola
VER Química	À descoberta da Eng. Química
Química 3D	

Programa Júnior (2º e 3º ciclo básico)

	Horário	Atividades
Manhã	9:00h	Palestra Interativa – LASERs, LEDs e Plasmas: A força está no Técnico
	10:00 - 12:00h	Experiências nos laboratórios
Tarde	14:00h	Palestra Interativa – LASERs, LEDs e Plasma: A força está no Técnico
	15:00 - 17:00h	Experiências nos laboratórios

Experiências nos laboratórios:

Há Química (Orgânica) entre nós	O Nitrogénio vai à bola
Embrulhada de Reações: do encanto à razão!	À descoberta da Eng. Química
Química 3D	

Programa Kids (1º ciclo básico)

	Horário	Atividades
Manhã	10:00 – 12:00h	Experiências nos laboratórios
Tarde	14:00 – 16:00h	Experiências nos laboratórios

Experiências nos laboratórios:

Engenheiro químico por um dia	De comer e chorar por mais
Parece magia mas é ciência	Brincar com o frio
Pirilampos mágicos	Bomba de ursinho

Prefácio

O livro dos Laboratórios Abertos 2020 reúne o conjunto de palestras, experiências e exposição que foram oferecidas às escolas que visitaram o departamento de Engenharia Química do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, durante a semana de 3 a 7 de Fevereiro de 2020.

O público alvo desta iniciativa de divulgação de Ciência e Tecnologia englobou alunos do ensino secundário e básico de escolas interessadas em envolver os jovens na descoberta de áreas como a Engenharia Química, Engenharia de Materiais e a Química.

Estiveram presentes alunos do 1º ciclo do ensino básico, que participaram nas experiências descritas no programa “Kids”, alunos dos 2º e 3º ciclo que participaram no programa “Júnior” e os alunos do ensino secundário, que além das experiências nos laboratórios puderam usufruir de uma série de palestras variadas.

Estas atividades foram dinamizadas por Docentes, Não-Docentes e Estudantes do IST.

A edição de 2020 dos Laboratórios Abertos do Departamento de Engenharia Química do Técnico teve lugar nos anfiteatros da Torre Sul e nos laboratórios do Pavilhão de Química, no Instituto Superior Técnico.

Palestras

As palestras que se seguem destinam-se aos alunos do ensino secundário e são o primeiro ponto de contacto dos nossos visitantes com o Departamento de Engenharia Química.

Foram escolhidos oradores e temas que pudessem despertar no âmago destes jovens a paixão pela ciência, pela tecnologia e pela investigação, áreas do saber fundamentais no desenvolvimento de uma sociedade saudável e inclusiva.

Porque é que as moléculas gostam de namorar em espaços apertados?

Moisés L. Pinto

CERENA, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Existem alguns tipos de materiais porosos que possuem poros muito pequenos, da dimensão das moléculas. Alguns destes materiais são conhecidos desde a antiguidade e muitos outros têm sido desenvolvidos nas décadas recentes, para muitas aplicações tecnológicas. O facto de terem poros muito pequenos e em grande quantidade, faz com que a área de contacto da superfície desses sólidos com o meio envolvente seja muito elevada. De facto, hoje em dia existem materiais com mais de 6000 m^2 por grama de material. Isto quer dizer que 10 grama de material tem uma área equivalente a 6 campos de futebol! Estas elevadas áreas específicas fazem com que muitas das suas propriedades estejam relacionadas com as suas características porosas e de superfície. Os poros destes materiais têm dimensões na ordem de alguns nanómetros ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), ou seja, cerca de dez a cem mil vezes inferiores à espessura de um cabelo.

Estes materiais porosos podem ser quimicamente constituídos por estruturas orgânicas, estruturas inorgânicas ou estruturas híbridas, em que uma parte é orgânica e outra é parte é inorgânica, organizadas de forma alternada e regular. Os carvões ativados (Figura 1) são dos exemplos mais conhecidos e antigos deste tipo de materiais, pois existe registo de aplicações à medicina, pelos Egípcios (1500 a.C.), por Hipócrates e Plínio (460 a.C.) e por Galeno, enquanto os Fenícios (460 a.C.) terão aplicado, pela primeira vez, o carvão ativado na purificação de água [1]. Com exemplo dos materiais inorgânicos, temos as argilas e os zeólitos (Figura 1), naturais ou sintéticos, que são silicoaluminatos cristalinos e que, nalguns casos, podem ter cargas negativas na estrutura tridimensional que são compensadas por catiões de troca na superfície. Mais recentemente, têm sido desenvolvidos muitos tipos de materiais porosos híbridos. São exemplos disso as organosílicas mesoporosas periódicas ou as redes metalorgânicas (Figura 1). No primeiro caso, os ligandos de organosilanos estão ligados entre si por pontes de sílica, formando um híbrido ligando-sílica [2]. No segundo caso, os ligandos estão em ponte entre nodos metálicos, por ligações de coordenação [3].

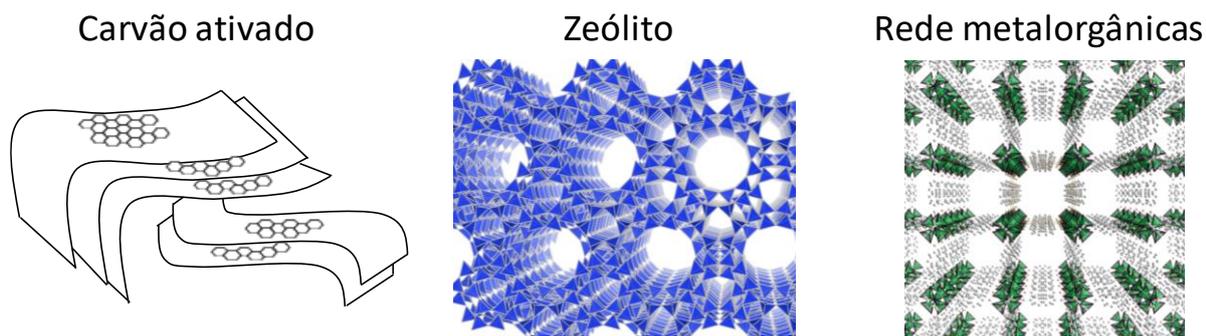


Figura 1 – Exemplos de materiais adsorventes. Nos carvões ativados os poros são entre os planos de grafite que se encontram desordenados. Para os zeólitos, apresenta-se o exemplo do ZSM-20, onde se pode ver os poros cilíndricos (os tetraedros azuis representam silício ou alumínio ligados por oxigénios). Para as redes metalorgânicas, apresenta-se o IRMOF-8, onde os tetraedros verdes representam zinco coordenado a carboxilatos orgânicos.

Uma das propriedades mais importantes deste tipo de materiais é a sua capacidade de terem elevadas concentrações de moléculas de gases ou líquidos no seu interior. Mas porque razão as moléculas “gostam” de ir para os espaços apertados no interior destes materiais? Uma elevada concentração de moléculas em espaços tão apertados faz com que as moléculas estejam muito juntinhas, como se estivessem a “namorar” umas com as outras. A razão desse “namoro” tem origem na atração das moléculas umas pelas outras e para com as superfícies sólidas. Na realidade, existe um potencial de atração entre todas as moléculas e as superfícies, que leva a este fenómeno de aumento de concentração na superfície, que designamos por **adsorção** [4]. Aos materiais que têm esta capacidade, chamamos de materiais adsorventes, ou, simplesmente, **adsorventes**. Diferentes tipos de superfícies e de moléculas podem levar a interações mais fortes, nuns casos que noutros, e isso pode fazer com que certas moléculas apresentem uma adsorção preferencial em certos materiais.

Os materiais adsorventes e o fenómeno da adsorção a eles associado, pode ser utilizado para um grande conjunto de aplicações (Figura 2). Uma das aplicações mais conhecidas é a remoção de poluentes gasosos do ar, como por exemplo, em máscaras de gás, filtros de automóveis ou em sistemas de ar condicionado. Os adsorventes são também bastante usados para a remoção de poluentes, que não conseguem ser removidos por tratamentos convencionais, nas estações de tratamento de águas residuais, ajudando assim na descontaminação de águas. Na indústria química e de processos, alguns adsorventes têm um papel central na separação de misturas, líquidas ou gasosas, que são muito difíceis de separar com outras tecnologias. Outra aplicação muito interessante é o armazenamento de gases no interior dos poros, a pressões muito mais baixas do que ocorreria em garrafas de gás. Isto permite, por exemplo, armazenar gás metano (o principal componente do gás natural) dentro de contentores com estes materiais, a pressões muito mais baixas. Esta opção tem vindo a ser explorada

para aplicação em veículos movidos a gás natural. Finalmente, estes materiais têm vindo a ser muito desenvolvidos para o armazenamento de moléculas com atividade terapêutica, no interior dos seus poros, para posterior libertação controlada e localizada, em sítios estratégicos do corpo humano. Esta abordagem pretende alcançar uma maior eficácia das terapias, minimizando os efeitos secundários.

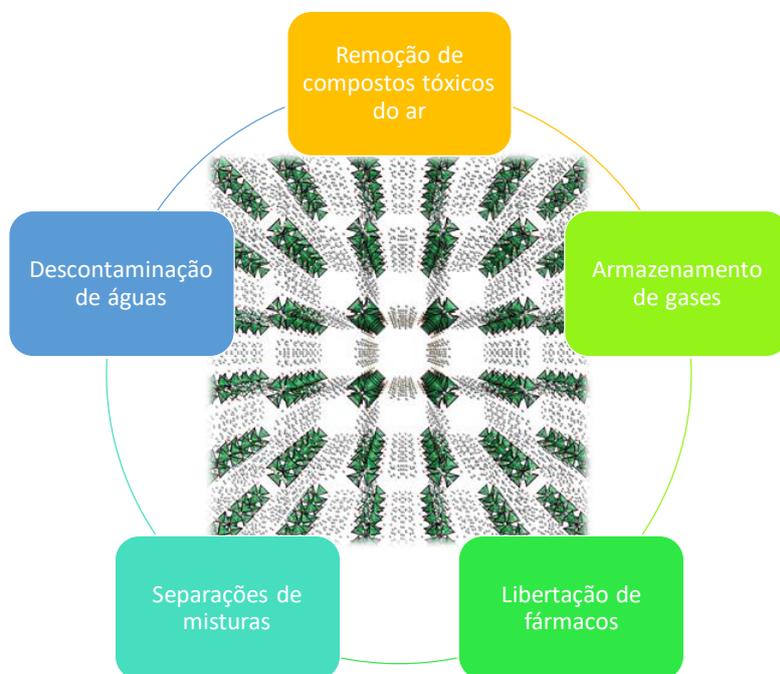


Figura 2 – Principais áreas de aplicação dos materiais adsorventes.

O “namoro” das moléculas dentro dos poros pode ter, por vezes, consequências na alteração da própria estrutura molecular. De facto, em certas circunstâncias de pressão e temperatura, as moléculas podem passar do “namoro” ao “casamento”, dado que podem formar entre si ligações mais permanentes, isto é, **ligações químicas**, dando origem a novas espécies (Figura 3). Os materiais adsorventes promovem estas reações, pois conseguem aproximar mais as moléculas umas das outras, devido ao fenómeno de adsorção dentro dos poros. O tamanho dos poros e a sua interligação condicionam o tipo de reações e os produtos que se formam. Há, no entanto, propriedades de superfície, tais como a acidez ou basicidade superficiais, que desempenham um papel ainda mais crucial na promoção das reações. Quando estes adsorventes são utilizados para aumentar a velocidade de uma reação, estes materiais são então designados por **catalisadores** [5]. Os zeólitos são, sem dúvida, os materiais porosos que melhor ilustram a importância dos catalisadores, pois são amplamente utilizados na indústria química e petroquímica, na produção de inúmeros produtos. Essa grande utilização deve-se à sua elevada robustez estrutural, à capacidade de troca iónica para incorporação de diferentes centros metálicos na superfície e também à possibilidade de poderem ter diferentes formas de poros [6].

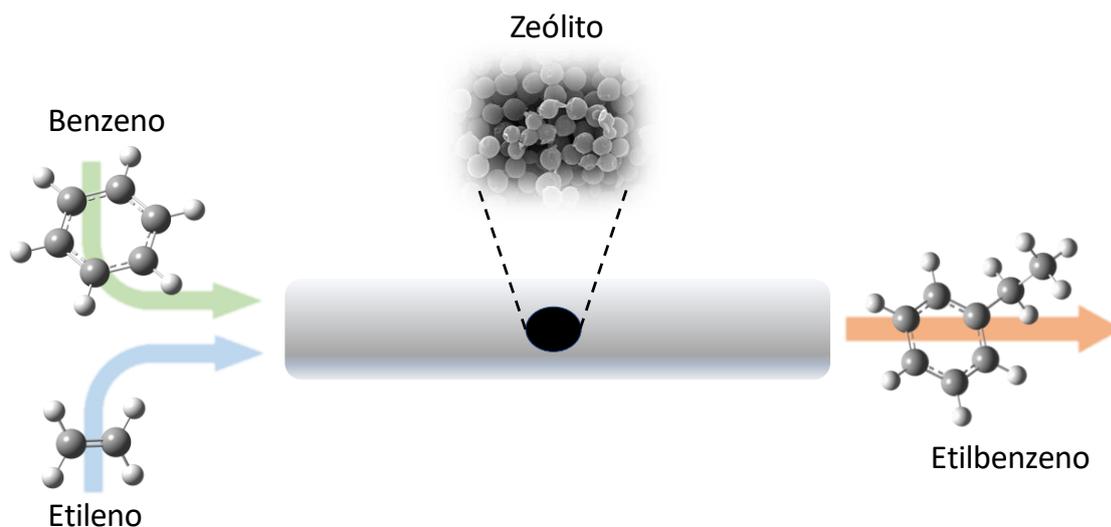


Figura 3 – Alguns materiais adsorventes podem ser aplicados como catalisadores na indústria. Por exemplo, o etilbenzeno pode ser produzido utilizando um leito com partículas de zeólito com catalisador sólido.

Nos anos mais recentes, tem existido um grande desenvolvimento na área dos materiais adsorventes, com um crescimento quase exponencial do número de materiais, com diferentes estruturas conhecidas. Isto permite antecipar que, nos anos futuros, o número de aplicações irá seguramente aumentar, nomeadamente nas áreas da energia e dos materiais inteligentes multifuncionais.

Referências

- [1] Dabrowski A. Adsorption — from theory to practice. *Adv Colloid Interface Sci* 2001;93:135–224. doi:10.1016/S0001-8686(00)00082-8.
- [2] Inagaki S, Guan S, Ohsuna T, Terasaki O. An ordered mesoporous organosilica hybrid material with a crystal-like wall structure. *Nature* 2002;416:304–7. doi:10.1038/416304a.
- [3] Peplow M. Materials science: The hole story. *Nature* 2015;520:148–50. doi:10.1038/520148a.
- [4] Yang RT. *Adsorbents: Fundamentals and Applications*. Hoboken: John Wiley & Sons Inc.; 2003.
- [5] Lloyd L. *Handbook of Industrial Catalysts*. New York: Springer; 2011.
- [6] Chester AW, Derouane EG, editors. *Zeolite Chemistry and Catalysis*. Dordrecht: Springer Netherlands; 2009. doi:10.1007/978-1-4020-9678-5.

Plástico ou não plástico, eis a questão

Ana C. Marques, Rui G. dos Santos

CERENA, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa, Portugal

Numa época em que as expressões “plastifobia”, “microplásticos”, ou “sociedade descartável ou de lixo” se instalaram na comunicação social, há que perceber a origem da situação atual e fazer uso da ciência e tecnologia para permitir a implementação de políticas globais informadas, racionais e imparciais.

A geração de resíduos derivada do crescimento económico e a tendência para a sustentabilidade

O desenvolvimento sustentável foi definido no Relatório Brundtland, um documento intitulado “Nosso Futuro Comum” e publicado em 1987, como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” [1].

Estamos numa era em que a sensibilização para a sustentabilidade e eficiência energética está mais forte do que nunca. Por um lado, o ritmo de vida cada vez mais rápido e a maior mobilidade das pessoas tem levado a práticas não sustentáveis e poluentes, por outro observa-se uma abertura da população à sustentabilidade. Os fatores tempo e comodidade são muitas vezes o que limita as práticas sustentáveis. Estudos indicam que o que faz com que um consumidor opte por uma prática mais sustentável está baseado na percepção de que: é mais saudável, é mais económico e traz *status*, i.e. a imagem de ser sustentável. Esta é uma tendência positiva e que de certa forma traz alguma esperança para o Futuro do Planeta. Pode mesmo alavancar a mudança transformacional que é necessária ocorrer para que os objetivos de desenvolvimento sustentável (SDG) lançados num relatório da ONU de 2015, nomeadamente um mundo sem fome e doenças, com empregos significativos e um ambiente limpo, fiquem mais próximos de ser alcançados.

Um aspeto importante foi o rápido crescimento da produção e utilização de plásticos, que levou à necessidade de eliminação dos resíduos que daí derivam. O consumo exagerado de plástico, muitas vezes associado a uma gestão de resíduos lamentavelmente inadequada são, indubitavelmente duas grandes problemáticas atuais, onde terão que ser investidos esforços globais e uma mudança transformacional. Embora a reciclagem e a economia circular tenham sido apontadas como soluções

potenciais, mais de metade dos resíduos plásticos da Europa e EUA destinados à reciclagem foram exportados, nas últimas décadas, para países considerados de menor rendimento, em todo o mundo. Acontece que em 2017, a China deixou de importar resíduos plásticos, causando uma sobrelotação nas estações de reciclagem da Europa e EUA [2], o que fez vir à tona a insustentável gestão de resíduos e a problemática utilização excessiva de plásticos, especialmente os de utilização única. São, portanto, necessárias ideias e ações globais ousadas para reduzir as quantidades de materiais não recicláveis, redesenhar os produtos e financiar a gestão de resíduos plásticos domésticos.

Muito em parte devido à pressão da comunicação social, gerou-se um outro fenómeno, relacionado com uma reação emocional contra os produtos plásticos, recentemente denominado de plastifobia, que eventualmente poderá pressionar decisores políticos a tomar decisões pouco informadas a nível científico e que poderão pôr em causa, ou inibir a implementação de políticas verdadeiramente sustentáveis. De notar que, enquanto que banir palhinhas e talheres de plástico, ou micropartículas plásticas de cosméticos é uma tarefa relativamente simples, há que chegar a um equilíbrio e tomar ações menos precipitadas e mais fundamentadas, por exemplo, no que respeita a banir os plásticos das embalagens [3], ou de outros produtos onde os plásticos assumem um papel de liderança em termos de segurança alimentar, de saúde, de poupança de combustível e energética, e mesmo de sustentabilidade ambiental.

Plásticos: desejados, mas problemáticos

Plásticos são polímeros, na sua forma final, constituídos por longas cadeias moleculares formadas por monómeros, pequenas unidades moleculares de repetição, unidas entre si por ligações covalentes. Frequentemente o número dessas unidades repetitivas atinge os milhares. Em alguns casos, as cadeias são lineares, com ou sem ramificações, e noutros, as cadeias unem-se entre si por pontos de reticulação, ligações covalentes, e não somente ligações secundárias, criando uma estrutura tridimensional e perdendo a capacidade de fusão com a aplicação de temperatura.

Os polímeros podem ser divididos em termoplásticos, termoendurecíveis e elastómeros. Os termoplásticos podem ser fundidos e solidificados repetidamente com ou sem perda significativa das suas propriedades fundamentais. Suportam vários ciclos térmicos (fusão e subsequente solidificação) sem perda significativa das suas propriedades. São constituídos por macromoléculas lineares ou ligeiramente ramificadas e a coesão intermolecular é garantida por ligações químicas fracas. Nos termoendurecíveis a coesão entre as cadeias é garantida por inúmeros pontos de reticulação, o que faz com que assumam a sua forma definitiva assim que processados, ou seja, quando sujeitos a um

único ciclo térmico, não podendo voltar a ser submetidos a um aquecimento sem deterioração das suas propriedades. Os elastómeros, por possuírem uma estrutura macromolecular composta por longas cadeias, enroladas e torcidas entre si, exibem uma grande flexibilidade. Neste caso a coesão intermolecular é garantida também por pontos de reticulação, mas em muito menor número que nos termoendurecíveis, caso contrário, deixariam de ter a elasticidade típica da borracha.

A indústria europeia dos plásticos inclui a produção de polímeros, a transformação de plásticos, a reciclagem de plásticos e a produção de maquinaria e moldes para a indústria dos plásticos. É responsável pelo emprego de mais de 1.6 milhões de pessoas na Europa, envolve mais de 60000 empresas, a maioria PME e apresentou em 2018 um volume de negócios superior a 360 biliões de euros [4]. Em vários formatos e aplicações, o plástico tornou-se ubíquo no nosso dia-a-dia, sendo os polímeros com maior quota de mercado o polipropileno (PP), polietileno de baixa densidade (PE-LD), polietileno de alta densidade (PE-HD), policloreto de vinilo (PVC), poliuretano (na forma de espuma rígida, PUR), polietileno tereftalato (PET), poliestireno e poliestireno expandido (PS e EPS), como se pode observar na Figura 1.

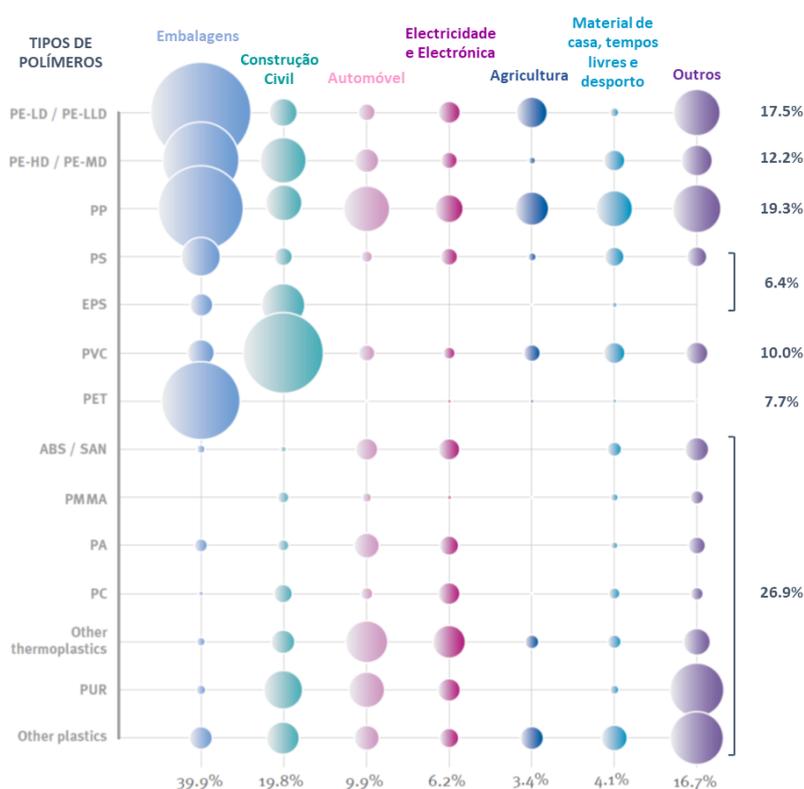


Figura 1 – Distribuição por aplicação e por tipo de plástico. Dados de 2018, EU-28+NO/CH. Adaptado de [4].

Os plásticos podem ser encontrados, por exemplo na roupa, telemóveis, televisão, cartão multibanco, automóvel e outros meios de transporte, embalagens, etc., mas também, devido à inadequada gestão

de resíduos que tem vindo a existir, podem ser encontrados na forma de resíduos a céu aberto, nos rios, oceanos, etc., tanto na forma macro, como na forma de microplásticos, que são partículas de tamanho inferior a 5 mm, libertadas dessa forma para o meio ambiente (microplásticos primários) ou formadas a partir da degradação de plásticos (microplásticos secundários). De notar que os microplásticos produzidos no nosso dia-a-dia são encaminhados para estações de tratamento de águas residuais (ETARs) que podem filtrar parte deles quando equipadas com tratamento secundário ou superior, no entanto, em Portugal, apenas 66% das ETAR têm este tipo de tratamento instalado [5]. As principais fontes de microplásticos são a indústria têxtil (35% dos microplásticos primários) no sentido em que a lavagem de roupa sintética liberta microfibras para as águas residuais domésticas, os transportes (28% dos microplásticos primários) através da erosão dos pneus em contacto com a estrada, na forma de pó, que é depois “lavado” das estradas pela água e vento, e produtos como os cosméticos, champôs, detergentes, etc. A degradação posterior no ambiente marinho de plásticos de maiores dimensões, como sacos plásticos, redes de pesca, descartáveis, etc. pela ação da luz solar, ação mecânica ou de microorganismos, poderá também levar à formação de microplásticos, neste caso, secundários. Muitos trabalhos têm sido publicados revelando a presença de microplásticos no meio ambiente, mas contrariamente ao que surge nos *media*, a maioria dos estudos (67%) enquadram os riscos dos microplásticos como hipotéticos ou incertos, enquanto somente 24% apresentam-nas como estabelecidas [3,6].

A capacidade de fusão de certos tipos de polímeros, incluindo a de suportar vários ciclos térmicos, deixa já prever que em certos casos a reciclagem será mais facilitada que noutros. Grande parte dos polímeros mais utilizados é reciclável, pois são termoplásticos, no entanto as práticas de reciclagem ainda não são suficientemente expressivas e as práticas de eliminação em aterro, ou mesmo o descarte de resíduos de forma não controlada, são infelizmente ainda significativas, como pode ser observado no gráfico da Figura 2.



Figura 2 – Taxas de reciclagem, recuperação energética e eliminação em aterro de resíduos plásticos, por país, referente a 2018. Adaptado de [4].

A Figura 3 exibe o ciclo de vida de um produto plástico de acordo com a situação atual, bem como um cenário mais desejável para um futuro próximo.

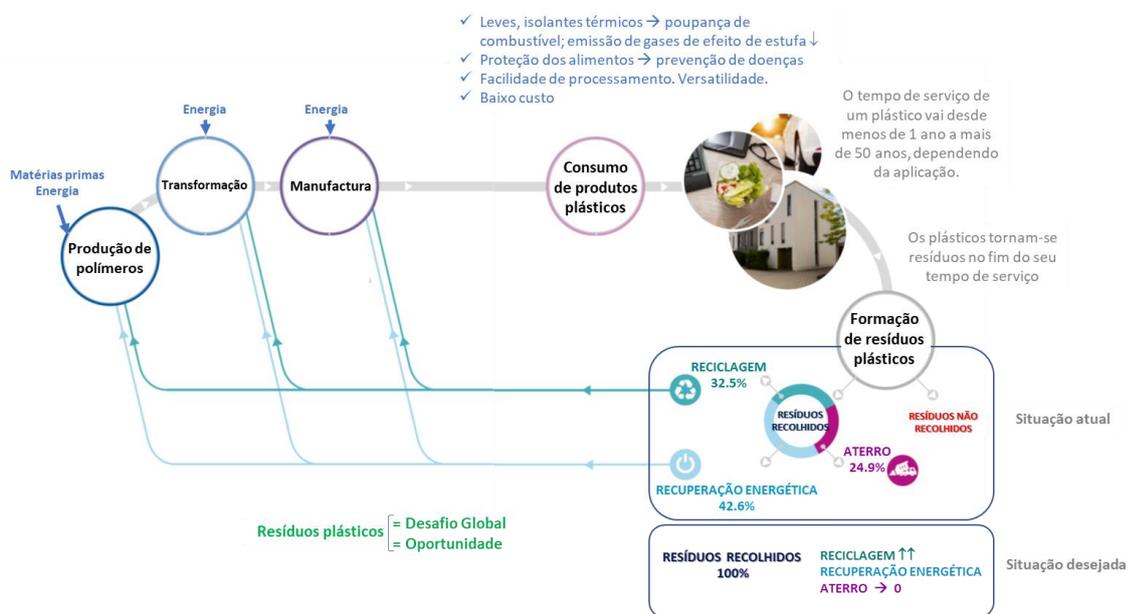


Figura 3 – Ciclo de vida de um produto plástico de acordo com a situação atual e um cenário mais desejável.

Adaptado de [4].

Os materiais poliméricos podem ser produzidos a partir de matérias primas de origem fóssil ou renovável (e.g. da cana do açúcar, amido, óleos vegetais, etc.). Independentemente da sua origem, certos plásticos podem ser biodegradáveis, ou seja, desde que recolhidos devidamente, poderão ser tratados juntamente com matéria orgânica e desta forma sofrer biodegradação e/ou compostagem. Existe, portanto, uma série de combinações entre origem fóssil ou origem bio e bio-degradáveis ou não bio-degradáveis (Figura 4), o que decerto torna a seleção de materiais para uma determinada aplicação um processo complicado. A isto, associa-se o custo elevado destes materiais, que atua como fator proibitivo em determinadas aplicações. São necessários mais estudos de I&D e esclarecimentos quanto a estas classes de polímeros que estão a ganhar terreno na indústria dos plásticos, especialmente na China, seguindo-se a Índia, que são países cuja infraestruturas industrial permite facilmente uma adaptação à produção de biopolímeros e polímeros biodegradáveis. Para tornar realidade a produção em massa de biopolímeros será necessário adotar tecnologias de produção contínua, eficientes em larga escala, baseadas em biocatálise heterogénea [7]. Em paralelo, terá que se investir na criação de conhecimento nesta área, em particular na investigação em bio-economia e na capacidade de intervenção em políticas globais.

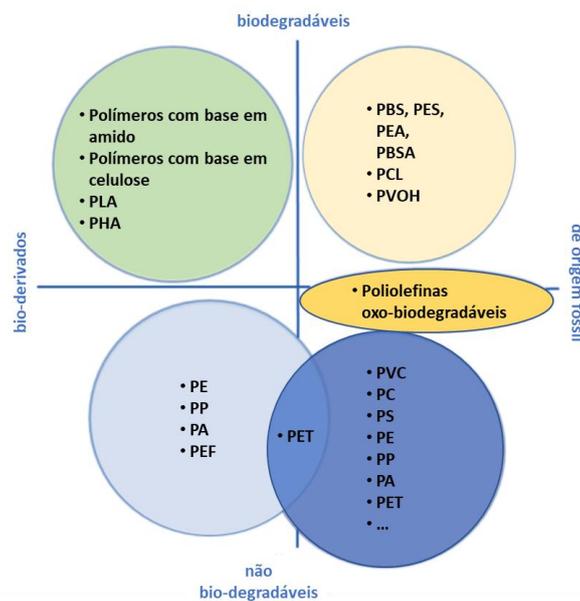


Figura 4 – Visão global dos plásticos de origem fóssil e bio-derivados e sua biodegradabilidade. Adaptado de [8].

Plástico biodegradável compostável?

Foram realizados vários estudos que mostram que os plásticos biodegradáveis são parte da solução do desafio global de eliminação de resíduos plásticos, no entanto para que assim seja, é necessário serem “geridos”. Obtém-se resultados excelentes quando são armazenados em condições de compostagem

industrial (58°C / 180 dias), mas dependendo do plástico, nem sempre revelam resultados satisfatórios em compostagem doméstica, pois as temperaturas não são tão elevadas. É necessário, deste modo o *design* de polímeros de forma a tornarem-se mais degradáveis em múltiplos ambientes. Por exemplo, a equipa do Prof. Kevin O'Brian, da University College Dublin, desenvolveu polímeros com a capacidade de biodegradação em condições de compostagem doméstica, investigação esta que está a ser explorada pela Bioplastech, Ltd. Neste caso, descobriram que a combinação de poli ácido láctico (PLA), um bioplástico que não se degrada em condições de compostagem doméstica, quando combinado com policaprolactona (PCL), consegue degradar-se em tais condições em 60 dias. O resultado é um composto que pode ser usado como fertilizante em jardins, por exemplo. Também verificaram que esse novo polímero, ao alimentar um digestor anaeróbico produz biogás [9].

Este estudo recente, entre outros confirma que a solução mais favorável para a eliminação de resíduos plásticos (Figura 5) é a combinação de práticas de prevenção e minimização do uso de plásticos, quando não necessário, a sua reutilização e a biodegradação. Para isso é necessário o *design* de formulações poliméricas e a sua gestão após o uso. As políticas futuras deverão visar a produção e consumo responsável, sendo que os plásticos biodegradáveis são parte dessa responsabilidade.

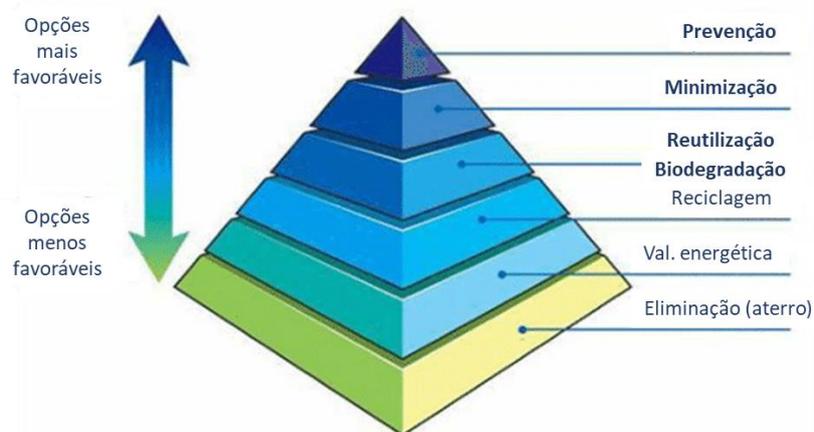


Figura 5 – Hierarquia recomendada na gestão de resíduos plásticos.

Resíduos plásticos: uma oportunidade como nova fonte de carbono para produtos de valor acrescentado

Mas, e o que fazer aos resíduos já existentes? Estratégias de I&D mais recentes de gestão de resíduos plásticos de origem fóssil, apontam para a sua conversão em produtos de valor acrescentado (*up-cycling*), permitindo a entrada em novos mercados. Estão em curso estratégias de bioprospeção para o isolamento de microorganismos capazes de assimilar plásticos recalcitrantes, o que levará ao *design*

de atividades biológicas de *up-cycling* a partir dos resíduos plásticos. Um exemplo, é o processo químico de pirólise, que converte os resíduos plásticos (e.g. PET) num óleo, sendo que 70% deste óleo será aplicado como combustível ou aditivo de combustíveis, e 30%, através do método de fermentação (microbiologia), dará origem a um bioplástico, biodegradável, como por exemplo o polihidroxicanoato (PHA) [10] que é um termoplástico, possível de ser utilizado para a produção de filmes, laminados, tecidos e adesivos. Este tipo de processos e materiais obtidos poderão ser uma alternativa viável para a substituição de plásticos de elevada durabilidade em aplicações onde não haja a necessidade para tal, ao mesmo tempo que permitem a eliminação dos resíduos plásticos existentes.

Em linha com as estratégias de biodegradação e de bioprospecção, a gestão de resíduos plásticos precisa de ser normalizada e regulamentada por entidades reguladoras governamentais. O pânico que por vezes surge na comunicação social e se instala na sociedade poderá então ser substituído por uma nova visão de que novas oportunidades de negócio certamente surgirão para a resolução deste desafio global que são os resíduos plásticos.

Referências

- [1] World Commission on Environment and Development, 1987, “Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future”, Oxford University Press.
- [2] A.L. Brooks, S. Wang, J.R. Jambeck, “The Chinese Import Ban and its impact on global plastic waste trade, *Sci. Adv.*, 2018, 4 (6) eaat0131. DOI: 10.1126/sciadv.aat0131
- [3] T. Backhaus, M. Wagner, “Microplastics in the Environment: Much Ado about Nothing? A Debate”, *Global Challenges* 2019, 1900022. DOI: 10.1002/gch2.201900022
- [4] Plastics – The Facts 2019
https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_fact_s2019_14102019.pdf, acesso on-line em 30/01/2020.
- [5] Percentagem de ETAR em território continental por nível de tratamento
<https://rea.apambiente.pt/content/%C3%A1guas-residuais-urbanas>, acesso on-line em 30/01/2020.
- [6] C. Völker, J. Kramm, M. Wagner, “On the Creation of Risk: Framing of Microplastics Risks in Science and Media”, *Global Challenges* 2019, 1900010. DOI: 10.1002/gch2.201900010
- [7] R. Ciriminna and M. Pagliaro, “Biodegradable and Compostable Plastics: A Critical Perspective on the Dawn of their Global Adoption”, *ChemistryOpen* 2019, 8, 1–7. DOI: 10.1002/open.201900272
- [8] B. Geueke, “Dossier – Bioplastics as food contact materials”, *Food Packaging Forum*. DOI: 10.5281/zenodo.33517
- [9] Biodegradable plastic that goes straight into compost bin could keep Ireland green
<https://www.ucd.ie/newsandopinion/news/2018/august/30/biodegradableplasticthatgoesstraightintocompostbincouldkeepirelandgreen/>, acesso on-line em 30/01/2020.
- [10] S. Kenny, J. NikodinovicRunic, W. Kaminsky, T. Woods, R. Babu, K. Keely, W. Blau, K. OConnor, Up-Cycling of PET (Polyethylene Terephthalate) to the Biodegradable Plastic PHA (Polyhydroxyalkanoate), *Environmental Science and Technology*, 2008, 42(20):7696-70. DOI: [10.1021/es801010e](https://doi.org/10.1021/es801010e)

Carbono: super-herói ou vilão

Ermelinda Mações

CQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.



Autor: Suppliciumdeatheater na Deviant art

A pegada de carbono é um termo com o qual estamos hoje todos bem familiarizados. É um termo que tem uma conotação negativa pois está associado á produção antropogénica de gases com efeito estufa como o dióxido de carbono (CO_2). Segundo a maioria dos estudos científicos publicados sobre o tema, o aumento da concentração de CO_2 na atmosfera é responsável pelo aquecimento global do planeta. As consequências do aquecimento global são difíceis de prever, mas alguns efeitos são já visíveis como o degelo das regiões polares e dos glaciares, o aumento do nível do mar, a

destruição de ecossistemas marinhos devido á acidificação dos oceanos e o aumento da prevalência de fenómenos atmosféricos extremos. Alguns destes efeitos geram mesmo um ciclo vicioso que pode acelerar o aquecimento global, como é o caso do derretimento do gelo permanente (permafrost) no solo das regiões frias, o qual aprisiona uma elevada concentração de carbono orgânico, cuja degradação gera metano (CH_4), um gás com efeito estufa muito superior ao do CO_2 . Daí que o carbono, devido ás consequência potencialmente catastróficas do seu aumento na atmosfera, possa ser visto como um supervilão que pode levar à extinção da vida na Terra tal como a conhecemos. No entanto, o problema parece ser essencialmente um problema político e económico. A humanidade pode reduzir significativamente a emissão de gases com efeito estufa e ao mesmo tempo capturar o excesso de carbono atmosférico utilizando de forma inteligente esse carbono em materiais avançados. O supervilão pode converter-se em super-herói! Nesta apresentação vou falar de materiais avançados feitos à



Imagem adaptada de <https://superman.fandom.com/wiki/Superman>

base de carbono, os nanocarbonos, e como eles podem contribuir para melhorar a nossa qualidade de vida.

O papel do carbono atmosférico no aquecimento global.

A nossa atmosfera é constituída por gases com efeito estufa que absorvem o calor reemitido pela terra tornando a terra um local agradável para viver, com uma temperatura global média à volta

dos 14 °C (Figura 1). Em Marte, onde a atmosfera é cerca de cem vezes mais fina que a da Terra, a temperatura média é de 60 °C negativos. Para que Marte se torne um planeta habitável seria necessário criar uma atmosfera semelhante à da Terra. A atmosfera terrestre é maioritariamente constituída por azoto (N₂) e oxigénio (O₂), e pequenas quantidades de gases com efeito estufa como o CO₂, o metano (CH₄), os perfluorcarbonetos, o óxido nitroso (NO₂) e a água (H₂O). O aumento da concentração de gases com efeito estufa na atmosfera terrestre deve-se essencialmente à queima de combustíveis fósseis para geração de energia e à agricultura e pastorícia intensivas, tendo como consequência o aumento da temperatura média na Terra. A pegada de carbono dá-nos a quantidade, em equivalentes de dióxido de carbono (CO₂), de gases com efeito estufa emitidos para a atmosfera por um processo ou durante o ciclo de vida de um produto. A água tem um mecanismo próprio de regulação, pois a sua concentração aumenta com o aumento da temperatura na terra, mas também aumenta a probabilidade de formação de nuvens e a queda de precipitação. Os perfluorcarbonetos existentes na atmosfera provém de atividades humanas e estão atualmente altamente regulados. O efeito estufa do NO₂ é consideravelmente superior ao do CO₂, mas a sua concentração na atmosfera é muito inferior à do CO₂. O problema do aquecimento global resume-se assim ao controlo do carbono atmosférico (CO₂ e CH₄). Precisamos de reduzir as emissões de carbono aumentando a eficiência de formas de energia renováveis, como por exemplo o uso de hidrogénio líquido como combustível proveniente da separação electrocatalítica da água pela radiação solar. Precisamos de capturar o excesso de carbono atmosférico, e sobretudo tornar esse processo economicamente viável encontrando formas inteligentes de valorizar o carbono. Com efeito, o desenvolvimento de nanomateriais avançados compostos quase exclusivamente por carbono (nanocarbonos) é atualmente uma área de investigação e desenvolvimento em expansão. O interesse nestes materiais é gerado, não pela potencial valorização do carbono atmosférico capturado, mas pelas suas propriedades únicas e



Figura 1- Representação esquemática do efeito estufa. Imagem da terra adaptada de <https://www.fourmilab.ch/cgi-bin/Earth>

potenciais aplicações. Nesta palestra falaremos sobre o que são os nanocarbonos, quais as suas potenciais aplicações e qual o impacto que estes nanomateriais podem ter no ciclo de carbono e no aquecimento global.

O que são nanocarbonos?

Nanocarbonos são materiais com pelo menos uma dimensão abaixo dos 100 nm, constituídos quase exclusivamente por carbono. 1nm é um bilião de vezes mais pequeno que um metro ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$), um fio com 100 nm de diâmetro é cerca de 1000 vezes mais fino do que um cabelo humano. Devido à sua elevada área superficial relativamente ao volume, os nanomateriais possuem propriedades muito diferentes dos materiais a granel. É o caso das

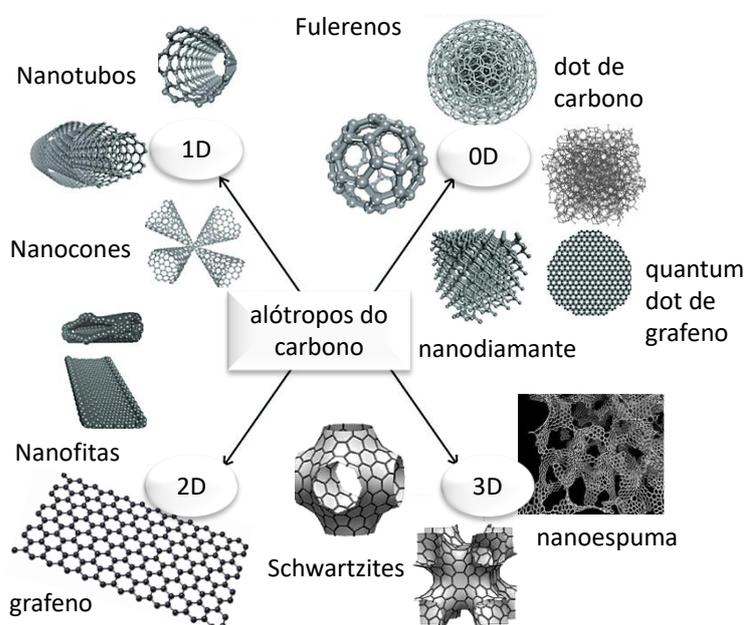


Figura 2- Alótropos nanoestruturados do carbono. Imagem inspirada em Georgakilas et al Chem. Rev. 11(2015) 4744

nanopartículas de ouro, que sendo feitas de um material de cor amarela e brilho metálico, se apresentam de cor rubi no vidro decorativo das igrejas da idade média. Um paradigmático exemplo de nanotecnologia medieval!

Os fulerenos, o grafeno, os nanotubos e nanofibras de carbono e as espumas nanoestruturadas ilustrados na figura 2, são exemplos de nanocarbonos com propriedades óticas, mecânicas e elétricas muito diferentes da grafite ou do diamante que são materiais de carbono de origem natural. As aplicações de nanocarbonos em eletrónica flexível e transparente, têxteis inteligentes, baterias e supercapacitadores para armazenamento de energia, nanocompósitos para a indústria aeronáutica e dispositivos médicos, como sensores e tecidos artificiais, promovem a investigação e o desenvolvimento desses materiais.

Qual o impacto dos nanocarbonos no ciclo de carbono?

Atualmente a produção anual de nanomateriais de carbono (2000 ton/ano) é insignificante face à quantidade de carbono emitido (35 biliões de ton/ano), mas as diversas aplicações que podemos antecipar para estes materiais permitem adivinhar um aumento da sua produção no futuro próximo, com impacto no ciclo de carbono. Cabe-nos a nós zelar para que esse impacto seja neutro ou até

mesmo negativo, isto é que reduza a quantidade de carbono atmosférico. Um exemplo paradigmático disso é o recente interesse no desenvolvimento métodos de produção de nanotubos e nanofibras de carbono a partir do CO₂ atmosférico ilustrado na figura 3.[1,2] O balanço energético do processo é favorável, além de ser eficiente em termos de custo benefício, com custos operacionais que podem chegar a ser duas ordens de grandeza abaixo dos custos do produto final. [1] Os responsáveis por este estudo estimaram que com este processo necessitariam de uma área cerca de dez vezes inferior à do deserto do Sahara para reduzir, em apenas uma década, a quantidade de CO₂ atmosférico para níveis iguais aos que se verificavam antes da revolução industrial.

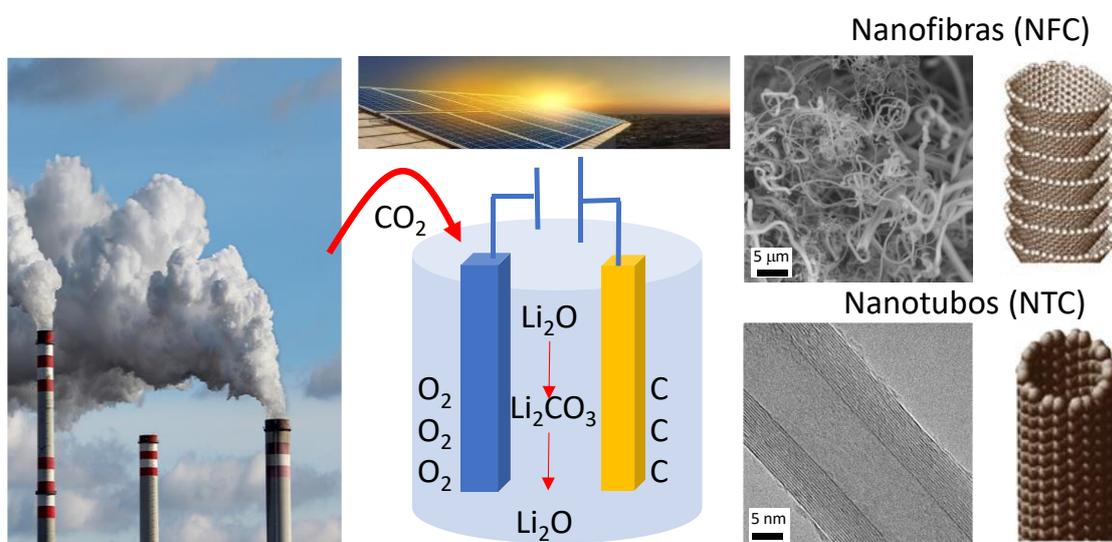


Figura 3 – Utilização da energia solar para fornecer energia elétrica e térmica necessárias para a separação eletrolítica do CO₂ atmosférico na presença de Li₂CO₃ fundido produzindo nanotubos (NTC) e nanofibras (NFC) de carbono à superfície do cátodo. Os NTC são flexíveis, condutores e mais forte do que o aço. NTC e NFC podem ser utilizados como ânodos em baterias de lítio. Imagem de NFC de Stuart Licht, George Washington University e imagem de NTC de Nanotech Innovations.

Em suma, não se prevê que o impacto dos nanocarbonos no ciclo de carbono venha a ser um obstáculo à sua produção. Pelo contrário, o seu potencial de valorização do carbono retirado da atmosfera é neste momento um incentivo ao desenvolvimento de métodos de produção sustentável.

Referências

- [1] – J. Ren, F. Li, J. Lau, L. González-Urbina, S. Stuart Licht, One-Pot Synthesis of Carbon Nanofibers from CO₂, Nano Letters, 15 (2015), pp. 6142-6148. DOI: 10.1021/acs.nanolett.5b02427 e <https://www.acs.org/content/acs/en/pressroom/newsreleases/2015/august/co2.html> visitada em 13 de Janeiro de 2020.
- [2] – A. Douglas, R. Carter, M. Li, and C. L. Pint, Toward Small-Diameter Carbon Nanotubes Synthesized from Captured Carbon Dioxide: Critical Role of Catalyst Coarsening, ACS Appl. Mat. & Interfaces 10 (2018), 19010-19018. DOI: 10.1021/acsami.8b02834

Moléculas, materiais e seres vivos luminosos

Mário Berberan e Santos e Manuel Prieto

iBB, CQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

A apresentação, com demonstrações, trata da emissão de luz por moléculas, materiais e seres vivos.

Emissões atómicas e moleculares

A emissão de luz por átomos é um fenómeno relativamente comum na atmosfera, e, por vezes, de rara beleza. Está associado às descargas eléctricas luminosas, muito brilhantes e de curta duração, por exemplo raios em tempestades e em erupções de vulcões, e ainda o *Fogo de Santelmo* (observado nas pontas dos mastros dos navios, também durante tempestades). Em todos estes casos, a luz resulta, em parte, de átomos de nitrogénio e oxigénio excitados. Também as auroras, tanto boreais como austrais, são principalmente devidas ao oxigénio, agora excitado pelo vento solar. Os espectros de emissão dos átomos foram determinantes no nosso conhecimento actual da estrutura atómica, e são obtidos experimentalmente com tubos de descarga, e também a partir das chamas de compostos que os contêm, por exemplo sais metálicos. A emissão atómica tem importantes aplicações práticas, designadamente em lâmpadas fluorescentes (por exemplo emissão de átomos de európio e térbio), que substituíram com vantagem as lâmpadas incandescentes, e também nos fogos-de-artifício, por todos apreciados (amarelo: sódio; branco: magnésio; bário: verde; cobre: azul,...).

Quanto à emissão molecular, há dois tipos principais: fluorescência (Figura 1) e fosforescência (Figura 2). As leis da espectroscopia determinam se as transições são "permitidas" (fortes) ou "proibidas" (fracas), e isso define a duração dos estados excitados. Assim, a fluorescência é um fenómeno muito rápido, no qual a emissão termina na escala de nanossegundos ou, mesmo, picossegundos, enquanto a fosforescência é um fenómeno lento que pode persistir por um longo tempo (segundos ou minutos), após a excitação, sendo, por exemplo, usada em sistemas de sinalização de segurança, indicando saídas de emergência.

A primeira menção rigorosa do fenómeno da fluorescência (1565) refere-se ao "lenho nefrítico", usado, então, no tratamento de problemas renais, trazido do México, e do qual o naturalista Nicolas Monardes, de Sevilha, descreveu a cor azul apresentada pela água onde a madeira estava submersa (fenómeno já conhecido dos astecas). Outro composto de origem vegetal é o quinino, originário do Peru, usado durante séculos na profilaxia da malária. A conhecida água tónica, muito usada no império colonial inglês, é essencialmente uma solução aquosa de quinino, ainda usada hoje no *gin* tónico. Já

nos países vinícolas da Europa (por exemplo França, Espanha e Portugal), o quinino foi principalmente tomado no vinho, o chamado «vinho quinado».

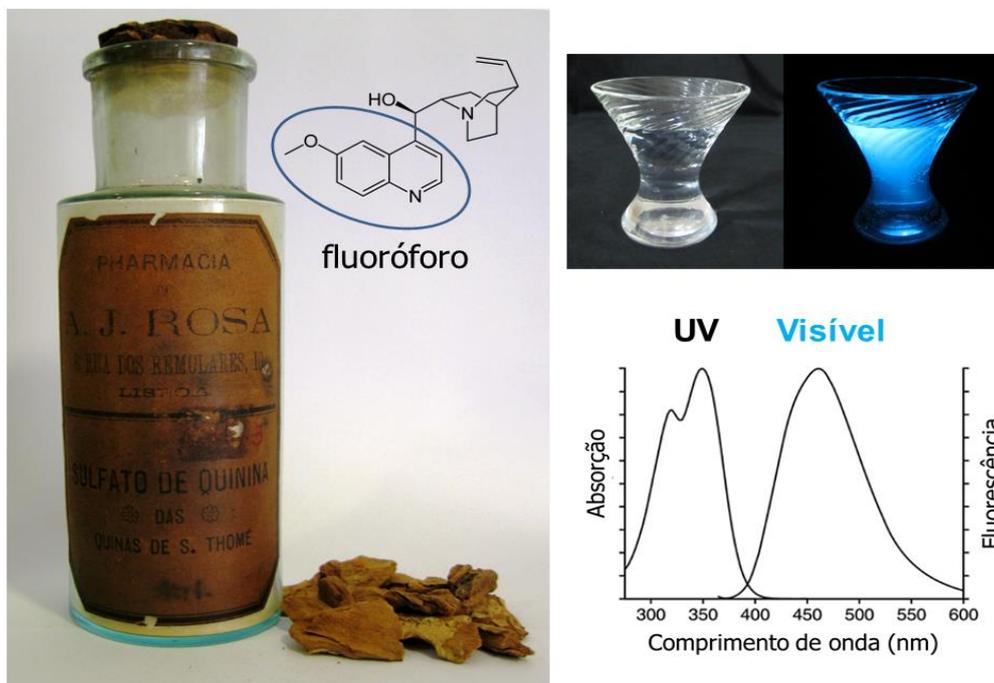


Figura 1 – Absorção (no ultravioleta, UV) e fluorescência (azul) do quinino em água (água tônica). [1]

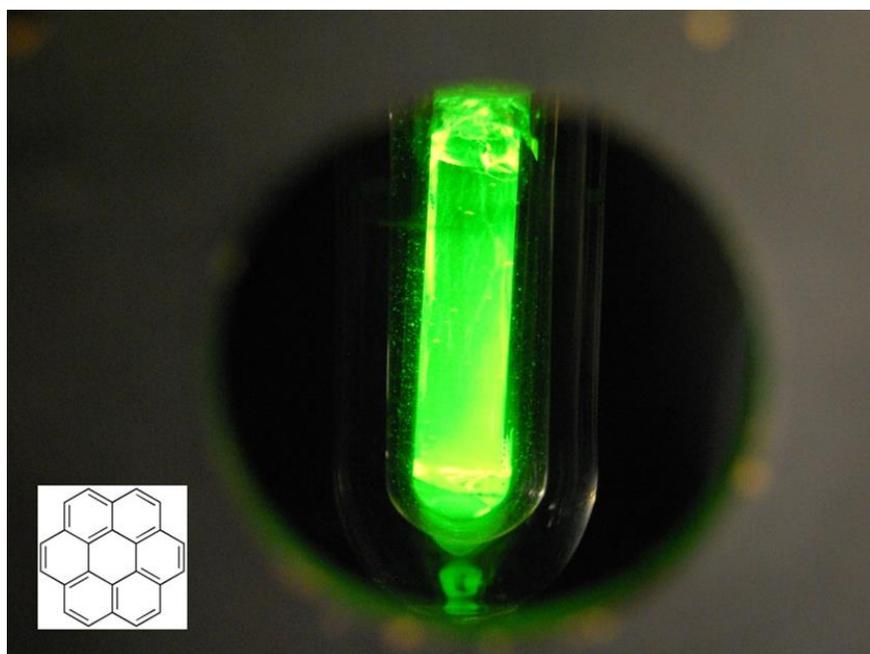


Figura 2 – Fosforescência verde do coroneno à temperatura do nitrogénio líquido (77 K), segundos após cessar a excitação da amostra com luz UV.

As aplicações da fluorescência molecular na vida quotidiana são inúmeras, designadamente nas marcas de segurança em notas bancárias e em cartões, e nos "branqueadores ópticos", que são compostos fluorescentes adicionados ao papel e aos detergentes, para intensificar a aparência de brancura ou pseudo lavagem. Muitas análises clínicas também recorrem à fluorescência.

Finalmente, são de mencionar os OLED (díodos orgânicos emissores de luz), que estão na fronteira do desenvolvimento de técnicas de iluminação e de ecrãs.

Quimioluminescência e Bioluminescência

Todos os processos que produzem um átomo ou molécula no estado excitado são susceptíveis de gerar luminescência. Os mais comuns são as já descritas Fotoluminescência (por absorção de luz) e Electroluminescência (baseada na passagem de uma corrente eléctrica), mas existem muitos outros, como a Radioluminescência (raios-X e partículas), Triboluminescência (atrito, ruptura, deformação, por exemplo, ao desfazer cristais de açúcar), Sonoluminescência (ultrasons) e Termoluminescência (aquecimento, utilizada em datação em Geologia e Arqueologia).

A todos estes processos, há que acrescentar dois muito relevantes: Quimioluminescência (emissão de luz por reacção química) e Bioluminescência (emissão de luz por reacção bioquímica). A quimioluminescência é responsável pela cor azulada que vemos na chama em fogões a gás, que seria praticamente incolor na ausência da formação de certos radicais químicos no estado excitado, existindo ainda a emissão bem conhecida do fósforo e também tubos com compostos que, por oxidação, originam espécies químicas no estado excitado, sendo usados em sinalização de emergência, pesca e outras actividades. A oxidação do luminol, usada na investigação forense para detectar sangue (devido ao ferro da hemoglobina), é outra reacção quimioluminescente.

Finalmente, a Bioluminescência, cuja singularidade provém de a reacção química ser produzida por um ser vivo (reacção bioquímica). Os pirilampos (Figura 3) são, sem dúvida, o caso mais conhecido, mas a luz emitida por espécies marinhas como certos peixes de profundidade e plâncton, além de cogumelos e bactérias, é também familiar. A importância dessa luminescência no contexto da investigação em Biologia Celular é grande, sendo usadas proteínas específicas, como a proteína verde fluorescente. Existem, até, animais transgénicos com proteínas fluorescentes (gatos, macacos, peixes), que brilham no escuro quando expostos à luz ultravioleta, o que também acontece naturalmente com algumas espécies, como os escorpiões (Figura 4).



Figura 3 – Uma das espécies de pirilampo existente em Portugal, o *Luciola lusitanica*. [1]



Figura 4 – Um escorpião iluminado com luz natural e com UV, observando-se a sua fluorescência.

Referências

[1] M.N. Berberan e Santos, Química 139 (2015) 53.

Biomateriais... O segredo da eterna juventude

Ana Topete¹, Ana Paula Serro¹

CQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Apesar das assimetrias significativas a nível mundial, durante o século XX assistiu-se a um claro aumento da esperança média de vida da população. Em 1900, esse indicador demográfico rondava os

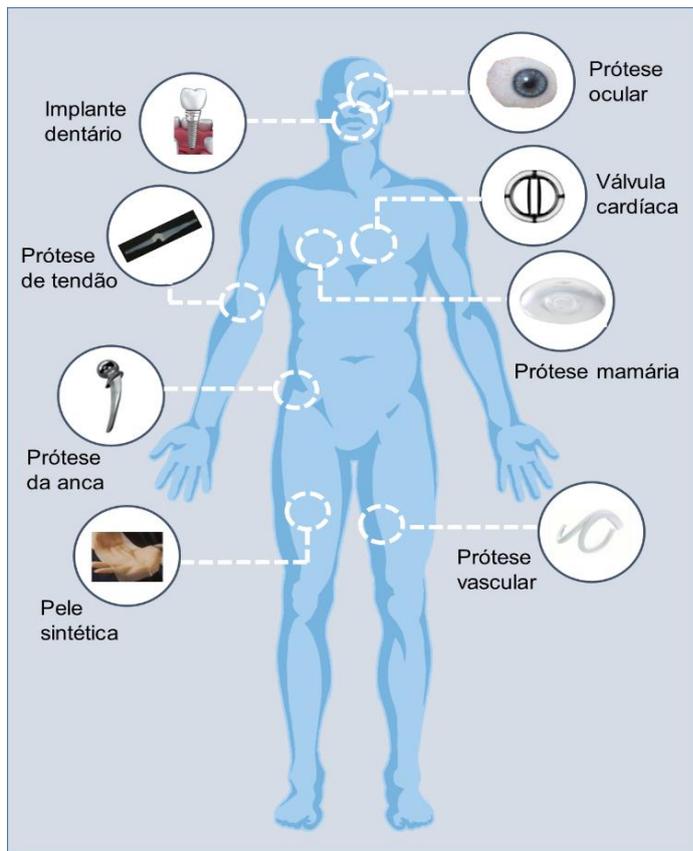


Figura 1 – Exemplos de aplicações de biomateriais.

Anualmente são colocadas em todo o mundo cerca de 2,9 milhões de próteses articulares (na sua maioria da anca e joelho) e 12,5 milhões de implantes dentários. Mais de 125 milhões de pessoas usam lentes de contacto.

tecidos ou órgãos danificados ou que apresentem deficiências, está sem dúvida relacionado com este aumento da longevidade e melhoria na qualidade de vida e bem-estar da população, permitindo preservar um estilo de vida ativo e a capacidade de trabalho até mais tarde.

30 anos. Hoje chega aos 72 (sendo que em Portugal é superior a 80 anos) e perspectiva-se que a tendência crescente se mantenha, superando-se a médio prazo os 100 anos. Entre os principais fatores que têm contribuído para este fenómeno contam-se as melhorias na alimentação, higiene e acesso a cuidados de saúde, que em conjunto têm originado uma redução significativa da mortalidade infantil e também nas faixas etárias mais altas. Em particular, os avanços médicos e tecnológicos, em termos de sistemas de diagnóstico, procedimentos cirúrgicos e novos tratamentos/farmacoterapia têm desempenhado um papel importante na melhoria da saúde e qualidade de vida dos indivíduos. O desenvolvimento de novos materiais/dispositivos que permitam reparar, regenerar ou substituir parcialmente ou totalmente

Estes materiais, designados biomateriais, têm sido utilizados em inúmeras aplicações [1], que incluem próteses e implantes, sistemas de libertação controlada de fármacos (como cápsulas, adesivos transdérmicos ou implantes hormonais), produtos de diagnóstico e utensílios médicos. O seu papel é também fundamental em dispositivos extracorporais, como as lentes de contacto e os sistemas de diálise renal, e na engenharia de tecidos. Na Figura 1 ilustram-se alguns exemplos de aplicações dos biomateriais.

Entre os vários biomateriais actualmente utilizados nos diferentes tipos de aplicações, contam-se:

- Metais, como o aço inoxidável, a platina, ligas de cobalto-cromo-molibdénio, ou o titânio e suas ligas;
- Cerâmicos, como a alumina, zircónia, hidroxiapatite, fosfato tricálcico, carbonatos de cálcio e diversos vidros e vitrocerâmicos;
- Polímeros sintéticos, como a borracha de silicone, poliuretanos e poliésteres biodegradáveis, derivados do ácido metacrílico e polímeros naturais como é o caso de várias proteínas e do amido;
- Compósitos, resultantes da mistura de alguns dos materiais anteriores.

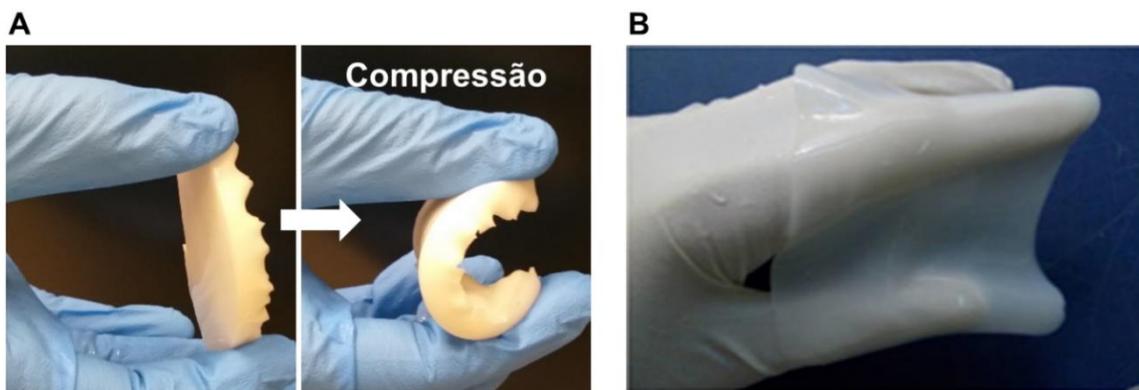


Figura 2 – As características dos materiais determinam a sua aplicação. Um hidrogel para substituição da cartilagem tem que ter uma elevada resistência mecânica (A), ao contrário do que acontece com os pensos para feridas (B).

A primeira característica que qualquer biomaterial deve apresentar é a biocompatibilidade, isto é, a ausência de toxicidade para as células e a capacidade de desempenhar a sua função sem induzir reações adversas no organismo, quer a nível local quer sistémico. Assegurado este aspeto, a determinação dos biomateriais mais adequados para cada aplicação passa pelo conhecimento das suas propriedades e dos requisitos inerentes à função que irão desempenhar (Figura 2). Assim, a caracterização dos biomateriais do ponto de vista físico e químico constitui o primeiro passo para o seu desenvolvimento. Os ensaios a realizar deverão contemplar medidas de diversas propriedades que permitam prever, por exemplo, o seu comportamento mecânico ou a estabilidade química. Dependendo da aplicação específica a que o material se destina, outras características, como as

propriedades ópticas (e.g. transparência, índice de refração, opalescência, cor), resistência térmica, propriedades reológicas, comportamento reológico, permeabilidade a diferentes espécies (e.g. iões, gases, água) ou as propriedades eléctricas, poderão ser alvo de especial atenção. No entanto, e para além da importância destas propriedades, são as características da superfície do material (e.g. composição química, estrutura, energia superficial) que determinam a resposta biológica por parte do organismo. De facto, quando um substrato entra em contacto com os fluidos biológicos ocorre a adsorção imediata de proteínas na sua superfície, um processo dinâmico bastante complexo, que depende das características das moléculas de proteína, das propriedades da superfície adsorvente e do meio envolvente (solução e solutos). Este fenómeno traduz-se numa modificação da superfície do material e vai influenciar as subsequentes interações deste com o meio envolvente, em particular com as células e os microorganismos (Figura 3). As superfícies dos biomateriais podem ser modificadas para inibir a adsorção das proteínas.

Por exemplo, nos implantes cardiovasculares, isso permite reduzir a probabilidade de formação de trombos, e nas coroas dentárias e lentes de contacto, evitar a adesão bacteriana. Noutros casos, fazem-se tratamentos com o objetivo oposto, i.e. promover a adsorção de proteínas aos biomateriais. É o caso dos substitutos da cartilagem, em que a presença de proteínas na superfície reduz o atrito e desgaste, ou de próteses ortopédicas, em que a adsorção de

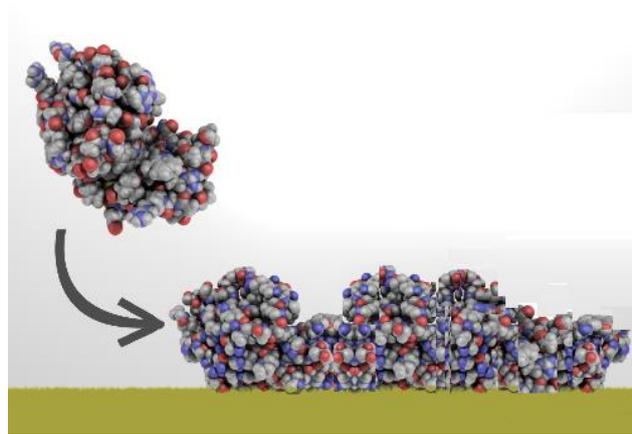


Figura 3 – A adsorção de proteínas determina a resposta do organismo ao biomaterial.

proteínas específicas (e.g. fibronectina) promove a osteointegração. O desenvolvimento de novos biomateriais envolve em geral equipas multidisciplinares. Engenheiros químicos e de materiais trabalham em conjunto com biólogos e médicos das diferentes especialidades, para conseguirem produzir materiais com as características mais adequadas e novas funcionalidades. Este trabalho compreende estágios de complexidade crescente: após a determinação das propriedades físicas e químicas e da realização de testes biológicos *in vitro*, é necessário avaliar o desempenho do material *in vivo*. Só depois do biomaterial ser considerado seguro e eficaz em experiências realizadas com animais, se poderá passar aos testes clínicos e investigar o seu desempenho no ser humano.

A segurança dos biomateriais depende não só das suas propriedades intrínsecas, mas também do seu grau de contaminação biológica. A esterilização é uma etapa obrigatória na produção da maior parte dos dispositivos médicos, que visa reduzir os riscos de infecção e inflamação quando o material é colocado em contacto com o organismo. O termo “estéril” significa ausência de quaisquer

microorganismos vivos/viáveis (e.g. bactérias, vírus, fungos, esporos) no material. O grau de esterilização é em geral quantificado através do parâmetro SAL (sterility assurance level) que mede a probabilidade do material ficar não estéril após o processo de esterilização [2]. Na União Europeia, o valor máximo de SAL admitido para classificar um dispositivo médico como terminalmente estéril é 10^{-6} , o que significa que a probabilidade de o material não se encontrar estéril após o tratamento é um em um milhão [3]. A esterilização pode ser conseguida através da combinação apropriada de calor, pressão, agentes químicos ou radiação [4] (Figura 4). Convencionalmente recorre-se à esterilização com vapor (autoclave), óxido de etileno, peróxido de hidrogénio, radiação gama, feixe de electrões e calor seco. A escolha do método mais adequado deve ser feita de forma a garantir que o mesmo não conduz à deterioração ou a alterações indesejáveis do material e que este permanece estável após a esterilização e durante o armazenamento. Questões como o impacto ambiental, a rapidez e o custo do método deverão ser também ponderadas.

Os avanços recentes na área da ciência dos materiais e noutras como as nanotecnologias e biologia celular e molecular têm contribuído para o desenvolvimento de uma nova geração de biomateriais com actividades biológicas específicas. Estes materiais podem conter células, hormonas, factores de crescimento ou outros compostos de interesse biológico, e visam dar uma melhor resposta às necessidades biomédicas.

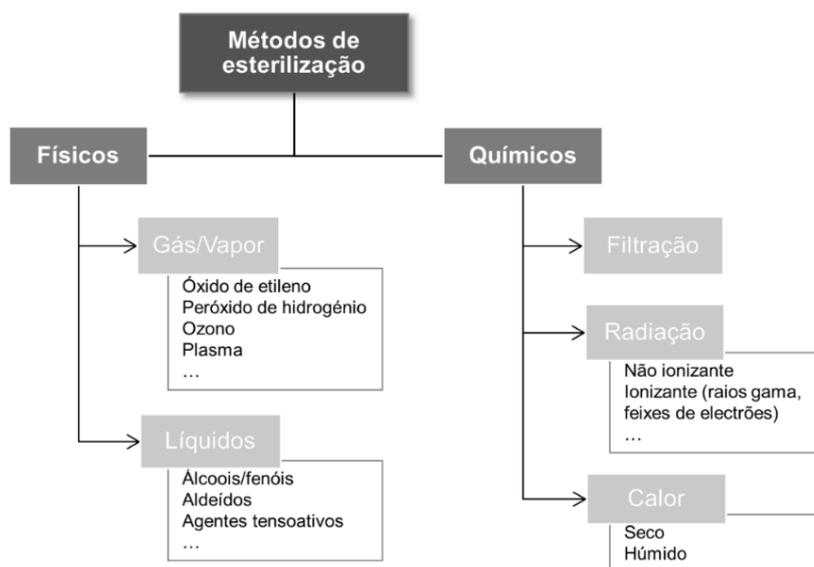


Figura 4 – Métodos de esterilização de biomateriais [4]

Referências

1. Ratner BD, Hoffman AS, Schoen FJ, Lemons JE (2004) An Introduction to Materials in Medicine, 2nd ed.

2. Davies EJ (2003) Physical and Mechanical requirements for Medical Device Materials. In: Handbook of materials for medical devices. ASM International, pp 13–19.
3. EN 556 “Sterilization of Medical Devices - Requirements for medical devices to be designated ‘STERILE’ - Part - 1: Requirements for terminally sterilized medical devices”.
4. Galante R, Pinto TJA, Colaço R, Serro AP (2018) Sterilization of hydrogels for biomedical applications: A review. *J Biomed Mater Res Part B Appl Biomater* 106:2472–2492.

Como podemos produzir gasolina?

M. Filipa Ribeiro, Catarina Carrilho Ribeiro, Teresa Neuparth

CQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

O que é a gasolina?

É um líquido volátil e inflamável. É uma mistura de hidrocarbonetos utilizada como combustível nos motores de combustão interna para propulsão dos veículos.

A gasolina é classificada segundo o seu poder antidetonante. Quanto maior for o Índice de Octano mais antidetonante será o combustível e, por conseguinte, maior será a sua capacidade para resistir a as altas compressões sem sofrer a detonação. Em Portugal utiliza-se gasolina *Euro super* e *Super plus* que têm índices de octano (RON) de 95 e 98, respetivamente. As gasolinas comercializadas atualmente também devem conter bioetanol e outras especificações com vista à redução das emissões de gases com efeito de estufa [1].

A qualidade das gasolinas depende do tipo de hidrocarbonetos que existem na sua composição. Contêm, normalmente, hidrocarbonetos com número de átomos de carbono entre 5 e 11. Os hidrocarbonetos ramificados (iso-parafinas) e os aromáticos são os que apresentam maior índice de octano (RON). As parafinas com maior número de átomos de carbono têm menor RON.

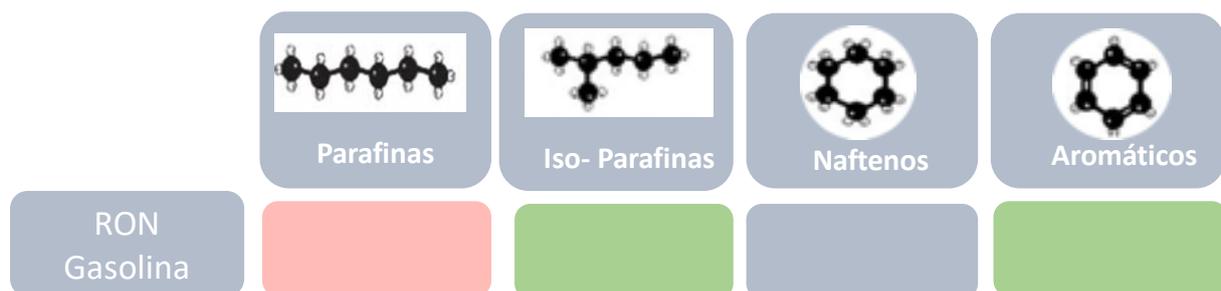


Figura 1 – Influência da composição química da gasolina no RON baixo alto médio

A origem da gasolina

Tradicionalmente, a gasolina é obtida a partir do petróleo bruto por intermédio de vários processos como o *Cracking* Catalítico, destilação e outros. Também é possível fazer gasolina a partir de outras fontes fósseis, como o gás natural e o carvão, ou a partir de várias fontes de biomassa como por

exemplo: algas, resíduos agrícolas e florestais e mais recentemente estão a ser desenvolvidos processos para utilizar plásticos usados que não podem ser reciclados.

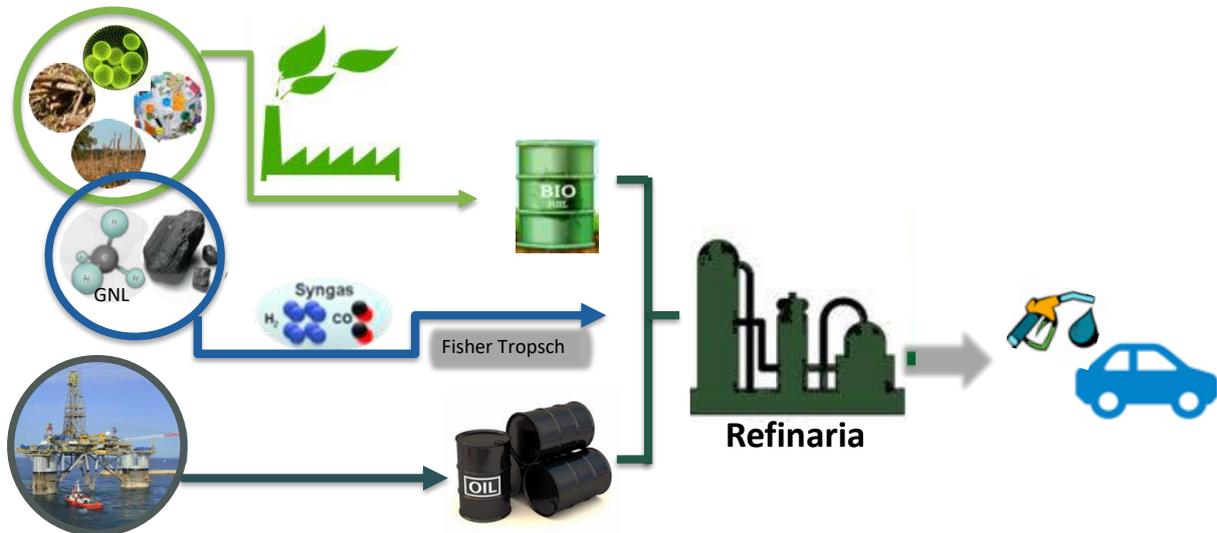


Figura 2 – Produção de gasolina a partir de fontes fósseis, biomassa e resíduos plásticos.

A gasolina que é comercializada na maioria dos países, é obtida maioritariamente a partir do petróleo bruto, mas as previsões futuras indicam que será necessário recorrer das outras fontes, nomeadamente das fontes renováveis.

Produção industrial de gasolina

A gasolina é produzida nas refinarias de petróleo com as características adequadas para ser comercializada, ou seja, com volatilidade, índice do octano, teor de benzeno, aromáticos e enxofre, entre outras propriedades, de acordo com os valores impostos pela legislação europeia e adaptados para o clima de Portugal. É uma mistura de várias fracções de gasolina, obtidas em várias unidades da refinaria, que começa na destilação fraccionada do petróleo bruto e passa pelo *Cracking* Catalítico das fracções pesadas constituintes do petróleo.

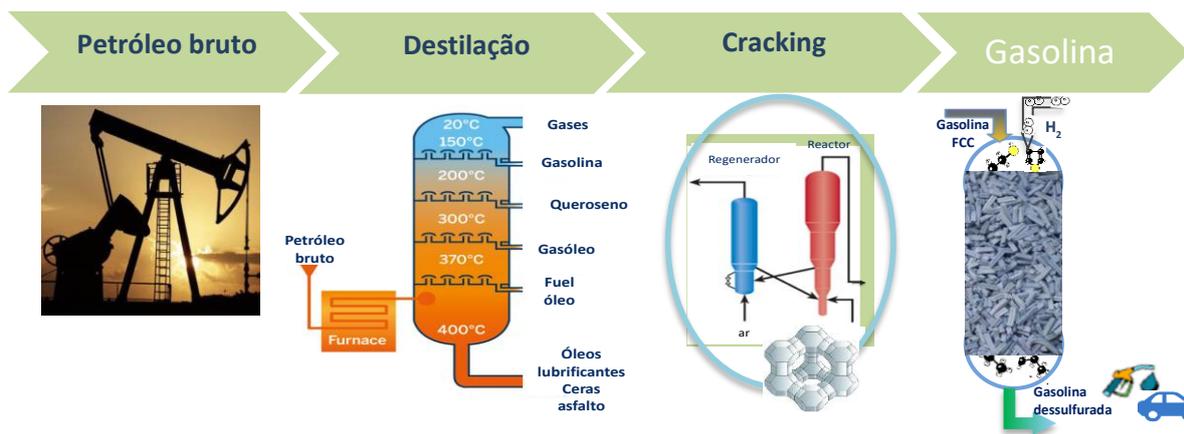


Figura 3– Produção de gasolina numa refinaria de petróleo.

No processo de cracking catalítico, também designado por processo FCC (Fluidized Catalytic Cracking), os hidrocarbonetos de elevado peso molecular, nomeadamente as parafinas de cadeia longa, são “partidas”, ou craqueadas, por aquecimento e em presença de um catalisador ácido sólido, para originar moléculas de menor tamanho. Utiliza-se como catalisador o zeólito Y, um aluminossilicato microporoso cristalino com poros de 7,4 Å [2]. A reação de cracking catalítico das parafinas (alcanos lineares ou ramificados) origina parafinas e olefinas (alcenos), e estas últimas, como são muito reactivas originam aromáticos. Os produtos da reação são posteriormente separados por destilação e uma das fracções corresponde à gasolina. Para além dos produtos líquidos ou gasosos, há ainda a formação de coque, constituído por compostos carbonáceos de elevado peso molecular, resultantes das reações de condensação dos compostos aromáticos. O coque deposita-se nas partículas do catalisador e desactiva os centros ativos para a reação. O catalisador desactivado pode ser regenerado por queima do coque com ar. Como a desativação do catalisador é muito rápida (da ordem dos 2-3 seg) o processo industrial engloba um reator e um regenerador tal como mostra o esquema da Figura 4.

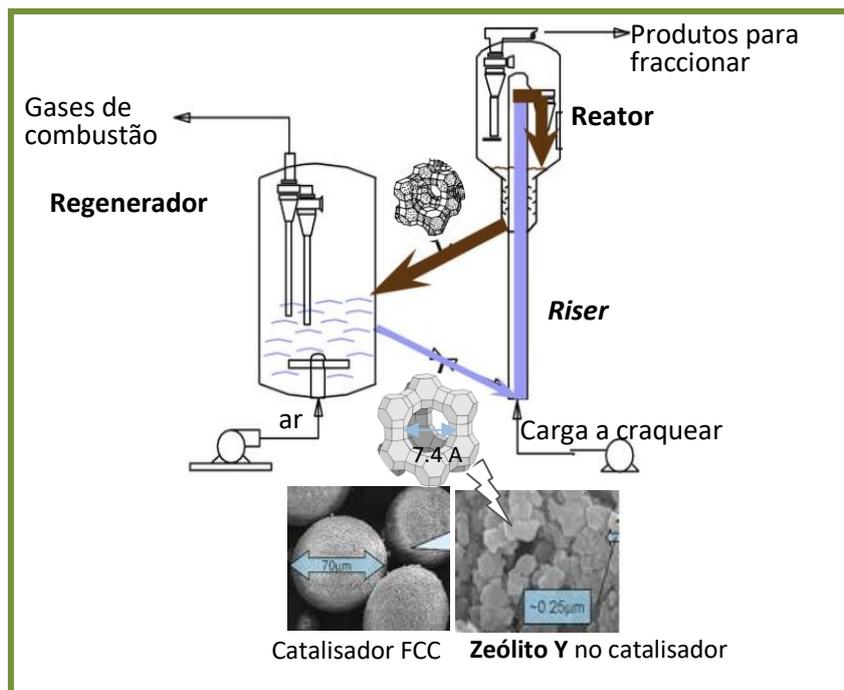


Figura 4 – Processo FCC de cracking catalítico. Detalhe da recirculação do catalisador com zeólito Y.

O catalisador está em circulação e é continuamente recirculado ao regenerador onde ocorre a combustão do coque. A reação de combustão liberta calor que é adsorvido pelo catalisador regenerado. Este calor é depois utilizado para vaporizar os hidrocarbonetos da carga de alimentação e fornecer o calor necessário para a reação (endotérmica) que deve ocorrer à temperatura de 500°C e à pressão atmosférica. Este processo é autossuficiente energeticamente e os gases de combustão podem ser utilizados para produzir vapor e energia eléctrica.

Como o petróleo bruto contém alguns compostos com átomos de enxofre e estes não são transformados nas condições do cracking catalítico, a gasolina pode conter compostos de enxofre (mercaptans e sulfuretos) que têm que ser removidos por tratamento com hidrogénio na presença de um catalisador sólido. O processo de dessulfuração da gasolina é apresentado na figura seguinte.

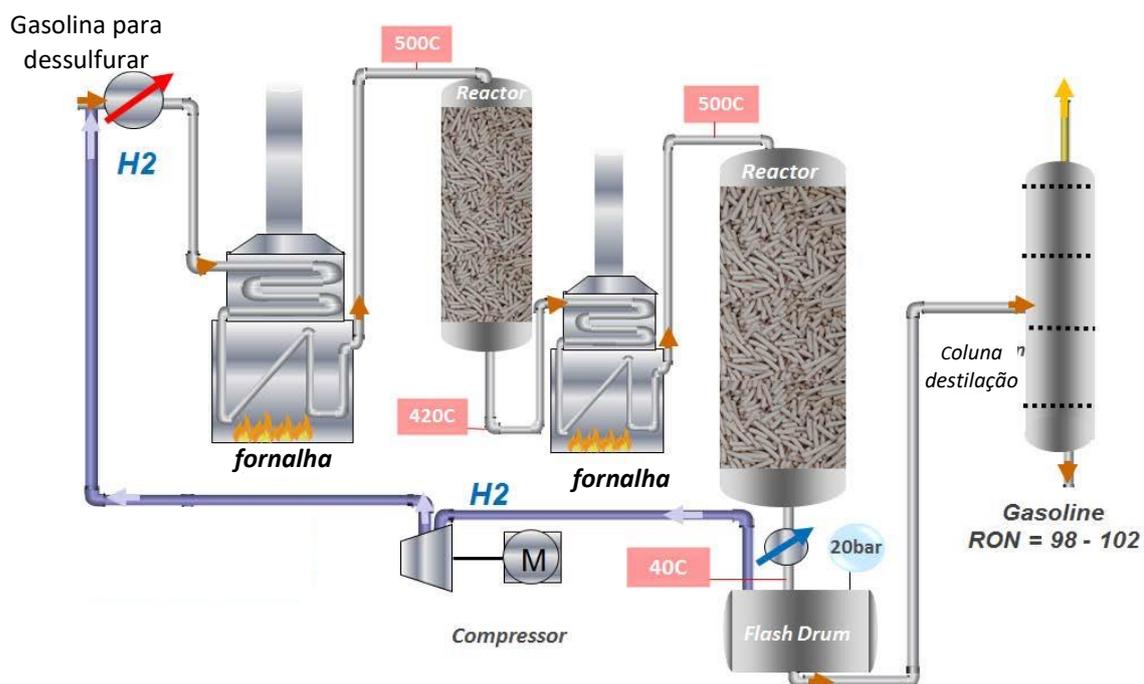


Figura 5 – Processo de tratamento da gasolina para remoção de enxofre.

A gasolina obtida deve ter um teor de enxofre inferior a 10 ppm [1]. Com este tratamento reduz-se a possibilidade de os gases de combustão obtidos nos motores dos carros conterem SO_2 . Este gás, além de ser um dos responsáveis pelas chuvas ácidas, contribui para a desativação e redução do tempo de vida dos catalisadores de três vias que os carros usam para remover os poluentes CO, NO_x e VOCs. As frações de gasolina tratada, obtidas nas diversas unidades da refinaria, são misturadas com os aditivos que permitem acrescer o índice de octano e controlar a volatilidade, nomeadamente os éteres (MTBE, ETBE) e o bioetanol, utilizando as proporções que permitam obter as especificações que constam da legislação [1].

Referências

- [1] Decreto-Lei n.º 142/2010 publicado no Diário da República, 1.ª série- N.º 253 - 31 de Dezembro de 2010
- [2] Zeólitos: Um Nanomundo ao Serviço da Catálise, M. Guisnet & F.R. Ribeiro, Fundação Calouste Gulbenkian, 2004

LASERS, LEDS e Plasmas: A força está no Técnico

Vasco D.B. Bonifácio

iBB – Instituto de Bioengenharia e Biociências, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

A química é uma ciência extraordinária. Os fenómenos que observamos no dia a dia desafiam a nossa imaginação e despertam curiosidade. Parece-me magia, mas não... tudo tem uma explicação. A vontade de sabermos mais sobre o que nos rodeia conduz-nos a novas perguntas, e este é um processo contínuo que alimenta o progresso do conhecimento. Pequenos passos que se transformam em grandes descobertas.

LASERS

Algumas décadas atrás um LASER (abreviatura para *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) era apenas um fenómeno da ficção científica. A divulgação dos LASERS foi muito impulsionada por filmes como *Star Wars* (Guerra das Estrelas), um filme de ficção científica criado pelo cineasta George Lucas. Após a estreia em 1977, o filme alcançou um enorme sucesso à escala mundial tendo originado uma série de filmes, tendo o último (o 12º da sequência) estreado em 2019 com o título *The Rise of Skywalker* (A Ascensão de Skywalker). Hoje os LASERS fazem parte do nosso quotidiano, e são muitos os exemplos do seu uso, desde os leitores de códigos de barras até à cirurgia ocular (figura 1).



Figura 1 – Exemplos de aplicações dos LASERS.

O princípio de funcionamento de LASERS baseia-se na estimulação de electrões por uma fonte de elevada energia, fazendo que neste processo de excitação ocorra uma inversão da população electrónica num chamado “estado excitado” (maior energia) face a um “estado fundamental” (menor energia). A emissão de fotões correspondente ao decaimento do estado excitado para o estado fundamental origina um feixe de fotões com igual energia, a chamada emissão estimulada. A cor do LASER está associada à sua energia. Os LASERS de cor vermelha possuem uma menor energia (e.g. leitores de códigos de barras e termómetros), os verde, embora mais energéticos, são seguros para a realização de cirurgia ocular (e.g. colagem da retina). Os LASERS de cor azul são os mais potentes e por esta razão conseguimos “escrever” em placas fosforescentes, como aquelas que encontramos nas saídas de emergência (Figura 2). Estas placas são produzidas usando sulfureto de zinco dopado com cobre ($ZnS:Cu^{2+}$), o material responsável pelo brilho (esverdeado) destes materiais no escuro. Este brilho corresponde a uma emissão lenta da luz absorvida pelo material, a qual denominamos fosforescência.

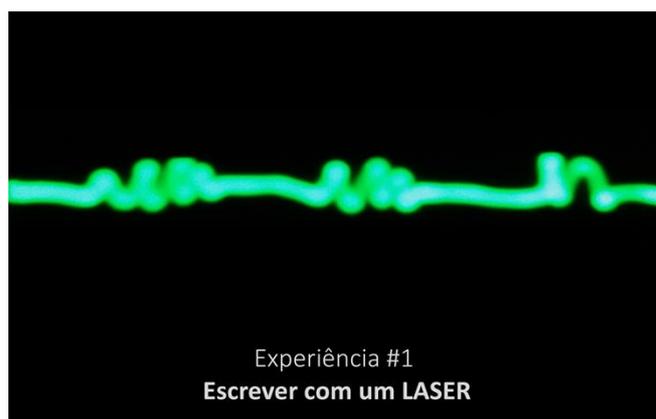


Figura 2 – Escrever com um LASER. Experiência usando um LASER de cor azul e uma placa fosforescente.

LEDS

A descoberta do LED (abreviatura para *Light-Emitting Diode*, díodo emissor de luz) remonta ao ano de 1927, pelo cientista Russo Oleg Losev. Contudo a sua produção, suficientemente eficiente para aplicações práticas, ocorreu apenas em 1993. Este avanço técnico conduziu à atribuição do Prémio Nobel da Física a três cientistas japoneses em 2014 [1]. Os LEDS foram considerados pelo Comité Nobel como “uma nova luz para iluminar o mundo”. De facto, a iluminação por LEDS proporcionou um grande avanço na eficiência e na sustentabilidade da iluminação. O uso dos LEDs encontra-se profundamente disseminado na nossa sociedade e tem vindo a substituir, gradualmente, a iluminação por lâmpadas incandescentes (usando filamento de tungsténio) e fluorescentes (usando gases inertes, mercúrio e fósforo).

Para além da iluminação clássica, os LEDS podem ter múltiplas aplicações, algumas até inesperadas como pestanas iluminadas ou tratamento de problemas gastrointestinais [2]. Contudo a revolução LED continua. O desenvolvimento de LEDS orgânicos (OLEDs), recorrendo a polímeros conjugados [3] e com total flexibilidade, permitiu o desenvolvimento de ecrãs de televisores, telemóveis e outros equipamentos. Mais recentemente, surgiram LEDS incorporando uma matriz ativa (AMOLEDs). Esta tecnologia está em grande expansão no fabrico de ecrãs de telemóveis, permitindo uma maior definição de imagem.

Uma propriedade interessante dos LEDS é a sua mudança de cor quando submetidos a temperaturas muito baixas. Por exemplo, se mergulharmos um LED de cor laranja em nitrogénio líquido (-196 °C) podemos observar a sua mudança de cor para verde (Figura 3). Esta mudança de cor do LED é reversível, voltando a observar-se a cor laranja quando atinge novamente a temperatura ambiente. Este fenómeno pode ser explicado pelo aumento do intervalo de energia, que ocorre a baixa temperatura, na interface dos materiais que compõem o LED. A mudança da cor laranja (maior comprimento de onda, menor energia) está relacionada com este aumento de energia, que conduz a uma emissão na região do verde (menor comprimento de onda, maior energia).

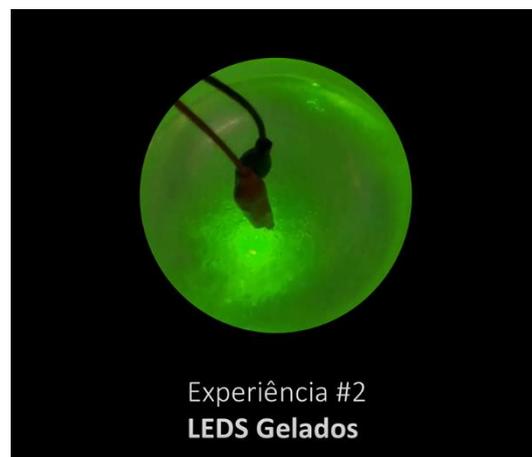


Figura 3 – LEDS gelados. Experiência usando um LED laranja, mergulhado em nitrogénio líquido.

Plasmas

O plasma é o quarto estado físico da matéria, e corresponde a um gás ionizado. As trovoadas e as nebulosas no Espaço são exemplos de plasmas formados naturalmente. No dia a dia também podemos encontrar exemplos de tecnologia que usam o plasma. Um desses exemplos são os ecrãs de televisão, cujo funcionamento se baseia na ionização de gases nobres contidos em pequenas células revestidas por fósforo. Mais recentemente, o plasma a frio tem vindo a adquirir uma importância crescente. Este facto fica a dever-se à sua capacidade de higienização de ambientes, purificação da água, desinfeção

de alimentos e utensílios. Usando esta tecnologia é possível eliminar bactérias e vírus sem recorrer a produtos químicos, permitindo ainda uma enorme poupança de água.

Também é possível produzir plasma usando uvas e um micro-ondas (Figura 4). A ideia poderá ser estranha, mas foi investigada por cientistas no Canadá [4] após a experiência ter sido banalizada na internet nos últimos 20 anos. Este é um exemplo de como a ciência pode explicar fenómenos que observamos no dia a dia!



Figura 4 – Plasma de uvas [4]. Fenómeno observado quando as uvas são irradiadas num forno de micro-ondas.

Numa perspectiva mais lúdica, as bolas de plasma são uma forma divertida de observarmos o plasma. O conceito foi desenvolvido por Nikola Tesla em 1894 [5], mas só nos anos 1970 é que começaram a ser produzidas como as conhecemos hoje, contendo a esfera de vidro uma mistura de gases inertes (e.g. néon, cripton, xénon) que conferem ao plasma as cores características observadas. Uma propriedade interessante das bolas de plasma é a sua capacidade de ionizar a mistura de gases e mercúrio existente nas lâmpadas de fluorescência. A experiência é muito simples e transporta-nos para uma cena do filme *Star Wars*, afinal... a força está no Técnico!



<https://wallpapersafari.com/w/TVxXGJ>

Referências

- [1] Página oficial dos Prêmios Nobel. URL: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2014> (acedido em 22.02.2020).
- [2] R. Raman et al., Light-degradable hydrogels as dynamic triggers for gastrointestinal applications, *Sci. Adv.* **2020**, 6.
- [3] J. H. Burroughes et al., Light-emitting diodes based on conjugated polymers, *Nature* **1990**, 347(6293), 539–541.
- [4] H. K. Khattak, P. Bianucci, A. D. Slepko, Linking plasma formation in grapes to microwave resonances of aqueous dimers, *PNAS*, **2019**, 116(10), 4000–4005.
- [5] N. Tesla, Incandescent electric light, Patente Americana US514170A, 06.02.1894.

Experiências no Laboratório

As experiências nos Laboratórios, que decorrem após a palestra, juntam grupos de alunos à volta das bancadas a seguir com atenção o que os alunos mais velhos, alunos universitários, têm para lhes mostrar e explicar.

Percorrendo os cinco módulos experimentais, que cada grupo etário tem à sua disposição, os alunos vão descobrindo como se pode aprender e divertir ao mesmo tempo.

Há Química (Orgânica) entre nós

Dulce Simão^a, Rita Pires^b, Vasco Bonifácio^b Pedro Mattos^c, Paulo Ventura^c

^a CQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^b iBB, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^c Alunos de mestrado em Engenharia Biológica, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

A química orgânica é a química dos compostos de carbono e está entre nós! No corpo humano, na alimentação, nos medicamentos, nos produtos de limpeza, cosmética, mas também no teu computador, mobília, automóvel, telemóvel, etc... Alguns são de origem natural outros de origem sintética. É frequente referirem-se aos produtos químicos sintéticos como sendo prejudiciais e aos produtos naturais como sendo benéficos para os seres vivos. Na realidade existem produtos naturais bastante tóxicos e produtos sintéticos inofensivos. Uma laranja por exemplo é constituída por dezenas de produtos químicos diferentes, que podem ser isolados através de diversos métodos de extracção e separação. Estas moléculas, que existem na natureza, podem também ser obtidas a partir de outros compostos químicos através de reacções químicas, exactamente com as mesmas propriedades, conhecida como síntese orgânica. Além destas, muitas novas moléculas podem ser preparadas, úteis no desenvolvimento de novos materiais, fármacos e outras biologicamente activas. Muitos destes compostos podem apresentar aroma agradável, cores intensas ou emitirem luz e devido a essas propriedades têm aplicações específicas no nosso dia-a-dia. Nas seguintes experiências mostra-se como se isolam compostos orgânicos de produtos naturais e como se obtêm por transformação (reacções), ilustrando alguns dos procedimentos habituais num laboratório de química orgânica. Mostram-se ainda alguns fenómenos que relacionam a química com a luz.

Extracção do óleo de cedro (*Cupressus lusitanica*)

O óleo de cedro é um óleo essencial de cor amarelada proveniente dos vários tipos de espécies ciprestes (Figura 1).



Figura 1 – Óleo de cedro e árvore da família cipreste

Este óleo apresenta diversas aplicações diretas e indiretas nas áreas da aromaterapia e das indústrias alimentar e cosmética (Figura 2). Pode ainda ser utilizado na elaboração de repelentes de insetos e apresenta propriedades interessantes do ponto de vista da saúde tais como: antisséptico, anti-inflamatório e antifúngico.



Figura 2 – Exemplos de aplicação do óleo de cedro: a) óleo essencial utilizado na aromaterapia, b) repelente de insetos, c) spray limpa-móveis, d) produto tira-gorduras.

A constituição do óleo de cedro pode variar largamente dependendo da espécie, do ambiente e do estado fisiológico em que a planta se encontra^{1,2}. No entanto, no caso da espécie *Cupressus lusitanica*, sabe-se que os compostos α -pineno, β -pineno e δ -3-careno geralmente são os principais componentes^{1,2} apresentando concentrações na ordem de 11.2, 16.5 e 19.4 %, respetivamente. Todos estes compostos orgânicos são constituídos por átomos de carbono e hidrogénio (Figura 3).

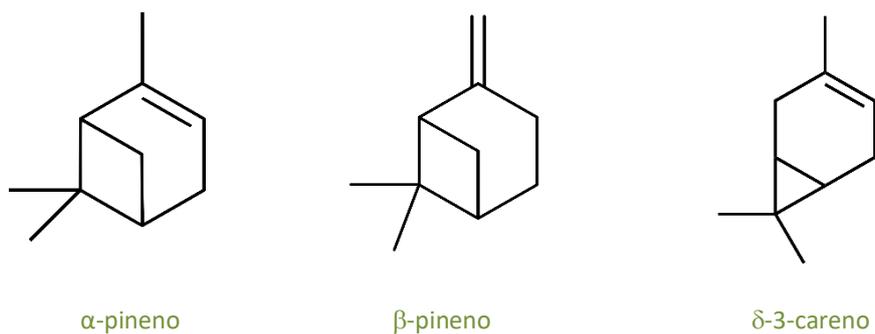


Figura 3 – Estruturas químicas dos principais componentes do óleo de *Cupressus lusitanica*.

Nesta atividade, demonstra-se a extração do óleo de cedro através da técnica de destilação por arrastamento de vapor de folhas de cedro. Neste tipo de destilação produz-se vapor de água numa caldeira que é posteriormente introduzido na montagem da Figura 4. É de notar que esta destilação só pode ser realizada quando os componentes que queremos extrair não são solúveis em água, como é o caso da maioria dos compostos presentes no óleo de cedro.



Figura 4 – Montagem da destilação por arrastamento de vapor e balão de destilação com folhas de cedro.

O destilado (água e óleo de cedro) é passado para uma ampola de decantação. Como a quantidade destes compostos existente no cedro é relativamente pequena procede-se a uma extração líquido-líquido desta fase aquosa, adicionando um solvente orgânico (clorofórmio) (Figura 5). Através de decantação separam-se os dois líquidos imiscíveis e com diferentes densidades.

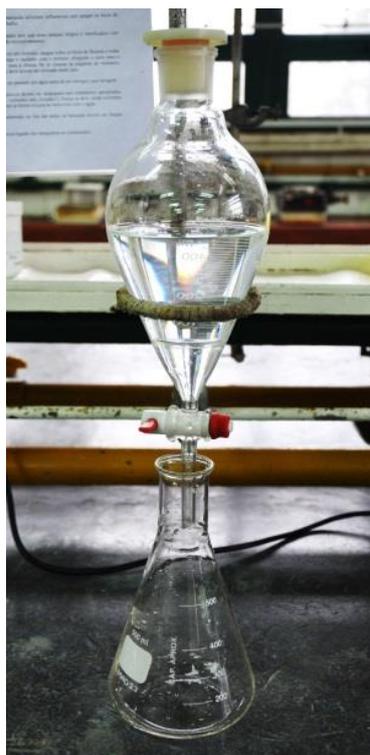


Figura 5 – Extração líquido-líquido com separação do óleo de cedro em clorofórmio (fase orgânica) da fase aquosa.

Uma vez separadas as fases orgânica e aquosa, de forma a remover o clorofórmio adicionado, efetua-se evaporação do mesmo recorrendo ao aparelho rotavapor (Figura 6).



Figura 6 – Destilação do clorofórmio num evaporador rotativo.

Referências

- [1] – Kuate, J. R., Bessière, J. M., Vilarem, G., & Zollo, P. H., Chemical composition and antidermatophytic properties of the essential oils from leaves, flowers and fruits of *Cupressus lusitanica* Mill. from Cameroon, *Flavour and Fragrance Journal* **2006**, 21, 693–697.
- [2] – Tum, P. K., & Mainya, N. O., Extraction and Analysis of Essential Oils from Cypress Species (*Cupressus lusitanica* and *Taxodium distichum*) from Selected Areas in Kenya. *The International Journal Of Science & Technoledge*, **2016**, 4, 26–34.

Extração da clorofila dos espinafres

Os principais pigmentos existentes nas folhas de espinafres são os compostos orgânicos clorofila a e b (Figura 7). A clorofila é um composto foto receptor da luz visível, essencial para a realização da fotossíntese.

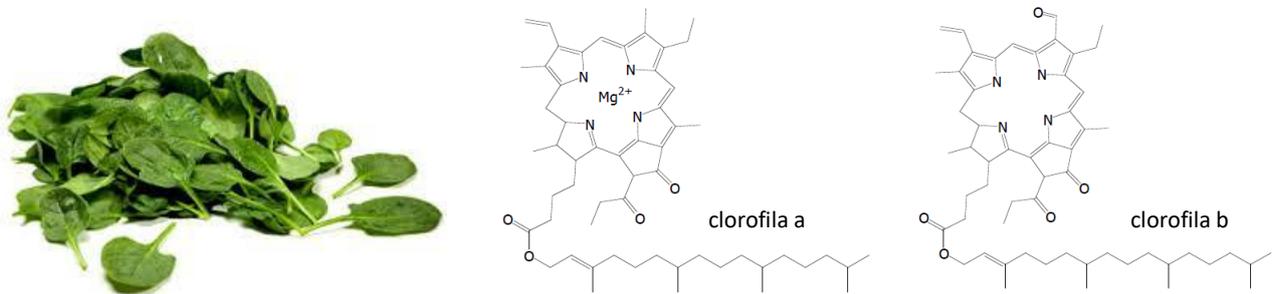


Figura 7 – Espinafres e estruturas químicas da clorofila a e b.

Nesta experiência vamos isolar estes pigmentos das folhas de espinafres¹, através de uma técnica denominada extração em soxhlet (Figura 8). Nesta técnica, usa-se o etanol como solvente que ao ser aquecido entra em ebulição, evapora e vai condensar no extrator sobre as folhas de espinafre cortadas, sendo depois reconduzido ao balão juntamente com a clorofila.



Figura 8 – Extração da clorofila em soxhlet.

As folhas de espinafres depois de submetidas a esta extração ficam completamente descoloridas (Figura 9).

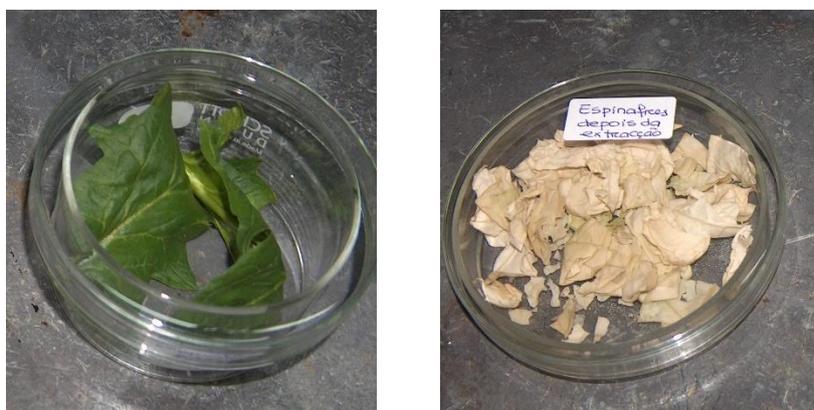


Figura 9 - Espinafres antes e depois da extração.

Em seguida, separa-se o solvente por destilação recorrendo a um rotavapor ou evaporador rotativo (Figura 10).



Figura 10 - Destilação do etanol num rotavapor

O solvente é evaporado e condensa no refrigerante, sendo recolhido num balão. Deste modo obtém-se o chamado extrato que contém a clorofila a e b (Figura 7), além de outras substâncias em menor quantidade.

Referências

[1] - D.J. Waddington; H. S. Finlay, *Organic Chemistry through Experiment*, Mills and Boon Ltd, London, **1977**, 168.

Síntese da aspirina®

Os efeitos medicinais do extrato de salgueiro são conhecidos há mais de 2000 anos. Era usado para aliviar as dores e reduzir a febre. No início do século XIX os químicos descobriram que o princípio ativo desses extratos era o ácido salicílico que apesar de ser um bom analgésico, antipirético e anti-inflamatório provocava graves irritações gastrointestinais. Em 1893, Bayer descobriu que uma simples modificação do ácido salicílico em ácido acetilsalicílico (aspirina®), originava um composto que atuava mais eficazmente e com efeitos secundários muito mais reduzidos. Além de analgésico e antipirético, reduz o risco de ataque cardíaco em pacientes com problemas cardiovasculares. A aspirina tem dois grupos funcionais ligados ao anel aromático: um grupo éster que é neutro e um grupo ácido carboxílico que tem propriedades ácidas. Neste trabalho prepara-se a aspirina fazendo a reação entre o anidrido acético e o ácido salicílico (esterificação) catalisada pelo ácido sulfúrico¹ (Figura 11).

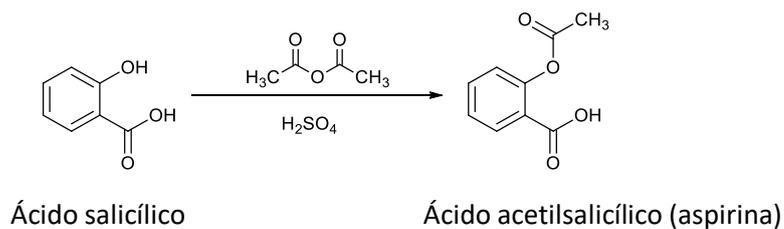


Figura 11 – Esquema reacional da síntese da aspirina

Na figura 12 pode observar-se a montagem para realizar a síntese deste composto consistindo num balão de 3 tubuladuras, condensador de refluxo e termómetro e uma barra de agitação magnética. Após a adição dos reagentes, a mistura reacional é aquecida num banho de água a 50-60 °C com agitação magnética durante 10 minutos.



Figura 12 - Montagem para a reacção de síntese da aspirina.

Ao adicionar água fria dá-se a precipitação completa do produto que é isolado por filtração a vácuo depois de arrefecido em gelo² (Figura 13).



Figura 13 - Isolamento da aspirina por filtração a vácuo.

Referências

- [1] – D. Simão, “100 experiências de química orgânica”, **2011**, ISTPress, Exp.70, pág. 287.
[2] – L. F. Fieser; K. L. Williamson, Organic Experiments, Houghton Mifflin Company, **1998**, 8ª ed, pág. 392.

Química na escuridão

Fluorescência

A fluorescência é um fenômeno observado quando certas substâncias são expostas à radiação ultravioleta, verificando-se emissão de luz. A absorção da radiação (energia) origina transições eletrônicas do estado fundamental para níveis de energia superiores (estados excitados). Quando os elétrons voltam ao estado fundamental libertam energia dando-se então a emissão de luz. É um processo muito rápido. Existem vários compostos orgânicos que são fluorescentes quando observados sob uma lâmpada de ultravioleta como por exemplo, o quinino existente na água tônica, a fluoresceína (Figura 14) muito utilizada para detecção de águas subterrâneas, exames oftalmológicos (angiogramas) e como marcador biológico, como por exemplo em química forense.



Figura 14 - Água tônica, solução de eosina e de fluoresceína sob luz ultravioleta.

Existem também compostos fluorescentes em notas, cartas de condução e outro tipo de documentos (Figura 15). Este tipo de análise é de igual modo usado em investigação criminal para verificação da validade de papel-moeda e de diversos documentos.

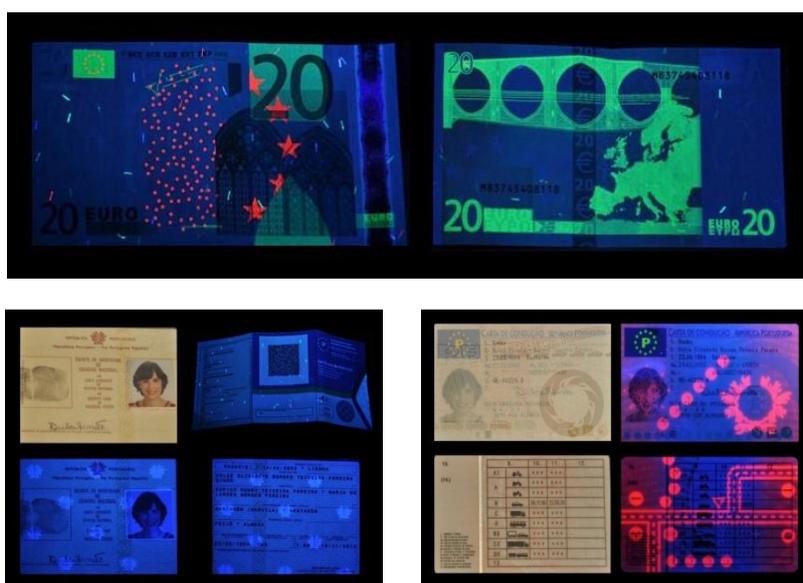


Figura 15 – Vários documentos e notas sob luz natural e sob luz ultravioleta.

Fosforescência

A fosforescência é um tipo de luminescência que ocorre em certos materiais. Neste processo o material absorve energia de radiação na zona do visível, a qual é depois emitida sob a forma de luz de forma lenta. O termo fosforescência tem origem na Antiguidade Clássica, uma vez que os materiais com estas propriedades eram designados por fósforo (do Grego *phosphoros*, portador de luz).¹ Um exemplo de materiais fosforescentes são as placas de sinalização de emergência, em cuja composição está

presente o sulfureto de zinco dopado com cobre, que é composto químico responsável pelo brilho que observamos no escuro (Figura 16).



Figura 16 – Exemplo de objectos fabricados com materiais fosforescentes.

Material:

- Placa fosforescente (ou uma placa de sinalização de saída de emergência)
- Ponteiro laser de cor azul (ou lanterna do telemóvel)
- Lanterna de LEDs azuis
- Aquário luminescente

Esta actividade deverá ser realizada numa sala escura. Usando o ponteiro laser vamos tentar escrever uma mensagem ou fazer um desenho na placa. Será possível? O que acontece quando o raio laser toca na placa? Usando a lanterna descobre os habitantes do aquário.

Quimiluminescência

Já todos ouviram falar de “glow party”. É uma festa cheia de luz e cor, onde se utilizam muitos produtos fluorescentes e luminosos. Muitos dos artigos usados nestas festas, consistem em pequenos tubos de plástico que se podem apresentar como pulseiras, colares, que se dobram até partir e ficam luminosos durante bastantes horas² (Figura 17).



Figura 17 – “Glow Party”

Quando surgiram os primeiros produtos deste gênero, nos anos 70, os chamados “glow sticks” ou “cylume” tinham como principal função servir de luz de emergência. Atualmente são utilizados nas mais variadas situações uma vez que são à prova de água, toleram altas pressões, não necessitam de baterias ou pilhas, não geram calor e são muito baratos. São por isso muito utilizados pelas forças militares, campismo, mergulho, pesca, etc (Figura18).

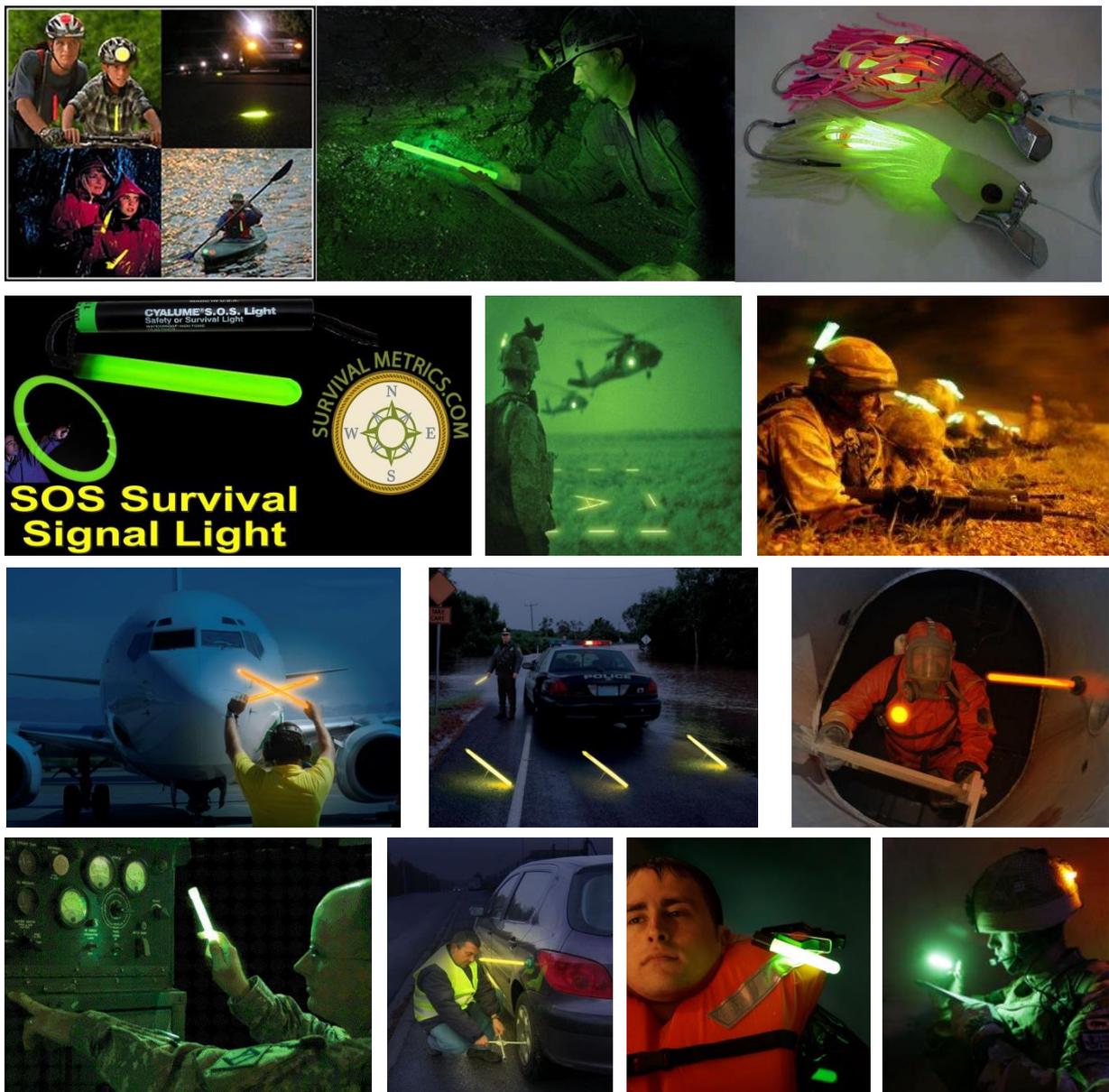


Figura 18 – Aplicações práticas dos “Glow sticks”

A luz emitida por estes produtos está relacionada com o fenómeno da quimiluminescência, ou seja, com a emissão de luz devido a uma reação química³.

Quando se juntam determinados reagentes, uma das moléculas, (ativador - ACT), é eletronicamente excitada devido à reação, regressando depois ao seu estado fundamental emitindo nessa altura luz fluorescente. Nos “glow sticks”, os reagentes estão em 2 compartimentos separados. No momento em que se dobra, quebra-se um dos compartimentos, originando a reação com a consequente emissão de luz que dura várias horas (Figura 19)⁴.

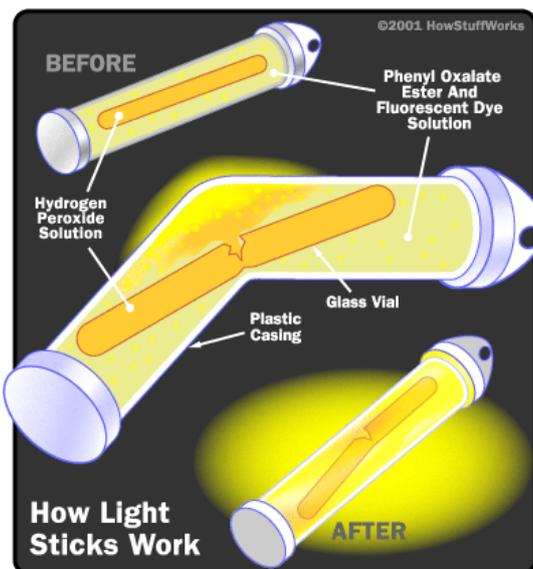


Figura 19 – Como funciona um “Glow stick”

<http://science.howstuffworks.com/innovation/everyday-innovations/light-stick2.htm>

Nesta experiência vamos mostrar este fenômeno da quimiluminescência, fazendo reagir o oxalato de 2,4,6-triclorofenilo (um éster) e a água oxigenada (peróxido de hidrogênio), formando um peróxido cíclico que interage com o ativador (ACT) ficando no seu estado eletronicamente excitado, o qual emite luz fluorescente ao voltar ao estado fundamental (Figura 20). Verifica-se também a liberação de dióxido de carbono⁵.

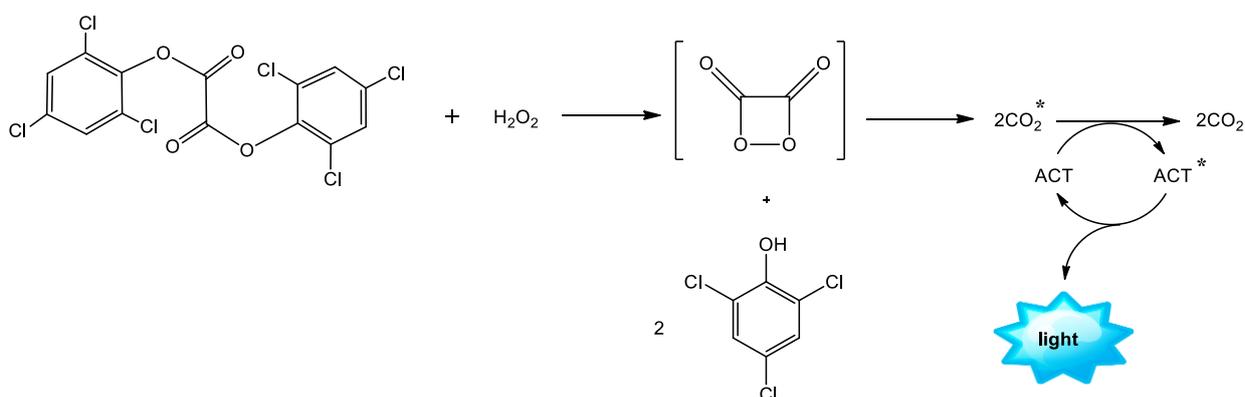


Figura 20 – Reação de quimiluminescência com um ativador (ACT)

A cor emitida dependerá do ativador utilizado⁵. Por exemplo com a rodamina a luz emitida é vermelha, com o trans-9-(2-feniletetil)antraceno⁷ é azul, com a eosina é laranja e com o rubreno é amarela (Figura 21).

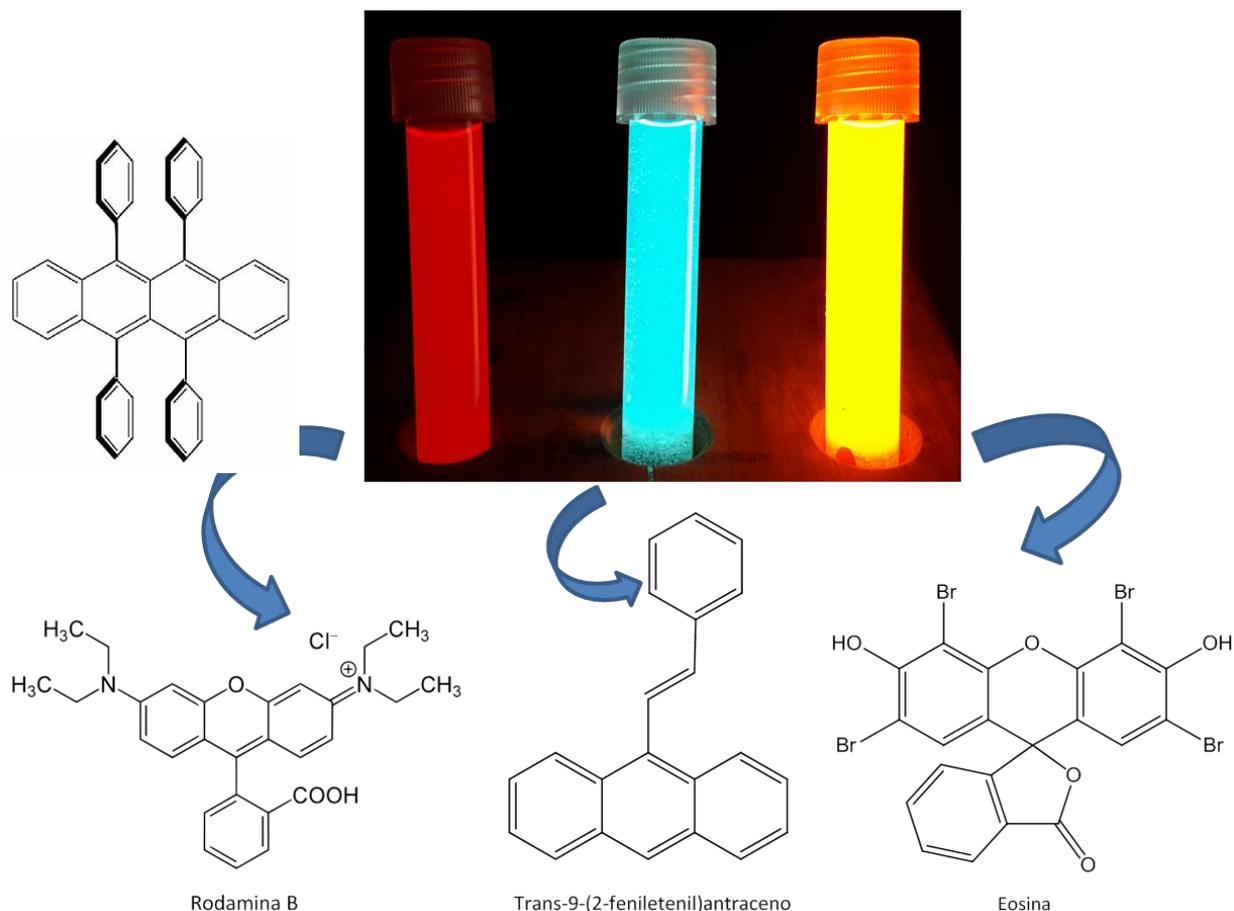


Figura 21 – Reações de quimiluminescência com vários ativadores.

Referências

- [1] M. N. Berberan e Santos, Raios Químicos e Química Radiosa, *Química*, **2015**, 139, 53-60.
- [2] Página da internet da glow: <http://www.glow.pt>, acessado em 19 de Jan 2019.
- [3] R. Albertin *et al.*, *Química Nova*, **1998**, 21, 772–779.
- [4] Página da internet “How glow sticks work”: <http://science.howstuffworks.com/innovation/everyday-innovations/light-stick2.htm>
- [5] F. McCapra, *Methods Enzymol.*, **2000**, 305, 633–659.
- [6] Vídeo “Make Glow Sticks - The Science”: <http://www.youtube.com/watch?v=tltOOpyJP5k>, acessado em 19 de Jan 2019.
- [7] D. Simão, “100 experiências de química orgânica”, **2011**, ISTPress, Exp. 48, pág. 199.

Agradecimentos

Agradecemos à Técnica de laboratório, Carla Salvador a preciosa colaboração e empenho, na preparação e montagem das experiências.

VER Química

Sílvia Chaves

Centro de Química Estrutural, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.



Introdução

VER cores está dependente do modo como o olho humano interpreta a emissão de luz proveniente de um objecto, que foi previamente irradiado por uma fonte luminosa, e corresponde à parte do espectro electromagnético que é visível. O olho humano é constituído por um mecanismo complexo, desenvolvido para a percepção de luz e de cor. É composto basicamente por uma lente e por uma superfície fotossensível que pode ser comparada a uma câmara fotográfica. As cores percebidas pelo olho humano dividem-se em três tipos: temos cones (células foto-receptoras) sensíveis a azuis e violetas (A), verdes e amarelos (V) e encarnados e laranjas (E). Esses cones estão distribuídos sobre a retina de forma heterogénea, sendo 94% do tipo V e E e somente 6% do tipo A. Esta aparente distorção é, de facto, consequência de um processo evolutivo, já que é uma característica dos primatas, enquanto os restantes mamíferos só têm dois tipos de cones. O terceiro cone que desenvolvemos, além de dar mais informação sobre as cores, traduz-se fundamentalmente numa melhoria da percepção dos contrastes.

É, pois, devido a esta capacidade de percepção da luz e da cor que em “VER Química” será possível observar/interpretar diferentes ensaios coloridos que ilustram reacções químicas de ácido-base, de complexação e de precipitação. Para isso, iremos recorrer a compostos químicos que têm a capacidade de mudar de cor por mudança do pH (indicadores ácido-base), na presença de um ião metálico (indicadores metalocrómicos) ou por precipitação (indicadores de precipitação).

Este módulo de experiências foi, então, concebido de modo a apresentar testes de análise qualitativa e quantitativa, envolvendo diversos tipos de indicadores, baseando-se em reacções colorimétricas e sem recorrer a equipamento laboratorial mais sofisticado.

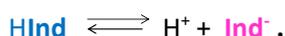
As experiências envolvidas neste tópico são:

- As antocianinas e a avaliação do pH

- Indicador universal
- Indicadores metalocrômicos
- Método de Mohr no doseamento de cloretos

As antocianinas e a avaliação do pH

Os indicadores ácido-base são substâncias naturais ou sintéticas, que têm a propriedade de mudarem de cor em função do pH. Normalmente são ácidos ou bases fracos, que estão em equilíbrio com o seu par conjugado, apresentando a forma ácida (**HInd**) e a forma básica (**Ind⁻**) cores diferentes:



As **antocianinas** são pigmentos responsáveis por uma grande variedade de cores de frutas, flores e folhas. Estes pigmentos são, no fundo, indicadores ácido-base naturais visto que mudam de cor com o pH (maior ou menor acidez), podendo adquirir cores que variam do vermelho ao violeta e ao azul. É por isso que as hortênsias podem ser azuis ou cor-de-rosa, conforme o sítio onde são plantadas, ou dependendo do que se adiciona ao solo. Outras flores e folhas, como por exemplo as azáleas, hibiscos e a couve roxa, também apresentam pigmentos deste tipo.

As antocianinas têm ainda aplicação como corantes alimentares (E 163 corante vermelho) [1], atendendo a que os corantes alimentares sintéticos têm vindo progressivamente a ser menos apelativos.

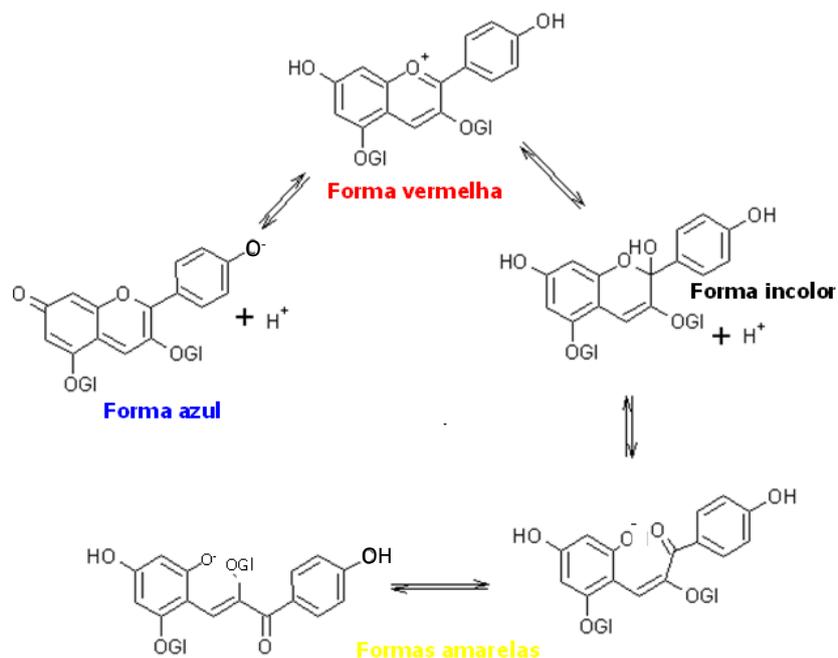


Figura 1 – Equilíbrios químicos envolvendo antocianinas em função do pH (adaptado de [2]).

Estes pigmentos naturais conseguem ser extraídos facilmente a frio, com metanol ou etanol ligeiramente acidificados. A cor e a estabilidade de uma antocianina dependem largamente do pH do meio em que se encontra: a maior estabilidade é obtida a valores mais baixos de pH e diminui com o aumento do mesmo. Em meios com diferentes valores de pH, as antocianinas encontram-se em diversas formas que adquirem cores diferentes (ver [Figura 1](#)): em meio ácido, as antocianinas estão na forma de sais de oxónio e são geralmente de cor vermelho vivo; com o aumento do pH, tem-se uma diminuição da intensidade da cor vermelha devido à conversão desta forma numa forma incolor, através de ataque nucleofílico da água; com o aumento do pH ocorre a abertura do anel principal da antocianina e dá-se um equilíbrio tautomérico que envolve dois isómeros de tom amarelo pálido; para pH neutro e básico também se dá a desprotonação do ião oxónio com formação de espécies violeta/azul.

Nesta experiência é preparado um extracto de couve roxa, por maceração de pedaços de folha em etanol, e seguidamente é analisada a acidez/basicidade de vários produtos de uso doméstico corrente (vinagre, fermento, farinha Maizena, pasta de dentes, líquido limpa-vidros, lixívia).



Figura 2 – Ensaio de detecção de pH em vários produtos de uso doméstico com extracto de couve roxa.

Indicador universal

O chamado **indicador universal** consiste numa solução acastanhada, que permite a detecção do pH num contínuo espectro de cores que vai do vermelho ao azul/violeta, passando pelo verde. Apesar de se apelidar de indicador universal, esta solução é, na realidade, constituída por uma mistura de indicadores ácido-base. O indicador universal também pode estar embebido em fitas de papel absorvente, sendo cortadas pequenas tiras para utilização no laboratório. Apesar de existirem diferentes composições para a solução final, podem adoptar-se como solventes polares a água e um

álcool (metanol, etanol ou 1-propanol) e escolher-se uma mistura de 4 indicadores ácido-base: vermelho de metilo, azul de bromotimol (sal monossódico), azul de timol (sal monossódico) e fenolftaleína (sal de sódio) (ver Figura 3).

O vermelho de metilo é vermelho a $\text{pH} < 5$ e amarelo a $\text{pH} > 5$, sendo responsável pela coloração da solução a pH mais ácido. Por sua vez, o azul de timol é vermelho a $\text{pH} < 2$, azul a $\text{pH} > 8$ e apresenta coloração amarela intermédia. Desta forma, o azul de timol permite diferenciar pH s muito baixos (cor vermelha) e, como é amarelo a $\text{pH} = 7$, a cor resultante torna-se verde na mistura com o azul de bromotimol. O azul de bromotimol é amarelo a $\text{pH} < 6$ e azul a $\text{pH} > 6$, definindo então o laranja/amarelo na mistura final e na zona de pH 4-6, impondo o tom azul a pH básico. Este tom azul/violeta é reforçado pela presença da fenolftaleína no indicador universal. Finalmente, a solução final é neutralizada a cor verde com algumas gotas de NaOH .

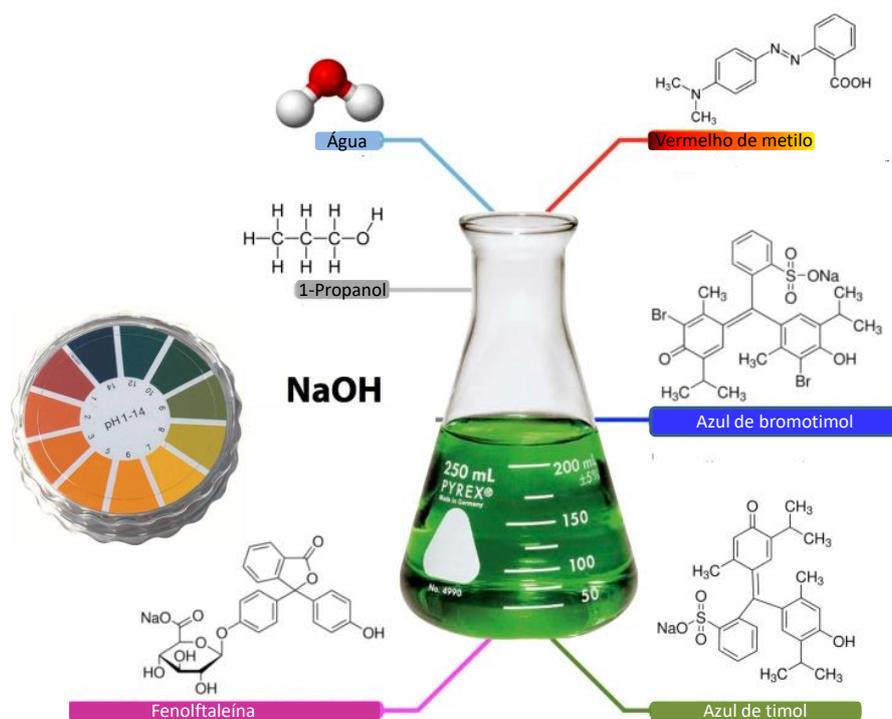


Figura 3 – Composição da solução de indicador universal (adaptado de jameskennedyonash.wordpress.com).

Nesta experiência, a solução de indicador universal preparada, bem como fitas de papel universal, são usados para analisar a acidez/basicidade de vários produtos de uso corrente (vinagre, água oxigenada, farinha Maizena, pasta de dentes, líquido limpa-vidros, lixívia).



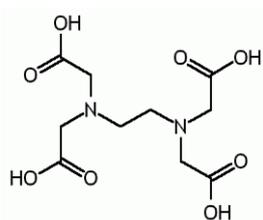
Figura 4 – Ensaio de detecção de pH em vários produtos de uso doméstico usando o indicador universal.

Indicadores metalocrómicos

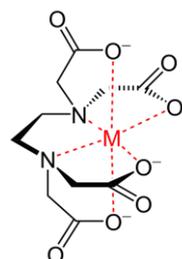
Uma reacção de complexação consiste numa reacção química entre um ião metálico (M) e um composto (L), também chamado de ligando ou complexante, que dá origem a um composto de coordenação denominado complexo metálico (ML):



Os ligandos são compostos doadores de electrões que se ligam aos iões metálicos, deste modo formando complexos. Um complexante largamente utilizado, tanto em análise química como bioquímica, medicina, diversas indústrias e tratamento de efluentes, é o EDTA, visto ser um composto fácil de obter puro e formar complexos de elevada estabilidade com a maior parte dos metais, entre os quais o ferro e o cálcio. O EDTA (abreviatura de ácido etilenodiamino tetraacético) é um ligando hexaidentado que se coordena aos iões metálicos através dos seus átomos de azoto e de alguns dos átomos de oxigénio, originando, por isso, complexos extremamente fortes.



a)

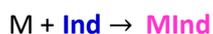


b)

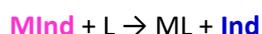
Figura 5 – Estrutura do a) EDTA e de um seu b) complexo metálico.

As reacções de complexação têm sido usadas quer com objectivos qualitativos (reconhecer um dado metal em solução devido ao aparecimento de uma cor característica) ou com fins quantitativos (doseamento da espécie por comparação das intensidades de cor obtidas ou por titulação complexométrica).

Em geral, numa titulação complexométrica directa, tem-se na bureta a solução de complexante e no copo de titulação a solução a titular, com o ião metálico em causa. No entanto, para detectar o ponto de equivalência da titulação, em que o complexo está completamente formado, ou seja, o ponto em que a quantidade de complexante adicionado é igual à de ião metálico a dosear, partindo do princípio de que se forma um complexo 1:1 (M/L), é necessário adicionar um **indicador metalocrómico** à solução contida no copo de titulação. Os indicadores metalocrómicos (**Ind**) são compostos orgânicos capazes de formarem complexos (**MInd**) com determinados iões metálicos (M) e que apresentam cores distintas na forma complexada e livre.



Por sua vez, estes indicadores também têm, em geral, comportamento ácido-base, podendo apresentar cores diversas consoante o número de protões que adquirem. Sendo assim, uma boa detecção do ponto de equivalência numa titulação complexométrica exige, para além de uma reacção de complexação rápida, que o complexo **MInd** tenha cor distinta da forma livre **Ind** do indicador ao pH em que é feita a titulação. Deste modo, no início da titulação a cor que aparece corresponde à da forma **MInd**, porque ainda não foi adicionado qualquer complexante L ao ião metálico (M), e no ponto de equivalência a cor obtida é a correspondente a **Ind** visto que todo o ião metálico M se ligou ao complexante L para dar o complexo ML. Para isto funcionar desta maneira, o complexo do metal com o indicador (**MInd**) deve ser menos estável do que o complexo do metal com o titulante (ML), caso contrário o titulante não desloca o indicador do metal no ponto de equivalência.



Neste módulo de experiências são apresentadas duas titulações complexométricas para titular ferro, e cálcio, usando como indicadores metalocrómicos ácido salicílico e calcon, respectivamente.

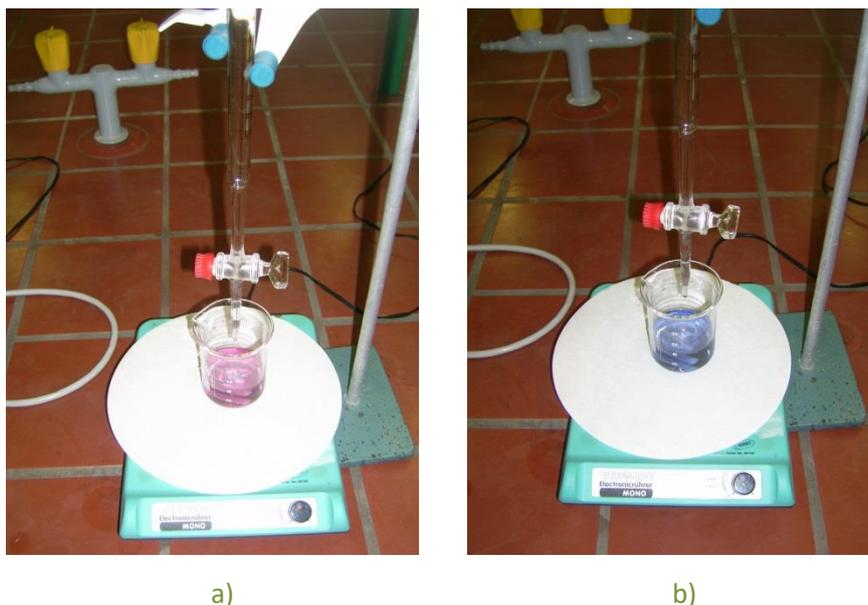
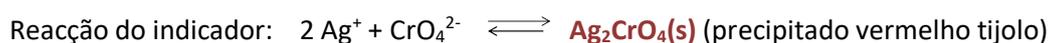
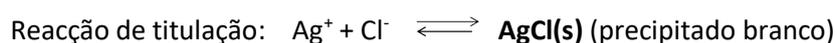


Figura 8 – Titulação complexométrica do cálcio com EDTA usando calcon: a) antes do ponto de equivalência; b) depois do ponto de equivalência.

Método de Mohr no doseamento de cloretos

A volumetria de precipitação baseia-se em reacções que envolvem a formação de compostos pouco solúveis. Apesar das titulações de precipitação estarem entre os métodos analíticos mais antigos, são limitadas porque muitas reacções de precipitação não têm uma velocidade de reacção ou um processo de detecção visual adequados. Além disso, a co-precipitação da espécie a analisar e do titulante leva frequentemente a reacções não estequiométricas e a uma detecção incorrecta do ponto final da titulação.

As titulações argentimétricas fazem uso de uma solução padrão de nitrato de prata e utilizam um indicador de precipitação específico, no caso de se realizar detecção visual do ponto de equivalência. Em concreto, o método de Mohr [4] foi desenvolvido para a determinação de iões cloreto, brometo e iodeto usando como titulante uma solução padrão de nitrato de prata e como indicador uma solução de cromato de potássio. Neste método, estão envolvidos dois equilíbrios de precipitação, que se indicam a seguir.



Como a solubilidade molar do precipitado de Ag_2CrO_4 ($K_{ps} = 1,12 \times 10^{-12}$, $S = 6,5 \times 10^{-5}$ M) é cerca de 5 vezes maior do que a do AgCl ($K_{ps} = 1,77 \times 10^{-10}$, $S = 1,3 \times 10^{-5}$ M), então o AgCl precipita primeiro.

Imediatamente após o ponto de equivalência, inicia-se a precipitação do cromato de prata, que sinaliza o fim da titulação (Figura 9b) e não 9c).

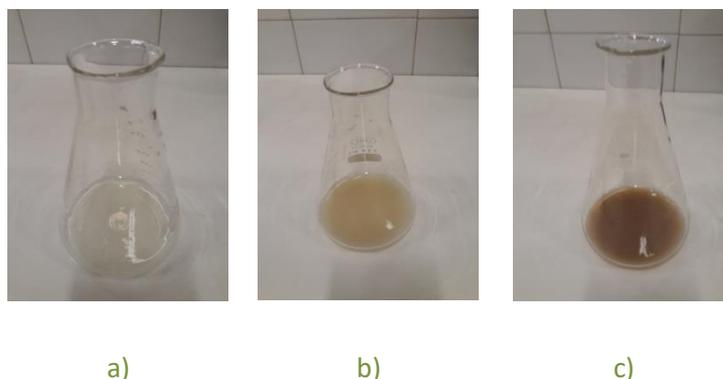


Figura 9 – Titulação de uma amostra de cloretos pelo método de Mohr: a) antes do ponto de equivalência, b) no ponto de equivalência e c) depois do ponto de equivalência, com excesso de titulante adicionado.

A maior limitação do método de Mohr é a necessidade de um controle rigoroso do pH da solução a analisar, que deve situar-se entre 6,5 e 10,5.

Na realidade, quando o pH é inferior a 6,5, forma-se dicromato de prata, que é consideravelmente mais solúvel do que o cromato de prata, e isso traduz-se num erro de determinação do ponto de equivalência.



Quando o pH é superior a 10,5, o íão prata, em vez de reagir com o cloreto, pode formar hidróxido de prata ou óxido de prata, ambos insolúveis.



Os metais de transição são interferentes para o método de Mohr porque formam hidróxidos insolúveis ou sais básicos em meio neutro ou em soluções alcalinas que tendem a co-precipitar os íões cloreto. Além disso, alguns hidróxidos são bastante coloridos, como $\text{Fe}(\text{OH})_3$, e mascaram a cor do indicador. Chumbo e bário também não devem estar presentes por formarem cromatos pouco solúveis.

Finalmente, aniões como fosfato, carbonato e oxalato interferem também neste método por formarem sais pouco solúveis com a prata em soluções neutras e alcalinas.

Referências

- [1] - <https://www.asae.gov.pt/seguranca-alimentar/aditivos-alimentares/corantes.aspx> (consultado em 14 Janeiro 2020)
- [2] - J. Oliveira, N. Mateus, V. de Freitas, Dyes and Pigments 100 (2014) 190-200.
- [3] - R.R. Warriar, M. Paul, M.V. Vineetha, Genet. Plant Phys. 3 (1-2) (2013) 90-97.
- [4] - W.T. Suarez, E.R. Sartori, O. Fatibello-Filho, Semina: Ciências Exactas e Tecnológicas, Londrina (2013) 34, 1, 23-30.

Agradecimento

Agradeço à Técnica de Laboratório Ana Isabel Vicente a sua colaboração na optimização das experiências deste módulo e na obtenção das fotografias que o ilustram.

À descoberta da Engenharia Química

Licínio Ferreira, Fátima Rosa, Remígio Machado

Cerena, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Foi o britânico George Davis quem, em 1880, verificando a necessidade de uma nova profissão na área da indústria química, criou o primeiro curso de engenharia química na Universidade de Manchester. Actualmente, a importância da Engenharia Química na sociedade está bem estabelecida e pode resumidamente definir-se como a aplicação de princípios científicos de modo a beneficiar o Homem. Aos Engenheiros pede-se que respondam aos desafios colocados e solucionem os problemas de forma rápida, económica, e utilizando matérias-primas e processos não poluentes, atentos à preservação ambiental, garantindo a sustentabilidade de toda a cadeia produtiva.

Veja-se, por exemplo, como no problema da degradação dos plásticos, que pode prolongar-se por centenas de anos, a Engenharia Química responde com a criação de novos materiais rapidamente biodegradáveis. Ou no desenvolvimento de energias renováveis em substituição dos combustíveis fósseis como o petróleo, na produção de biodiesel a partir de óleos usados, etc.

A Engenharia Química está hoje presente numa vasta gama de aplicações tão diversificadas como as bebidas, tintas, tratamento de águas e efluentes, cosmética, produtos de higiene, medicamentos, papel e tantas outras.

Apresentam-se alguns exemplos que provam como a engenharia química está presente no nosso dia a dia.

Pressão e Vácuo

A pressão é uma grandeza que mede a ação da força exercida pela colisão das partículas dum fluido sobre um objecto ou espaço. No caso concreto da pressão atmosférica trata-se da força exercida pelos gases da atmosfera sobre a superfície do planeta, referindo também a pressão exercida sobre determinada camada de ar. A pressão atmosférica depende da altitude, diminuindo quando esta aumenta. Deste modo, a pressão no alto duma montanha ou, por exemplo, num décimo andar, é inferior à pressão na base da montanha ou no rés/chão. Quando mergulhamos no mar a pressão também aumenta devido ao peso / força exercida da água que está sobre nós. À superfície a pressão é de 1 atm, à profundidade de 10 m é de 2 atm, à profundidade de 20 m é de 3 atm, e assim sucessivamente. O vácuo é a condição de um local completamente vazio, ou seja, total inexistência de

matéria. O vácuo pode ser produzido por meio da sucção do ar do interior de um recipiente através de uma bomba pneumática, técnica utilizada por exemplo para conservação de alimentos.

Os conceitos de pressão e vácuo são importantes na engenharia química, a eles se recorrendo em variados processos.

Quando temos um recipiente fechado com um balão vazio fechado no seu interior, ambos se encontram à pressão atmosférica figura 1.



Figura 1- Erlenmeyer fechado com água e balões

Se aplicarmos vácuo no interior do recipiente as moléculas de ar que se encontram no balões e exercem pressão sobre as paredes do balão fazem o balão dilatar-se pois tem disponível o espaço vazio dentro do Erlenmeyer, figura 2, permitindo o aumento das suas dimensões.



Figura 2- Balões inchados após o vácuo efectuado no Erlenmeyer

Outro efeito que se observa é o impacto da temperatura na pressão. Se diminuirmos a temperatura diminuimos a energia cinética das moléculas e a pressão diminui; se aumentarmos a temperatura a pressão aumenta, pois, a velocidade das moléculas aumenta.

Exemplos de processos que funcionam melhor sob vácuo: destilação, filtração, etc. ou sob pressão: reactores.

A situação mais comum é a destilação. A pressões baixas, sob vácuo, diminui a temperatura de ebulição e assim é possível efectuarem-se separações de líquidos por destilação a temperaturas inferiores às normais com conseqüente poupança de energia. Na figura 3, a temperatura da água da tina está à mesma temperatura da água no Erlenmeyer. Contudo, depois de se submeter o Erlenmeyer ao vácuo, a água nele contida estará a ferver enquanto a da tina ainda não ferve.



Figura 3 - No Erlenmeyer sob vácuo a temperatura de destilação é mais baixa

Como exemplos de situações a ter em consideração nos conceitos de pressão e vácuo temos o enchimento e esvaziamento de tanques de armazenagem de fluidos.

No caso do enchimento tem de se garantir uma abertura para o exterior para que os gases pré-existentes no interior do tanque (ar ou gás inerte) possam sair, pois o aumento da pressão dos gases pode fazer o tanque explodir.

Também no esvaziamento de tanques tem de se garantir que haja uma abertura para o exterior para permitir a entrada de gases, de modo a manter-se a pressão no interior, evitando o vácuo e a possível implosão dos tanques.

Variação da temperatura exterior. Entre Verão e Inverno pode ocorrer um grande intervalo de temperaturas e conseqüentemente de pressões dentro dos tanques. No Verão aumenta a temperatura, os gases dilatam e aumenta a pressão. No Inverno diminui a temperatura, os gases contraem e diminui a pressão.

Para evitar esta situação é necessário existir uma ligação com o exterior para que os gases possam entrar e sair livremente de modo a manter a pressão constante dentro dos tanques.

Esta situação tem o especial melindre de o colapso de tanques de armazenamento ocorrer geralmente em noites frias de Inverno, podendo demorar muito tempo até que o operador se aperceba do sucedido.

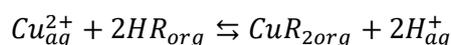


Figura 4 – Tanques industriais cilíndricos e tanque colapsado [1], [2]

Misturador-Decantador

A extracção líquido-líquido é uma operação unitária de grande aplicação na indústria química, nomeadamente na metalurgia extractiva, para recuperação dos metais existentes na fase aquosa resultante da lixiviação de minérios. Esta técnica de separação utiliza-se para extrair um elemento, um sal iónico ou um composto dissolvido numa solução, através do contacto desta com um solvente líquido extractante (habitualmente orgânico) não miscível com a solução original. A extracção líquido-líquido tem por objectivo recuperar e concentrar um elemento valioso existente numa fase aquosa (saís de ouro por exemplo) ou eliminar para efeitos de tratamento da fase aquosa um elemento ou compostos tóxicos e/ou poluentes dessa mesma fase aquosa (por exemplo o crómio da indústria dos curtumes ou compostos orgânicos como os polifenóis das águas ruças.)

Numa extracção líquido-líquido o solvente de extracção tem como componentes principais um diluente (líquido orgânico utilizado para solubilizar o extractante) e um composto extractante (HR) composto que reage com o soluto pretendido. O extractante é um composto químico do grupo das oximas, grupo cuja fórmula geral $RR'C = NOH$, onde R é uma cadeia lateral orgânica e R' pode ser Hidrogénio, formando uma Aldoxima, ou outro grupo orgânico, formando uma Cetoxima. Assim, por exemplo, para a extracção do ião Cu_{aq}^{2+} com uma concentração de 1gr/l conferindo à solução uma cor azul característica, a extracção pode ser representada pela estequiometria da reacção:



em que CuR_{2org} representa o complexo resultante da reacção metal- extractante

A figura 5 mostra o misturador-decantador utilizado na montagem experimental.

Os misturadores são constituídos por dois cilindros concêntricos. O cilindro interior é alimentado na fase aquosa e na fase orgânica por duas tubuladuras de base, assinaladas na Figura 1 com uma seta

azul. Após a alimentação, as fases líquidas contidas no cilindro interior são submetidas a agitação mecânica, que dispersa sob a forma de finas gotículas a fase orgânica na fase aquosa formando uma suspensão com elevada área interfacial, aumentando significativamente a cinética da reacção de extracção [3, 4]. Sob o efeito da agitação, a suspensão é também transportada até ao orifício lateral situado no topo do cilindro interior (assinalado com seta vermelha na figura 5) onde por transbordo escoam para o cilindro exterior. Uma vez que o cilindro exterior não é agitado, as duas fases líquidas separam-se por decantação. A solução aquosa refinada mais densa acumula-se na base e sai pela tubuladura lateral junto á base do cilindro. O solvente orgânico ligado ao ião $\text{Cu}_{\text{aq}}^{2+}$ sendo menos denso flutua e acumula-se no topo do cilindro exterior saindo pela tubuladura lateral conforme indicado na Figura 5. As fases aquosa e orgânica, ao saírem do cilindro exterior são encaminhadas para as entradas dos misturadores decantadores adjacentes, permitindo a realização de um novo andar de extracção líquido-líquido repetindo-se o processo até se utilizarem todos os misturadores decantadores presentes na montagem.

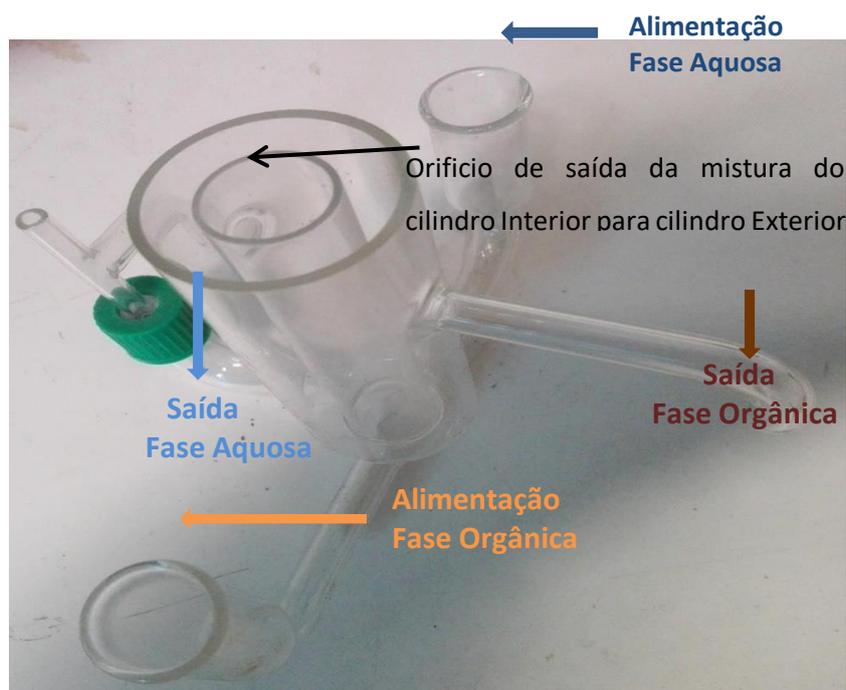
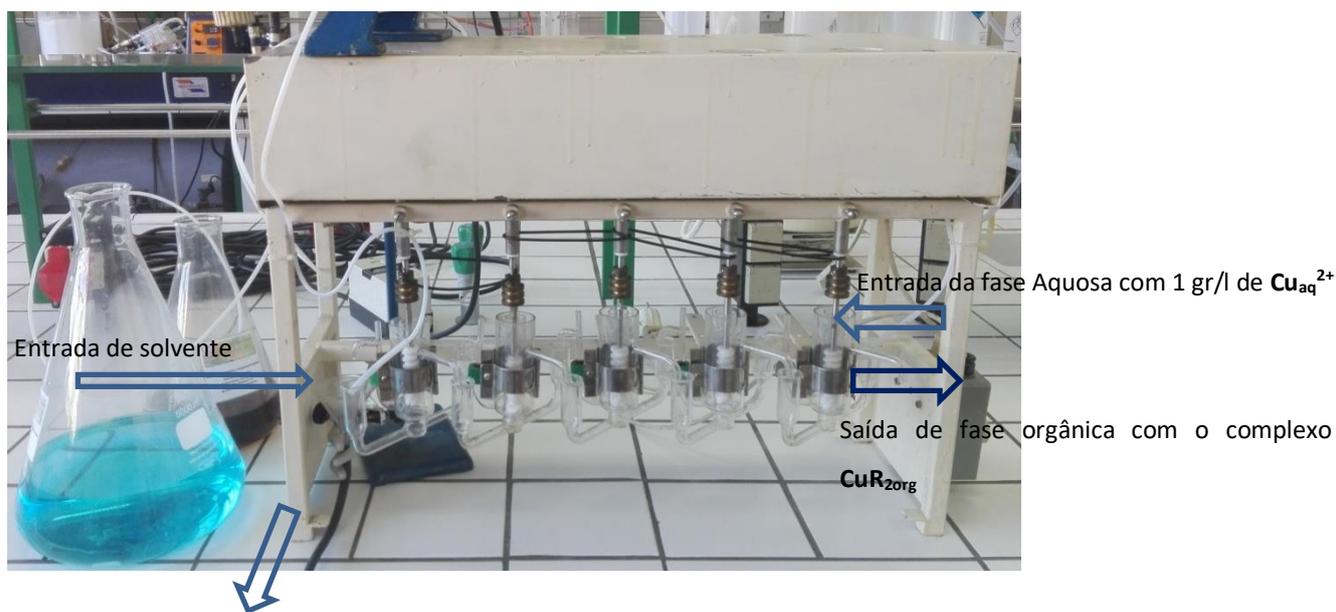


Figura 5 – Misturador decantador

Como indicado na figura 6, a alimentação das fases aquosa e orgânica efectua-se nos extremos opostos da montagem, o que implica que o sentido do transporte activo da fase aquosa se dá em contra corrente relativamente ao sentido de transporte activo da fase orgânica. A extracção em contra corrente permite que em cada andar o gradiente de concentrações do soluto $\text{Cu}_{\text{aq}}^{2+}$ entre as duas fases da suspensão seja o máximo possível, permitindo uma maior eficiência global da extracção líquido-líquido.



Tubo de Saída de fase Aquosa tratada sem Cobre

Figura 6 – Equipamento experimental 5 misturadores decantadores. Fase aquosa no Erlenmeyer maior com uma solução com 1 gr/l de $\text{Cu}_{\text{aq}}^{2+}$ de cor azul. A fase orgânica no Erlenmeyer menor com o solvente contendo o extractante cor castanha

A diminuição acentuada da intensidade da cor azul que se verifica na fase aquosa de saída de cada misturador decantador deve-se ao facto de a solução aquosa de saída de cada andar (refinado) ter relativamente à entrada uma concentração muito menor de $\text{Cu}_{\text{aq}}^{2+}$.

Em contrapartida, nota-se que a fase orgânica à saída de cada misturador decantador apresenta um tom castanho mais escuro face á entrada. Tal deve-se a que a reação do complexo de cobre com a molécula orgânica oxima origina uma cor castanha escura.

Tecnologias de Produção do Hidrogénio

O Hidrogénio é conhecido desde há muito como um gás que se obtém quando se colocam em contacto ácidos diluídos como o clorídrico ou o sulfúrico, com metais como o zinco ou o ferro. Em 1784, Henry Cavendish fez explodir misturas de Hidrogénio e ar recorrendo a faíscas eléctricas e percebeu que obtinha um produto que parecia água [5]. Estes resultados foram posteriormente explicados por Antoine Lavoisier que deu ao gás o nome de Hidrogénio, caindo por terra a teoria de que a água seria formada apenas por um elemento.

Na figura seguinte (Fig. 7), ao adicionar ácido clorídrico ao balão contendo aparas de Zinco, observa-se a efervescência causada pela grande libertação de bolhas, formadas por Hidrogénio gasoso, H_2 . Isto ocorre porque o zinco, sendo um metal mais reactivo do que o Hidrogénio, é capaz de deslocá-lo do

ácido e ocupar o seu lugar, formando um sal, o sulfato de zinco (ZnSO_4), no qual o metal é o catião. Assim, o Zinco é oxidado, sendo o agente redutor, enquanto o hidrogénio é reduzido, sendo o agente oxidante. A reação pode ser representada pela equação:



Observa-se que o Zinco metálico reage quimicamente com o ácido clorídrico, produzindo cloreto de zinco e libertando gás Hidrogénio.

Como o hidrogénio é muito pouco solúvel em água, ele pode ser recolhido num copo com água e detergente.



Figura 7 – Reacção produção de Hidrogénio e sua combustão

O Hidrogénio identifica-se devido ao pequeno estalido que ocorre quando uma pequena chama se aproxima da espuma retirada do copo de recolha. A libertação do Hidrogénio é comprovada através da sua combustão.

Técnicas de tratamento de água - Teste dos jarros

O teste dos jarros é um processo utilizado nas estações de tratamento de água para a determinação do pH ideal e das quantidades de floculante e coagulante mais adequadas.

Através da coagulação, as partículas coloidais são neutralizadas e aglutinadas em partículas de maiores dimensões, sendo coagulantes mais comuns os sais de ferro e alumínio. Para que todo o coagulante se dissolva na água, a mistura deve ocorrer com agitação.



Figura 8 - Teste dos jarros

O processo de coagulação depende de vários parâmetros: pH do meio, quantidade de coagulante, variabilidade e quantidade de partículas suspensas e velocidade de agitação da mistura.

A seguir ao processo de coagulação segue-se a adição de um floculante para promover a agregação das partículas formadas na coagulação. No início da floculação a velocidade deve ser maior pois as partículas ainda se encontram dispersas na água, mas deve diminuir em seguida, pois como há um aumento considerável dos flocos uma grande agitação pode quebrá-los.

Após a floculação e coagulação a água sofre uma decantação, processo de separação das partículas sólidas em suspensão que se vão depositando pela acção da gravidade e que resultaram pela floculação e coagulação em flocos de maior dimensão e mais densos que a água.

Pela observação da figura 8, verifica-se que o primeiro copo, onde não se adicionou nem floculante nem coagulante, continua com coloração. No segundo copo, juntou-se coagulante e pode verificar-se alguma deposição de partículas, mas a água ainda apresenta turvação, indicador da presença de material em suspensão. No último copo adicionou-se floculante e coagulante. Formaram-se flocos de maiores dimensões, a decantação foi mais rápida e a água ficou com um aspecto mais límpido.

A água resultante da decantação passa por filtros formados por camadas de carvão, areia e pedras que irão reter as impurezas restantes da fase anterior. Finalmente é ajustado o pH e para garantir a pureza da água adiciona-se cloro e fluor.

A velocidade de sedimentação de uma partícula é muito importante na limpeza da água visto que partículas com velocidade de sedimentação baixa tendem a flutuar à superfície, enquanto que

partículas com velocidade de sedimentação alta tendem a depositar-se no fundo formando uma camada.

A velocidade de sedimentação de uma partícula é função de vários parâmetros, como sejam a sua densidade, diâmetro, forma e esfericidade, bem como a densidade e viscosidade do fluido.

Na natureza, a dimensão das partículas sedimentares é muito variável, podendo encontrar-se elementos da ordem de algumas micras a metros de diâmetro. Em função disso, assim se utilizam floculantes e coagulantes diversos, para formar partículas maiores e mais facilmente removíveis.

Referências

- [1] - <https://www.dlupal.com/pt/solucoes/areas/outras-areas/silos-e-tanques-de-armazenamento> (acedido em 18 de Janeiro 2020)
- [2] - <https://www.aiche.org/sites/default/files/cep/20070226.pdf> (acedido em 18 de Janeiro 2020)
- [3] - J.C. Godfrey, M.J.Slater "Liquid-Liquid Extraction Equipment " John Wiley & Sons 1994
- [4] - Healy, MR, Roebuck, JW, Doidge, ED, Emeleus, LC, Bailey, PJ, Campbell, J, Fischmann, AJ, Love, JB, Morrison, CA, Sassi, T, White, DJ & Tasker, PA 2016, 'Contributions of inner and outer coordination sphere bonding in determining the strength of substituted phenolic pyrazoles as copper extractants' Dalton Transactions, vol. 45, no. 7, pp. 3055-62. DOI: 10.1039/c5dt04055h
- [5] - Henry Cavendish, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 74, pp. 119–153, 1784

Agradecimento

Agradecemos à técnica do Laboratório de Tecnologia, Eng^a Isabel Leiria, a preciosa colaboração e empenho na preparação e montagem dos trabalhos.

Química 3D

Estrutura 3D de biomateriais: da escala molecular/atômica à macroscópica

Andreia Sofia Oliveira, Ana Catarina Branco, Nadia Toffoletto, Pedro Nolasco, Ana Paula Serro
CQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001
Lisboa.

A estrutura da matéria ao nível molecular/atômico determina as suas propriedades físicas e químicas. Neste módulo vais poder constatá-lo: vamos mostrar-te como as diferenças no arranjo molecular/atômico de dois tipos de biomateriais (hidrogéis e cerâmicos) afetam as suas características e desempenho.

Os biomateriais são utilizados em dispositivos que contactam diretamente com os sistemas biológicos, para reparar, regenerar ou substituir tecidos ou órgãos danificados ou que não estejam a funcionar corretamente. Como tal, o seu desempenho, depende não só das suas características intrínsecas, mas também da estrutura tridimensional da sua superfície, i.e. a topografia/morfologia, que determina em larga medida a resposta do organismo. Vem conhecer connosco a importância da estrutura 3D dos biomateriais da escala molecular/atômica à macroscópica.

Hidrogéis

Os hidrogéis são redes poliméricas tridimensionais que têm a capacidade de reter água nos espaços disponíveis existentes na sua estrutura, em quantidades que podem variar dos 10% até milhares de vezes o seu peso seco [1] (Figura 1).

Devido à sua biocompatibilidade, propriedades mecânicas e excelente capacidade de absorção/difusão da água e outras moléculas, este tipo de materiais tem sido alvo de um interesse crescente nas últimas décadas, para um vasto número de aplicações biomédicas e farmacêuticas. Com efeito, o facto de apresentarem propriedades semelhantes aos tecidos biológicos moles e das suas características e capacidade de interação com as células poderem ser ajustadas através de modificações na composição, permitiu a sua utilização em aplicações tão diversas como lentes de contacto, cartilagens artificiais, revestimentos de cateteres, válvulas, fios de sutura, pensos para feridas, enxertos de pele, ou biossensores [2–4] (Figura 1). O seu papel tem vindo também a assumir uma importância crescente em áreas como a engenharia de tecidos e medicina regenerativa ou na libertação de fármacos [5].

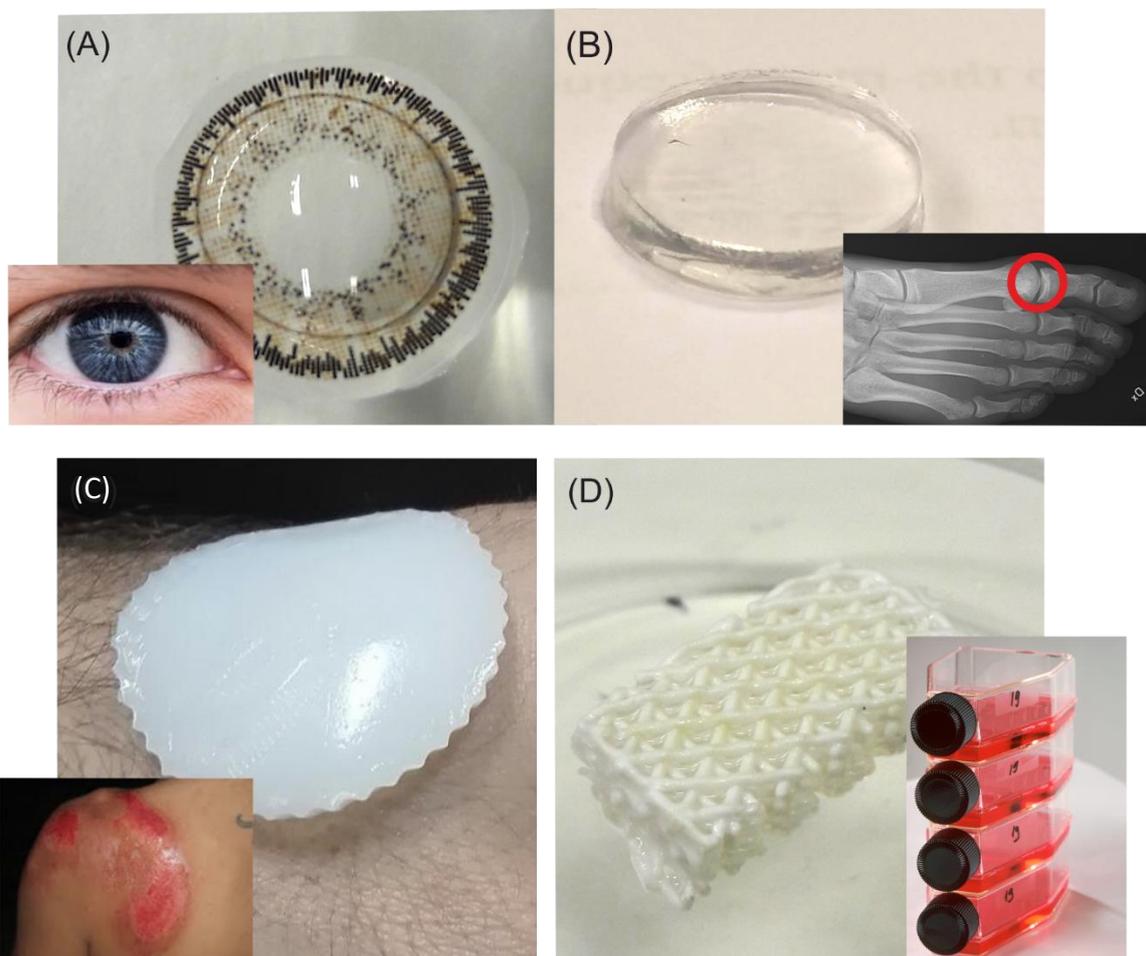


Figura 1: Algumas aplicações dos hidrogéis como biomateriais: lentes de contacto (A), cartilagem artificial (B), pensos para feridas (C), suporte para crescimento celular (D).

Os hidrogéis podem ser naturais ou sintéticos, consoante a natureza dos polímeros que os constituem, e conter um único tipo ou diferentes tipos de unidades estruturais (monómeros) nas cadeias poliméricas (homopolímeros ou copolímeros, respetivamente). Nos hidrogéis reversíveis ou físicos, as cadeias poliméricas são mantidas unidas devido à existência de emaranhados moleculares e de forças iónicas, interacções hidrofóbicas, interacções dipolares ou pontes de hidrogénio. Os hidrogéis permanentes ou químicos apresentam ligações químicas covalentes cruzadas entre as cadeias, que podem resultar da copolimerização dos monómeros com agentes reticulantes. Propriedades dos hidrogéis, como a capacidade de absorção de água e a resistência mecânica, dependem da natureza e densidade das ligações cruzadas, bem como do grau de cristalinidade (ordem estrutural) (Figura 2).

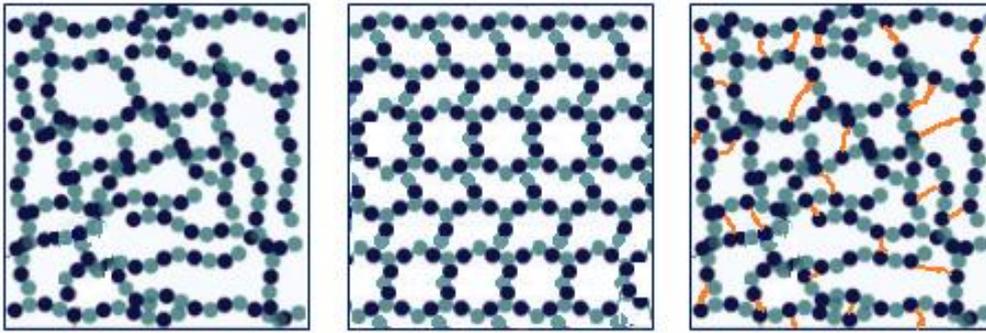


Figura 2: Estrutura molecular de um hidrogel (A). Alterações no grau de cristalinidade (B) ou a adição de agentes reticulantes (C) afetam propriedades como a capacidade de absorção de água ou a resistência mecânica.

Os hidrogéis podem ser produzidos utilizando uma vasta gama de monómeros [3]. Dependendo da aplicação, são escolhidos monómeros com diferentes propriedades, que se combinam em quantidades adequadas para obter as características pretendidas para os hidrogéis. Os monómeros à base de metacrilato encontram-se entre os mais utilizados. Outros monómeros como o etilenoglicol, n-isopropilacrilamida, vinil acetato ou n-vinil-2-pirrolidona são também bastante comuns nas formulações de hidrogéis para fins biomédicos. A adição de monómeros específicos permite ajustar propriedades como o conteúdo de água do hidrogel, a sua maleabilidade, hidrofiliidade, permeabilidade ao oxigénio, capacidade de absorção de radiação UV, coeficiente de atrito, resistência à abrasão, capacidade de retenção de fármacos ou as suas propriedades bactericidas.

Diversos métodos químicos e físicos têm sido desenvolvidos e utilizados para sintetizar hidrogéis [6]. Os métodos químicos envolvem o enxerto de monómeros sobre as cadeias dos polímeros ou a utilização de agentes reticulantes. Alguns destes agentes podem ser tóxicos, originar reacções indesejáveis ou afectar a integridade de substâncias a incorporar nos hidrogéis (e.g. células, proteínas, fármacos), pelo que poderá ser necessário remover o seu excesso após a reacção de polimerização. Nos métodos físicos, a formação do hidrogel ocorre por aquecimento ou arrefecimento da solução polimérica, interacção iónica ou formação de pontes de hidrogenio. A polimerização por recurso à radiação é também amplamente utilizada [7]. Baseia-se na produção de radicais livres nos polímeros, por exposição a uma fonte de alta energia (e.g. radiação gama, raio-X, feixe de electrões).

Uma classe de hidrogéis que recentemente tem sido alvo de particular atenção é a dos que respondem a estímulos ("*smart hydrogels*") e cujo comportamento depende do ambiente que os rodeia [8]. Estes materiais podem absorver ou libertar água ou outras moléculas na sequência de alterações do pH, força iónica, temperatura ou radiação electromagnética. Têm vindo a ser estudados e utilizados em

diversas aplicações biomédicas, como biosensores, músculos artificiais, válvulas químicas, imobilização de enzimas e células, membranas de bioseparação ou dispositivos de libertação de fármacos.

Seja qual for o tipo de hidrogel, a sua composição ou forma, antes da sua implantação/colocação no corpo humano deve proceder-se à respectiva esterilização para eliminar a presença de agentes patogénicos e evitar infeções subseqüentes. Os métodos convencionais de esterilização podem comprometer as propriedades físico-químicas de diversos hidrogéis devido à sua sensibilidade à temperatura e radiação, e/ou pôr em causa a sua biocompatibilidade devido à presença de resíduos tóxicos [9].

Cerâmicos

Os materiais cerâmicos são materiais inorgânicos não metálicos, cuja composição química pode variar significativamente, de compostos simples a misturas de muitas fases complexas ligadas entre si. De um modo geral, são materiais duros e quebradiços, com baixa tenacidade e ductilidade, e apresentam uma elevada estabilidade química. Devido às suas características, ao nível médico são usados essencialmente em ortopedia, dentisteria e na produção de sensores [10]. Podem ser bioativos, bioreabsorvíveis ou bioinertes [11]. Os cerâmicos bioativos, como o biovidro ou vidro cerâmico, quando implantados no organismo induzem reações biofísicas e bioquímicas, das quais resulta a formação de uma forte ligação entre o material e os tecidos, chamada fixação bioativa. O tecido cresce sobre o material, verificando-se uma continuidade entre ambos. Os materiais reabsorvíveis, de que são exemplo os fosfatos de cálcio, sofrem uma degradação lenta no organismo, sendo progressivamente substituídos pelo tecido hospedeiro. A velocidade de degradação *in vivo*, deve ser semelhante à velocidade de reparação dos tecidos vivos. Finalmente, os cerâmicos bioinertes, como a alumina, a zirconia ou o carbono, mantêm a sua estrutura após a implantação e não induzem resposta imunológica no hospedeiro. Centremos a nossa atenção por exemplo sobre a zircónia (ZrO_2), para percebermos em que medida a estrutura deste material cerâmico ao nível atómico afeta as suas propriedades. A zircónia é o cerâmico mais usado para substituição de coroas dentárias, não só devido às suas características mecânicas e biocompatibilidade, mas também às propriedades estéticas [12,13]. A estrutura cristalina da zircónia altera-se com a temperatura. À temperatura ambiente, a zircónia existe na forma monoclinica. Acima de $1170\text{ }^{\circ}\text{C}$ a estrutura monoclinica dá origem à tetragonal, que é estável até $2370\text{ }^{\circ}\text{C}$. A temperaturas mais altas a Zircónia assume uma estrutura cúbica (Figura 3) [14].

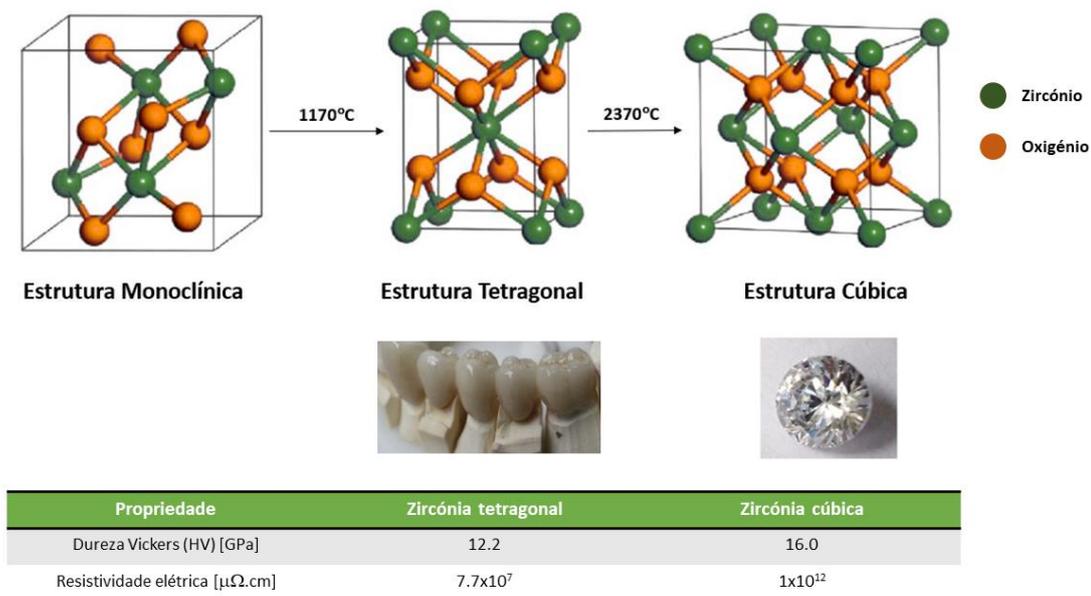


Figura 3: Transformações de fase da zircónia com a temperatura e propriedades da fase cúbica e tetragonal [15,16].

Estas transformações são acompanhadas de alterações de volume e conduzem a variações em diversas propriedades do material, nomeadamente óticas, mecânicas e elétricas. A zircónia cúbica constitui uma excelente imitação do diamante. Por seu turno, a zircónia utilizada no fabrico de coroas dentárias é constituída essencialmente pela fase tetragonal, embora também possa apresentar fase monoclinica. Após o processamento da coroa, esta é submetida a um processo de cozedura (sinterização) a alta temperatura (tipicamente 1500 °C) para se obter uma peça sólida coerente com elevada resistência mecânica. A adição de pequenas quantidades de óxidos como a ítria (Y_2O_3) estabiliza a fase tetragonal, evitando a transformação inversa para monoclinica, aquando do arrefecimento, o que criaria elevadas tensões internas e poderia levar à criação de fissuras no material.

Importância da estrutura 3D da superfície dos biomateriais

A topografia/morfologia da superfície dos biomateriais determina em larga medida a resposta biológica por parte do organismo. Com efeito, as características topográficas da superfície afetam a sua molhabilidade e conseqüentemente a adsorção das proteínas presentes nos fluidos biológicos, que ocorre imediatamente quando o material contacta com os fluidos biológicos [17]. A adsorção de proteínas é o primeiro passo de uma série de processos bioquímicos e biofísicos que em última análise determina a biocompatibilidade do material. Em particular, afeta fenómenos como a coagulação sanguínea, reações inflamatórias, infeção, cicatrização e adesão celular. A topografia/morfologia superficial tem também implicações diretas no conforto que um material proporciona (por exemplo,

as lentes de contacto, cuja rugosidade deve ser a menor possível) ou no seu desempenho tribológico (materiais para substituição de superfícies articulares devem ter uma baixa rugosidade para reduzir o atrito) [18]. A adesão bacteriana (e.g. a lentes de contacto ou coroas dentárias) é fortemente favorecida pela maior rugosidade das superfícies [19]. Finalmente, quando se pretende promover a fixação mecânica dos implantes para facilitar a sua integração com os tecidos (e.g. nas estruturas ósseas), é desejável uma elevada rugosidade [20].

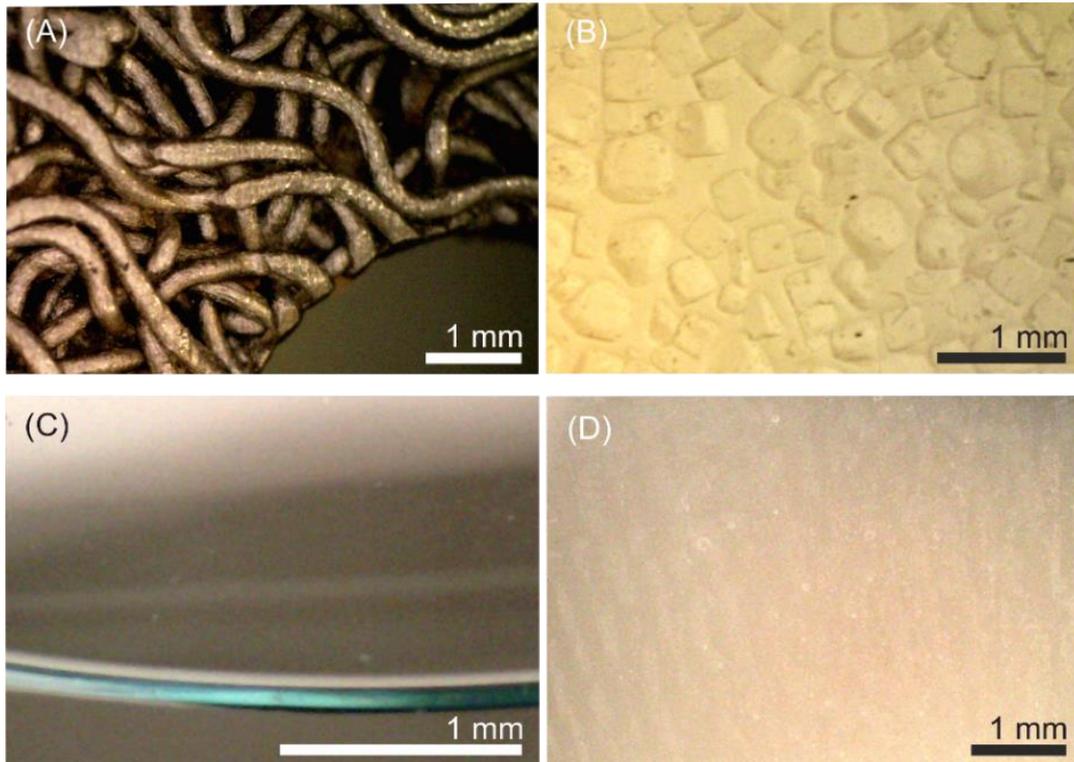


Figura 4: Imagens de microscopia ótica de aplicações dos biomateriais onde se pretende uma elevada rugosidade superficial – superfície externa da cúpula acetabular da prótese da anca (A) e implante mamário (B) – e uma baixa rugosidade superficial – lente de contacto (C) e coroa dentária (D).

Referências

- [1] K. Pal, A. K. Banthia, and D. K. Majumdar, 'Polymeric Hydrogels: Characterization and Biomedical Applications', *Des. Monomers Polym.*, vol. 12, no. 3, pp. 197–220, Jan. 2009.
- [2] J. Cabral and S. C. Moratti, 'Hydrogels for biomedical applications', *Future Med. Chem.*, vol. 3, no. 15, pp. 1877–1888, Nov. 2011.
- [3] S. Rimmer, Ed., *Biomedical Hydrogels. Biochemistry, Manufacture and Medical Applications*, First. Woodhead Publishing, 2011.
- [4] T. R. Hoare and D. S. Kohane, 'Hydrogels in drug delivery: Progress and challenges', *Polymer (Guildf.)*, vol. 49, no. 8, pp. 1993–2007, Apr. 2008.
- [5] B. V. Slaughter, S. S. Khurshid, O. Z. Fisher, A. Khademhosseini, and N. A. Peppas, 'Hydrogels in Regenerative Medicine', *Adv. Mater.*, vol. 21, no. 32–33, pp. 3307–3329, Sep. 2009.

- [6] S. K. H. Gulrez, S. Al-Assaf, and G. O, 'Hydrogels: Methods of Preparation, Characterisation and Applications', in *Progress in Molecular and Environmental Bioengineering - From Analysis and Modeling to Technology Applications*, InTech, 2011, pp. 117–150.
- [7] A. B. Lugao and S. M. Malmonge, 'Use of radiation in the production of hydrogels', *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 185, no. 1–4, pp. 37–42, Dec. 2001.
- [8] S. K. Samal, M. Dash, P. Dubruel, and S. Van Vlierberghe, 'Smart polymer hydrogels: properties, synthesis and applications', in *Smart Polymers and their Applications*, M. R. Aguilar and J. S. Román, Eds. Cambridge, UK: Woodhead, 2014, pp. 237–270.
- [9] R. Galante, T. J. A. Pinto, R. Colaço, and A. P. Serro, 'Sterilization of hydrogels for biomedical applications: A review', *J. Biomed. Mater. Res. Part B Appl. Biomater.*, vol. 106, no. 6, pp. 2472–2492, Aug. 2018.
- [10] W. C. Billotte, 'Ceramic Biomaterials', in *Biomaterials*, J. Y. Wong and J. D. Bronzino, Eds. Boca Raton: CRC Press, 2007, pp. 2-(1-34).
- [11] T. Yamamuro, 'Bioceramics', in *Biomechanics and Biomaterials in Orthopedics*, London: Springer London, 2004, pp. 22–33.
- [12] N. F. Amat, A. Muchtar, N. Yahaya, and M. J. Ghazali, 'A review of zirconia as a dental restorative material', *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 6, no. 12, pp. 9–13, 2012.
- [13] F. Santos, A. Branco, M. Polido, A. P. Serro, and C. G. Figueiredo-Pina, 'Comparative study of the wear of the pair human teeth/Vita Enamic® vs commonly used dental ceramics through chewing simulation', *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, vol. 88, pp. 251–260, Dec. 2018.
- [14] Y. D. Belo, Q. N. Sonza, M. Borba, and A. D. Bona, 'Zircônia tetragonal estabilizada por ítria: comportamento mecânico, adesão e longevidade clínica', *Cerâmica*, vol. 59, no. 352, pp. 633–639, Dec. 2013.
- [15] Y. Liao, 'ZrO₂', *Practical Electron Microscopy and Database*, 2018. [Online]. Available: <http://www.globalsino.com/EM/page2070.html>. [Accessed: 16-Jan-2019].
- [16] Y. Han and J. Zhu, 'Surface Science Studies on the Zirconia-Based Model Catalysts', *Top. Catal.*, vol. 56, no. 15–17, pp. 1525–1541, Nov. 2013.
- [17] W. Norde, T. Arai, and H. Shirahama, 'Protein adsorption in model systems', *Biofouling*, vol. 4, no. 1–3, pp. 37–51, Aug. 1991.
- [18] A. S. Oliveira, O. Seidi, N. Ribeiro, R. Colaço, and A. P. Serro, 'Tribomechanical Comparison between PVA Hydrogels Obtained Using Different Processing Conditions and Human Cartilage', *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 20, p. 3413, Oct. 2019.
- [19] I. Carvalho, M. Henriques, and S. Carvalho, 'New strategies to fight bacterial adhesion', in *Microbial Pathogens and Strategies for Combating Them: Science, Technology and Education*, A. Méndez-Vilas, Ed. Badajoz: Formatex, 2013, pp. 170–178.
- [20] X. Gao, M. Fraulob, and G. Haïat, 'Biomechanical behaviours of the bone–implant interface: a review', *J. R. Soc. Interface*, vol. 16, no. 156, p. 20190259, Jul. 2019.

Impressão 3D

Dulce Simão^a Hermínio Diogo^a,

^aCentro de Química Estrutural, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Ácido polilático

PLA ou ácido polilático é um biopolímero sintético termoplástico (Figura 1) que à temperatura de cerca de 150°C permite ser moldado em diversas formas/geometrias que se mantêm após o arrefecimento.

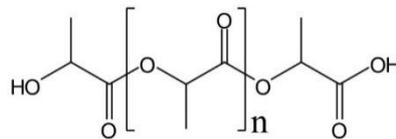


Figura 1 – Estrutura química do PLA

O PLA é sintetizado a partir de recursos agrícolas renováveis, como o amido de milho, raízes de mandioca ou de cana e outros polissacarídeos, evitando-se o uso de derivados do petróleo (Figura 2). Adicionalmente, a produção de PLA por reciclagem permite reduções energéticas apreciáveis em comparação com a utilização de matéria-prima original.



Figura 2 – Batata, milho, mandioca e cana; matérias primas do PLA

O PLA é também produzido pelos mamíferos (incluindo os humanos) e pode também ser obtido por via bacteriana. Uma das características mais importantes do PLA é que ele se degrada, quando exposto ao meio ambiente^{1,2} (Figura 3). Por exemplo, um objecto construído em PLA, apresenta um tempo de vida médio de 1 ano em ambiente oceânico. Isto contrasta com os plásticos convencionais onde esse valor se situa no intervalo 500 a 1.000 anos.



Figura 3 – Biodegradabilidade do PLA

A (importância da) impressão 3D

A gama de utilização do PLA no uso quotidiano é diversificada. É incorporado em embalagens alimentícias, embalagens cosméticas, sacos de plástico, garrafas, canetas, vidros, tampas, talheres, frascos, copos, bandejas, pratos, implantes médicos biodegradáveis, tais como suturas e parafusos ortopédicos (Figura 4).



Figura 4 – Biodegradabilidade do PLA

Um dos polímeros biorreabsorvíveis mais utilizado na produção de implantes estruturais é o PLA, que apresenta excelentes propriedades mecânicas, é altamente biocompatível e os produtos da sua degradação são facilmente eliminados, dado que o seu monómero (ácido láctico), se encontra também presente no metabolismo humano, originando CO_2 e água. Outra área de aplicação importante é no sector têxtil onde o PLA é usado em detrimento do PET (polietileno tereftalato) com propriedades físicas e mecânicas comparáveis a este polímero, mas com melhores propriedades na área da retardação de chama e no tipo de gases gerados na auto-ignição.

O PLA é também muito utilizado no fabrico de filamentos de impressão 3D. A temperatura de transição vítrea, T_g (ou temperatura de amolecimento) do PLA é cerca de 65°C , mas, normalmente, é misturado com outros aditivos para torná-lo colorido e mais apropriado e atraente para a impressão 3D (Figura 5). Outros materiais utilizados em impressoras de FDM são o acrilonitrilobutadieno estireno (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*, ABS) e para algumas aplicações mais específicas o policarbonato (*Polycarbonate*, PC) e poliestireno (*Polystyrene*, PS).



Figura 5 – Biodegradabilidade do PLA

A impressão 3D é normalmente um método de prototipagem rápida que cria objetos tridimensionais a partir de modelos CAD (*Computer Aided Design*). As três dimensões são construídas por sobreimpressão subsequente e para que isto funcione todas as camadas devem solidificar quando, por exemplo, são utilizados materiais poliméricos.

Durante os últimos 15 anos foram desenvolvidas várias técnicas de impressão 3D e estão disponíveis diferentes materiais para impressão, tais como plásticos, cerâmicos e partículas de metal³. Na área da farmácia o processo é utilizado no *design* inteligente (personalizado) de medicamentos e libertação controlada de princípios activos, na área da medicina para produção de moldes e implantes para cirurgia e no campo da bioquímica para apoio na engenharia de tecidos, constituindo todos estes exemplos de áreas de aplicação em franco desenvolvimento.

A Tabela 1 mostra algumas das áreas didáticas de aplicação da impressão 3D.

Tabela 1

Engenharia	Criação de protótipos antecipadamente idealizados em computador.
Química	Impressão de moléculas evidenciando a estereoquímica das mesmas. Reactores laboratoriais e agitadores à escala piloto.
Indústria aeroespacial e automóvel	Fabrico de moldes e de protótipos de componentes.
Biologia	Impressão de órgãos do corpo humano ou réplicas de animais
Geografia	Mapas evidenciando o relevo ou a topografia de uma dada região
Artes & Arquitectura	Creatividade de objectos e maquetas a 3 dimensões
Medicina	Fabrico de próteses ortopédicas e suturas absorvíveis para cirurgia
Indústria aeroespacial e automóvel	Fabrico de moldes e de protótipos de componentes
História	Impressão de artefacto arcaico ou medieval
Entretenimento e moda	Produção de adereços e joalharia
Alimentar	Produção de massas/pastas e decoração de bolos

O primeiro protótipo do que hoje se designa por impressão 3D foi patenteado (US4575330A) em 1984 pelo norte-americano Charles Hull com o título *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography*. Esta técnica consistiu na deposição de um material foto-polimérico, seguido da cura do mesmo, com o auxílio de radiação ultravioleta. Para fazer uma impressão 3D o utilizador necessita, previamente, de desenhar o objecto utilizando um dos softwares disponíveis para projecção em 3 dimensões. Alternativamente poderá efectuar um varrimento 3D da peça que pretende produzir. Após iniciar a impressão, aguarda-se que o objecto ganhe forma, dimensão e profundidade (Figura 6). Nas impressoras 3D que trabalham em modo aditivo, concretamente em *Fused Deposition Molding* (FDM), um objeto tridimensional é construído através da sobreposição de várias camadas de um dado material. De um modo genérico a tecnologia associada é caracterizada pela fusão do material, seguida da extrusão do mesmo através de um *nozzle*. Permite utilizar materiais ecológicos e dessa forma minimiza não só os desperdícios, mas contribui para um favorável desempenho em termos de impacto ambiental reduzindo as emissões de gases tóxicos ou com efeito de estufa.

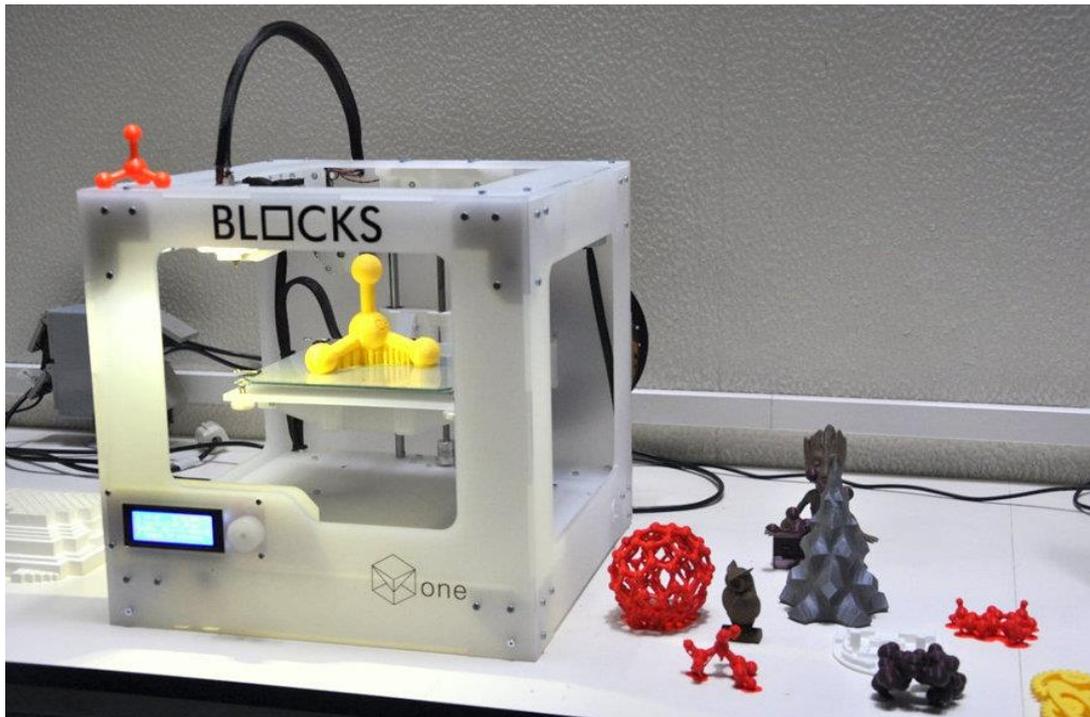


Figura 6 – Impressora e objetos 3D

Referências

- [1] – <http://www.ecotunes.hk/pla.htm>, acessado em 19 Jan 2019.
- [2] - https://shop.biogreengate.com/materials_a/252.htm, acessado em 14 Jan 2020.
- [3] - Dimitrow, D., Schreve, K., de Beer, N., 2006. Advances in three-dimensional printing - state of art and future perspectives. Rapid Prototyping J. 12 (3), 136–147.

Química 3D em Realidade Virtual

Diogo Caria Ferreira, Rui Prada, Daniel Simões Lopes

Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa e INESC-ID

Um bom conhecimento de Química Orgânica faz parte da formação fundamental de um químico. A sua aplicação é fundamental em várias vertentes da indústria, como por exemplo, na indústria farmacêutica, na indústria de materiais (polímeros, têxteis, etc.) e na indústria alimentar.

O conhecimento em Química Orgânica envolve conhecer a estrutura dos compostos, a sua representação, e a sua nomenclatura e classificação em famílias. Em relação à estrutura interessa saber que átomos formam uma molécula, que ligações são estabelecidas entre os átomos e o formato tridimensional que a molécula assume. Tudo isso confere diferentes propriedades ao composto.

Nesta experiência será possível manipular diretamente átomos e criar moléculas com as próprias mãos. Tudo através de um jogo num laboratório virtual imersivo usando tecnologia de Realidade Virtual (RV). É também possível testar o conhecimento adquirido em desafios que são lançados aos jogadores.

Imersão em Realidade Virtual

Os sistemas imersivos em RV são uma boa abordagem para explorar e aprender Química Orgânica devido à facilidade como apresentam estruturas tridimensionais e permitem a sua análise e manipulação. Para além disso têm um grande potencial para aumentar a motivação e o interesse dos seus utilizadores nos mundos e assuntos que apresentam, o que faz com que o uso destes sistemas imersivos seja visto como uma ferramenta de eleição para a educação [1], em particular se os tópicos a aprender requerem raciocínio espacial 3D.

O sucesso destas experiências depende da qualidade de 3 fatores [2]: a capacidade de imersão, a qualidade da interatividade e a capacidade de sensação multi-sensorial. Imersão significa que o utilizador se sente envolvido pelo mundo criado na Realidade Virtual e sente que tem uma presença forte nesse mundo. A imersão depende da capacidade do sistema em criar um mundo que é credível face às expectativas dos utilizadores e depende da qualidade dos outros dois fatores. Uma falha na interatividade ou nas sensações promovidas pela RV implica uma perda de imersão. A interatividade está relacionada com a capacidade de controlo que o utilizador tem sobre o mundo na RV e a sensação está relacionada com as respostas que o mundo virtual envia para o utilizador de forma a que este interprete o que se passa.

Jogos e Educação

O uso de jogos como recurso para a educação é cada vez mais comum e apresenta cada vez mais e melhores resultados. Uma grande parte do seu sucesso vem da sua grande capacidade de motivação e de prender a atenção do jogador, mas é também uma das ferramentas mais adequadas quando o tópico a aprender tem uma componente muito prática. Uma das principais razões para o sucesso dos jogos na educação é o facto destes promoverem a exploração de várias ações permitindo falhar em segurança [3]. Por exemplo, num jogo é possível combinar compostos químicos de uma forma perigosa sem que o problema criado tenha consequências no mundo real. As eventuais penalizações sofridas ficam contidas no mundo do jogo. Este facto reduz o medo de tentar ações cujas consequências sejam pouco conhecidas pelos jogadores, o que favorece a criação de modelos mentais mais completos dos fenómenos que o jogo simula. Outra razão importante para o sucesso dos jogos é o facto destes colocarem o jogador como protagonista da ação, o que lhe dá uma sensação de controlo e autonomia, mas também de responsabilidade pelo que acontece no jogo. Isto permite a criação de experiências emocionais pessoais fortes que favorecem a criação de memórias.

O uso de realidade virtual em jogos é também cada vez mais comum. Os fatores de sucesso de um bom sistema em RV complementam-se bem com os fatores de sucesso de um jogo, em particular se o jogo tem objetivos educativos.

A Touch on Chemistry

A experiência neste módulo consiste em jogar um pouco do jogo *Touch on Chemistry* [4] desenvolvido pela Íris Rodrigues na sua tese de mestrado em Engenharia Informática e de Computadores. O jogo coloca o jogador num laboratório virtual, sentado numa bancada, onde pode pegar em átomos com as mãos e juntá-los com outros átomos de forma a construir moléculas (ver Figura 1). A construção das moléculas segue as restrições das possíveis ligações entre átomos (simples, duplas ou triplas) e permite identificar a nomenclatura da molécula criada. Esta atividade favorece a aprendizagem dos tipos de ligações possíveis entre os vários pares de átomos e das nomenclaturas e classes dos compostos. O jogador é desafiado a criar moléculas identificadas de várias formas: através da sua nomenclatura, representação esquemática ou através de uma molécula incompleta. O jogo decorre através de uma sequência de desafios dos quais o jogador acumula uma pontuação de acordo com a sua performance, tendo em conta os erros que comete e o tempo que demora na tarefa.

O jogo contém vários níveis e diferentes modos de jogo, permitindo o jogador ter um processo de aprendizagem gradual, mas também testar os seus conhecimentos, oferecendo os componentes de desafio e a diversão esperados de qualquer jogo.

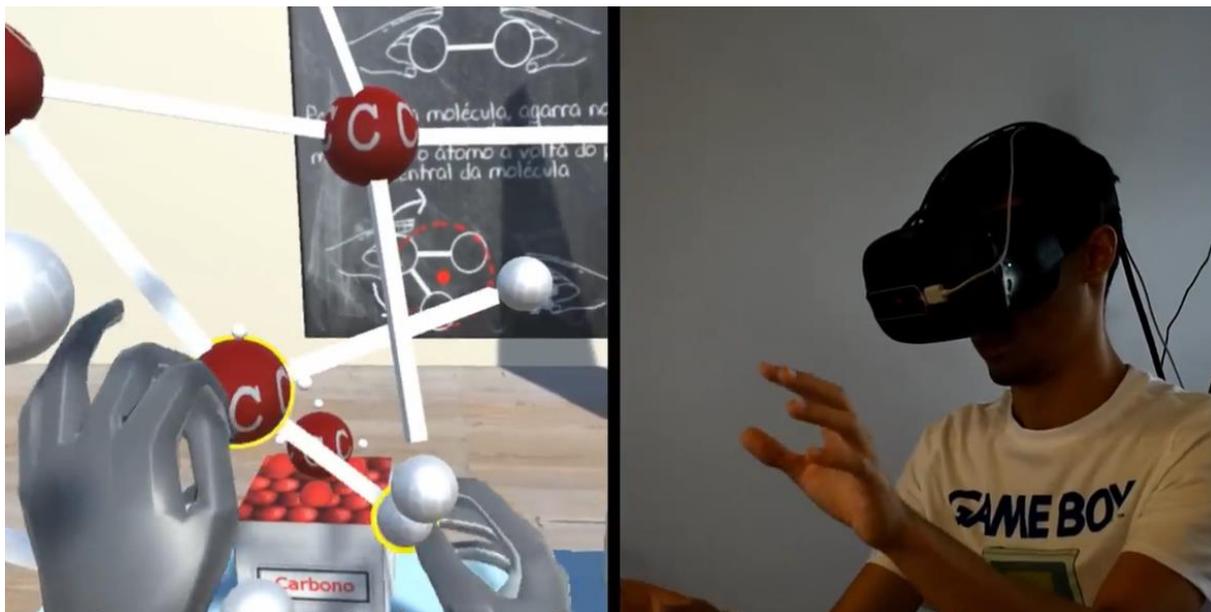


Figura 1 – Ambiente Virtual do jogo (Esquerda) e a pessoa a jogar (Direita) *

Na presente versão o jogador não tem sensação háptica durante a manipulação dos átomos e das moléculas. No futuro, o jogador irá utilizar luvas interativas, de modo a melhorar a interação com o jogo criando um pouco de sensação de toque com os vários elementos do jogo. Os conteúdos do jogo estão em desenvolvimento para incluir mais possibilidades de construção e promover mais oportunidades de aprendizagem.

Referências

- [1] H. H. Mei e L. S. Sheng (2011). Applying Situated Learning in a Virtual Reality System to Enhance Learning Motivation. *International Journal of Information and Education Technology*, 1(4), 298–302.
- [2] Chris Christou (2010) Virtual reality in education. *Affective, Interactive and Cognitive Methods for E-Learning Design: Creating an Optimal Education Experience*, 228-243.
- [3] Rui Prada (2017) The Importance of Socio-Emotional Agency in Applied Games for Social Learning. Em C. Vaz de Carvalho, P. Escudeiro e A. Coelho (Eds) *Serious Games, Interaction and Simulation. SGAMES 2016. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol. 176. Springer, Cham.
- [4] Iris Rodrigues e Rui Prada (2018) Virtual Reality Game to teach Organic Chemistry. *Videojogos 2018 - the 10th conference on Videogame Science and Arts, Universidade do Porto*, 215-230. i2ADS.

* Um vídeo com um exemplo de interação no jogo pode ser visualizado em:
<https://www.facebook.com/watch/?v=356169271623554>

O nitrogénio vai à bola

Vasco D.B. Bonifácio

iBB – Instituto de Bioengenharia e Biociências, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

O nitrogénio líquido tem algo de misterioso. A sua baixa temperatura, uns incríveis $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, provoca a condensação instantânea da água existente no ar. Este simples fenómeno confere às experiências usando nitrogénio líquido um ambiente mágico. Nos Laboratórios Abertos do DEQ, no IST, actividades abertas à comunidade realizadas desde 2005, o nitrogénio líquido tem sido usado em diversas experiências. O *Show do Azoto* foi pioneiro [1] com experiências como “O caldeirão das bruxas”, “O encantador de serpentes”, “O bafo condensado”, “A chaleira ruidosa”, “Banana split” e outras! Nos últimos anos têm sido desenhadas novas experiências usando nitrogénio líquido, são exemplo os “Balões que respiram” [2], o “Martelo amestrado” [3] e as “Bolas loucas” [4], pura magia para quem nos visita. Nos Laboratórios Abertos DEQ 2020 o nitrogénio foi à bola, literalmente (Figura 1).

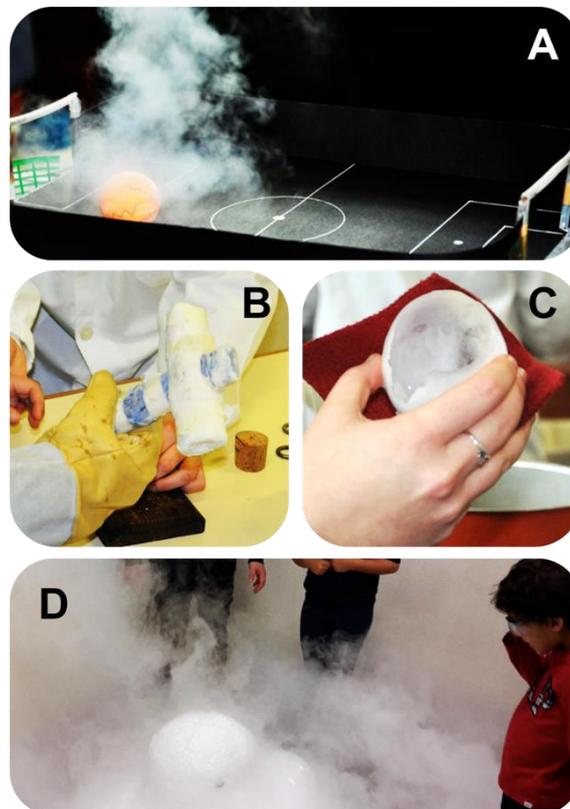


Figura 1 – O Nitrogénio vai à bola. Experiências a “Bola louca” (A), o “Martelo amestrado” (B), a “Bola de gelo” (C) e o “Caldeirão das bruxas” (D).

Este ano realizámos as experiências que são já um clássico no DEQ, mas introduzimos também uma novidade!

A experiência “Bolas loucas” passa-se num campo de futebol. Bolas de pingue pongue (especialmente furadas) correm pelo campo e todos torcem para que a sua favorita marque... goooooooooo! A evaporação do nitrogénio contido dentro da bola fá-la gira loucamente, e algumas até dão saltos. As “Bolas de gelo” são de outro campeonato. Colocam-se balões cheios de água em banho de nitrogénio líquido e após um minuto removemos o balão, e a água líquida do interior, e ficamos com uma bola de gelo... perfeita para preparar uma bebida refrescante. No “caldeirão das bruxas” as bolas são outras. São aos milhares as bolas de sabão que saltam do caldeirão. O segredo desta poção está no nitrogénio líquido e na mistura de detergente e água quente.

Mas este ano a atração principal foram as “Bolas de cristal”. Bolas de sabão que transformam em “cristal fino” quando tocadas pela bruma mágica do nitrogénio. Só visto! Mas se ainda não viram podem ficar descansados, nós mostramos [5].

Num recipiente é adicionada uma pequena quantidade de nitrogénio líquido. Após alguns minutos observa-se a formação de névoa estável na superfície do recipiente. Neste momento adicionam-se bolas de sabão preparadas segundo uma receita especial [6]. Observa-se o congelamento das bolas na superfície do recipiente, semelhantes a bolas de cristal, que lentamente se depositam no fundo (Figura 2).



Figura 2 –Experiência “Bolas de cristal”.

Noutro local o nitrogénio também foi a estrela do DEQ. Ele e outras bolas, frescas e deliciosas... as bolas de gelado preparadas para os “kids”! O nitrogénio foi à bola e nós também!

Agradecimentos

Agradecemos ao Técnico de Laboratório, Jorge Teixeira, a ajuda (sempre com grande entusiasmo!) na preparação e montagem das experiências, em especial a sua contribuição para a execução da experiência “Bolas de cristal”. Agradecemos ainda à Rita Pires pela ajuda na preparação da experiência “Bolas de cristal” e ao Nuno Martinho pela elaboração do respectivo vídeo. As demonstrações das experiências para os “kids” e “juniores” não teriam sido possíveis sem a preciosa colaboração dos alunos dos cursos de Mestrado Integrado em Engenharia Biológica e Engenharia Química (por ordem alfabética): Carolina Caeiro, Christian Orozco, Gilda Carvalho, Inês Faria, Marta Pedroso, Matilde Lopes, Pedro Rodrigues, Thomas Hietala e Vera Pires. #weareTecnico

Referências

- [1] Clementina Teixeira, “Show do Azoto”, Laboratórios Abertos 2010, M.A. Lemos, C. Azevedo (Eds.), Instituto Superior Técnico, Lisboa, ISBN: 978-989-96933-0-2, **2010**, 57-58.
- [2] M. Fernanda N.N. Carvalho, José Armando. L. da Silva, “O ar que respiramos”, Laboratórios Abertos 2015, M.A. Lemos, C. Azevedo e D. Simão (Eds.), Instituto Superior Técnico, Lisboa, ISBN: 978-989-99508-2-5, **2015**, 80-84.
- [3] M. Fernanda N.N. Carvalho, José Armando. L. da Silva, “A energia do ar a temperatura muito baixa”, Laboratórios Abertos 2017, M.A. Lemos, C. Azevedo e D. Simão (Eds.), Instituto Superior Técnico, Lisboa, ISBN: 978-989-99508-4-9, **2017**, 77-80.
- [4] Maria João Ferreira, Luis G. Alves, José Armando L. da Silva, “Nitrogénio: Como relevante é o 7”, Laboratórios Abertos 2019, M.A. Lemos, C. Azevedo e D. Simão (Eds.), Instituto Superior Técnico, Lisboa, ISBN: 978-989-99508-6-3, **2019**, 33-36.
- [5] Experiência “Bolas de cristal”. Vídeo disponível no Instagram “sustanainanochem”. URL: <https://www.instagram.com/p/B9NcFH4JkJw> (acedido em 01.03.2020).
- [6] M.N. Berberan-Santos, C. Teixeira, “Bolas de sabão: Preparação, estrutura e propriedades”, QUÍMICA, Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, **2004**, 94, 31-36.

Embrulhada de Reações - do encanto à razão

Cristina Gomes de Azevedo^a, Ana Knittel^b, Marta Coelho^b

^a CQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^b Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Introdução

Em química estudam-se as substâncias e as suas transformações. Transformar umas substâncias noutras, de modo a obter materiais úteis que contribuam para a melhoria da nossa qualidade de vida, é um dos objetivos desta ciência. Essas transformações de matéria designam-se por transformações químicas ou reações químicas. São elas os alicerces da química.

Os avanços da química têm permitido atuar em diferentes áreas proporcionando-nos o acesso a materiais muito distintos.

É inquestionável a contribuição da Química para a nossa vida atual, no que se refere ao conforto, bem-estar, qualidade, enfim, às características da nossa vida diária.

A química é uma ciência fascinante. O comportamento químico pode por vezes parecer magia, embuste, mistério! Depois de investigado e compreendido tem uma explicação racional, científica e perfeitamente compreensível. O enigma foi ultrapassado pela razão! O encanto continua!

Vamos para o laboratório fazer 3 experiências em que cada uma ilustra o carácter enigmático, inicialmente inexplicável de uma transformação e por fim a justificação química para a aparente obscuridade. Vamos fazer uma verdadeira mixórdia de reações que têm o objetivo comum de revelar a Química:

EXP 1. Briggs-Rauscher – Uma reação avariada?

EXP 2. O truque que enganou o alquimista

EXP 3. Um arco-íris açucarado

Briggs-Rauscher – Uma reação avariada?

Imaginem como seria criarem algo tão fantástico que ninguém acreditasse que fosse verdade. Foi quase assim que começou a história desta reação.

Quando o químico russo Boris Belousov, em 1958 descobriu uma reação que era diferente de todas as outras e difícil de ser compreendida com os conhecimentos da época, não houve muitas pessoas interessadas, e caiu quase em esquecimento. Talvez por pensarem que, ou Belousov as estava a enganar, ou então que não era químico, mas sim mágico. Desta forma a reação só foi compreendida em 1964 pelo químico Anatoly Zhabotinsky., e, à data designou-se a reação Belousov-Zhabotinsky. Em 1972, dois professores americanos (Thomas Briggs e Warren Rauscher) decidiram trocar um dos reagentes nesta estranha reação e descobriram a Briggs-Rauscher.

Mas afinal o que tem de tão curioso esta reação?

A reação começa com a preparação de três soluções, todas incolores: i) Uma de iodato de potássio - KIO_3 - e ácido sulfúrico - H_2SO_4 ; ii) outra de amido, ácido malónico - $C_3H_4O_4$ - e sulfato de manganês II - $MnSO_4$; iii) e por último uma de peróxido de hidrogénio - H_2O_2 .

Procede-se à adição da solução de peróxido de hidrogénio às de iodato de potássio e de sulfato de manganês, como ilustrado na figura 1.



Figura 1 - Adição da solução de peróxido de hidrogénio às de iodato de potássio e de sulfato de manganês II

Ao juntar estas três soluções num copo, a reação inicia-se de imediato e assiste-se à mudança de cor de incolor para amarelo. Logo a seguir vemos o aparecimento de uma mancha azul escura (fig. 2), que se irá espalhar por toda a solução (fig.3).

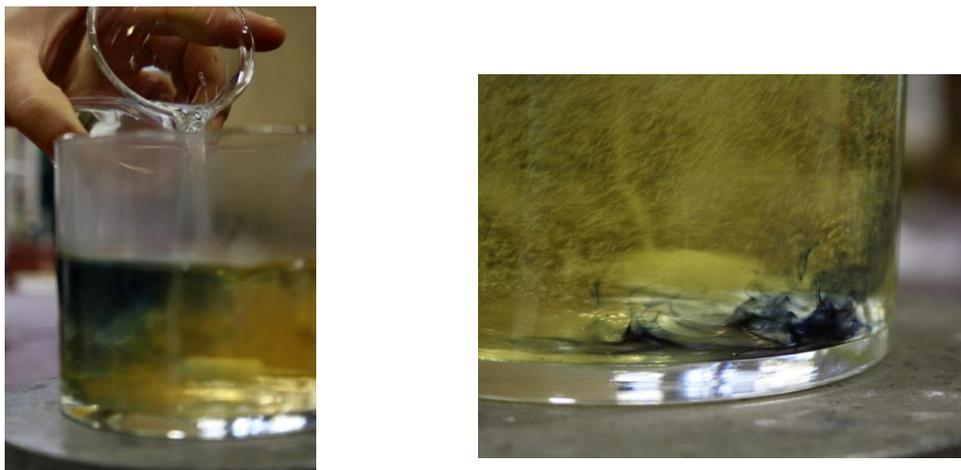


Figura - 2 Início da formação do complexo amido e o ião triiodeto – mancha azul numa solução amarela

É de fato interessante e curioso ver uma reação a passar por três cores diferentes, (figura 3) mas isso não é inédito... muitas reações químicas são acompanhadas por mudança de cor.



Figura - 3 Mudanças de cor num ciclo da reação Briggs-Rauscher.

O que era verdadeiramente intrigante na Briggs-Rauscher é que não parava no azul! Voltava a incolor, depois a amarelo... azul... incolor... amarelo... azul... , sempre assim até acabar com uma cor violeta.

Esta sequência de mudanças de cores repete-se dentro de um intervalo de tempo variável, dependendo muito das concentrações das soluções. O período da oscilação aumenta gradualmente e a alteração de cores ocorre até que todo o ácido malónico seja consumido.

Haverá química por detrás desta reação ou por vezes os químicos têm mesmo de acreditar nas artes mágicas?

Na verdade, quer na escola ou na universidade, quer na nossa experiência de trabalho laboratorial aprendemos que as reações seguem sempre num sentido (é espontânea no sentido do equilíbrio). Essa direção será definida por uma série de condições, sendo que por vezes, modificando essas condições, ou seja, por intervenção exterior, podemos alterar o sentido da reação. Ora o que é intrigante na Briggs-Rauscher, é a sua evolução, que sem qualquer alteração do meio, não se dá apenas num sentido, isto é, uma vez “terminada” volta espontaneamente (sem qualquer intervenção exterior) ao seu aspeto inicial, repetidamente.

Estas reações funcionam como ciclos, em que passam várias vezes pelo mesmo ponto (por exemplo o ponto inicial, com estado/aspeto a cor amarela), mas ao fim de um certo tempo já perderam tanta energia que acabam por parar, porque foi consumido um dos reagentes. Por outras palavras a reação atingiu o equilíbrio. Assim facilmente se compreende o nome atribuído ao pequeno conjunto onde a Briggs-Rauscher se insere – Reações Oscilantes – Estas são reações em que a concentração de reagentes e produtos variam ao longo do tempo de forma periódica ou quase periódica.

Consoante os reagentes que se usam, as reações oscilantes podem apresentar variações visíveis diretamente (como é o caso desta e da descoberta por Belousov e Zhabotinsky) ou então visíveis apenas quando controladas com determinado tipo de instrumentação, como medidores de pH.

As variações de cor na Briggs-Rauscher, são reflexo das várias espécies existentes em solução, que obviamente resultam de sucessivas reações químicas. A sequência de passos que explicam o “caminho” de uma reação química designa-se **mecanismo**. O seu conhecimento é um dos grandes desafios do químico, porque, uma vez sabendo os passos pelos quais a reação prossegue, e as espécies envolvidas, o controlo da reação é mais efetivo.

Esta sequência de mudanças de cores repete-se dentro de um intervalo de tempo, como já referido, o período da oscilação aumenta gradualmente e, após alguns minutos, a coloração azul deveria tornar-se definitiva, devido à presença de iodo.

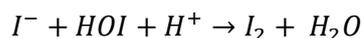
A explicação desta reação é complicada e transcende os vossos conhecimentos. As explicações que se seguem são uma maneira muito simples de olhar para a reação. A explicação mais pormenorizada será dada mais à frente, para os mais interessados:

- **Incolor**

A solução incolor persiste enquanto o produto da primeira reação, o iodo não existe em concentração suficientemente elevada para a sua cor ser notada nem para formar o complexo com o amido.

- **Amarelo**

Deve-se à formação de iodo. Em reações que envolvam a oxidação do ião iodeto - I^- , em solução aquosa é frequente o aparecimento desta cor, característica da molécula de iodo - I_2 (na realidade a espécie existente em solução é - I_3^-).



- **Azul**

Deve-se à formação de um composto entre o iodo - I_2 - e o amido. Até este ponto reagiram as espécies químicas que são na realidade responsáveis pela reação oscilante e conseqüentemente pelo ciclo de cores incolor-amarelo-azul...

- **Violeta**

A cor violeta deve-se à formação excessiva de I_2 quando todo o ácido malónico foi consumido. Continua a formar-se I_2 em quantidade que aparecem cristais de iodo e vapores violeta de iodo (fig. 4).



Figura -2 - Fim da reação de oscilação - formação de cristais de iodo.

O verdadeiro mecanismo desta reação é bastante complexo, pois alterna entre dois processos distintos, tendo implicação direta na quantidade de cada produto formado.

Este mecanismo foi estudado por matemáticos que demonstraram uma correlação entre este tipo de oscilação e algumas variações em sistemas biológicos, nomeadamente nas variações populacionais entre presa/predador.

Para o leitor mais interessado:

Esta experiência de uma reação oscilante acontece baseada no Princípio de Le'Chatelier. Apresenta três características:

- 1- A reação acontece quando a reação está longe do Estado de Equilíbrio.
- 2- A perda de energia necessária para alcançar o equilíbrio desenvolve - se por diferentes caminhos, e a diferença entre eles é o que gera a oscilação na Reação.
- 3- O caminho que a reação segue determina as concentrações dos reagentes, o que determina a oscilação.

As oscilações de uma reação oscilante são guiadas pela diminuição na energia livre da mistura, de forma a atingir o equilíbrio. Esta diminuição na energia é o que guia todas as reações químicas, mas nem todas as reações apresentam oscilações. O que faz com que certas reações apresentem este comportamento peculiar é o caminho adotado pela reação para chegar ao equilíbrio, ou seja, depende dos mecanismos da reação. O caminho que a reação segue determina como as concentrações dos componentes mudam com o decorrer da reação. Quanto mais complexo é o caminho de uma reação, mais complexas podem ser as variações nas concentrações dos componentes da mistura.

Os mecanismos das reações oscilantes apresentam pelo menos três características em comum. Primeiro, quando a oscilação ocorre, o sistema está longe do equilíbrio e o ciclo repete-se conforme a energia diminui. Segundo, a queda de energia pode-se dar por, pelo menos, dois caminhos (mecanismos) diferentes, e a reação procede alternando periodicamente um caminho e outro. Terceiro, um desses caminhos produz um intermediário que o outro caminho consome. Quando a concentração desse intermediário é baixa, a reação segue o caminho que o produz. Se a concentração é alta, a reação segue o outro caminho. Assim a reação repetidamente muda de um percurso para o outro. Essas reações são ditas auto-catalíticas.

Mais detalhes em:

http://www.uni-regensburg.de/Fakultaeten/nat_Fak_IV/Organische_Chemie/Didaktik/Keusch/D-briggs-d.htm
[consultado em 15.Dez.2019]

<http://pdfdownload.com/pdf/oscillating-chemical-reactions-inside-mines-15135502.html> [consultado em 6.Jan.2019]

O truque que enganou o alquimista

A alquimia surgiu na Idade Média e tinha dois principais objetivos: a conversão de metais de valor inferior em ouro e a descoberta do elixir da vida eterna. Bem, este último ainda não foi descoberto, mas será que conseguimos converter cobre em prata e ouro?

Nesta experiência tentar-se-á fazê-lo com moedas. Para tal, vamos usar moedas de cobre, previamente lavadas com algum tipo de solução ácida, como vinagre ou sumo de limão, como ilustrado na figura 1.



Figura - 2: Limpeza das moedas em solução ácida

De seguida são colocadas numa solução de zinco e hidróxido de sódio, perto da fervura, (ver fig. 2) até ficarem nitidamente prateadas. Já transformámos uma moeda de cobre em prata!

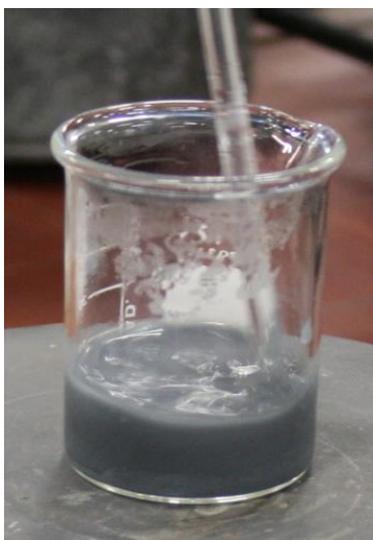


Figura - 3 Solução de hidróxido de sódio com pó de zinco

Para conseguirmos chegar ao tão desejado ouro, uma dessas moedas é levada à chama do bico de Bunsen até se tornar dourada. Produziu-se uma liga metálica denominada latão, que é constituída de cobre e zinco.



Figura - 4 Moedas de cobre, prata e ouro.

Assim se “fez” prata a partir de cobre e se “transformou” a prata em ouro!!

O que aconteceu?

Graças às reações químicas que ocorreram, chamadas de oxidação-redução, não foi alcançado um dos maiores sonhos dos alquimistas, mas sim um grande truque de ilusionismo.

Na realidade, o que aconteceu foi que o zinco, que estava em suspensão na solução de hidróxido de sódio, depositou-se sobre o cobre, dando a ilusão de que as moedas de cobre tinham sido transformadas em prata.

Na segunda parte da nossa experiência, observou-se a passagem da cor prateada para dourada devido ao contacto com a chama. Mais uma vez, não conseguimos transformar prata em ouro, mas em vez disso produzimos uma liga metálica: o latão.

Então, mas o que são reações de oxidação-redução? Este assunto transcende os vossos conhecimentos, mas está aqui para os leitores mais interessados ...

As reações de oxidação-redução são reações onde há transferência de eletrões entre duas espécies químicas designadas oxidante e redutor. Estes dois agentes têm dois papéis complementares: O oxidante, capta eletrões, reduzindo-se e provocando a oxidação do redutor. Da mesma forma o redutor, doa eletrões, oxidando-se e provocando a redução do oxidante.

Um par redox é o conjunto do oxidante e do redutor para uma determinada espécie, por exemplo, um dos pares redox do cobre é dado por Cu^{2+}/Cu , onde Cu^{2+} é o estado oxidado do cobre e Cu é o estado reduzido. Embora existam mais pares redox em que o Cu pode constar este é o que nos interessa para este trabalho. A cada par redox corresponde um valor de uma grandeza designada de potencial de redução padrão, que dá uma medida da “força” do redutor ou do oxidante, Quanto maior for o potencial de redução padrão de um par redox, mais fácil é a sua redução.

Isto é, se colocarmos um par redox adequado na presença de outro igualmente apropriado, irá ocorrer uma reação de oxidação-redução, sem que tenhamos que fornecer energia ao sistema. A esse sistema

podemos dar o nome de célula eletroquímica, que não é mais do que uma pilha. Ao local onde se dá a oxidação chamamos o ânodo e ao local onde se dá a redução chamamos o cátodo.

Recorrendo a uma série eletroquímica (seriação quantitativa dos valores dos potenciais de redução padrão) onde podemos ler os potenciais de redução padrão de vários redox, podemos concluir que o valor de potencial para o zinco é inferior ao de cobre.

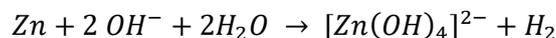
Porque se deposita zinco sobre o cobre? Porque se forma Zn à superfície da moeda!

Tabela 1: parte da Série electroquímica

Equilíbrio	Potencial de redução - E_{red}^0 (V)
$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$	-0,76
$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$	+0,34

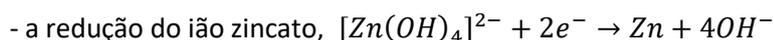
Vamos analisar com mais atenção que reações ocorrem nesta fase da nossa experiência.

Primeiro o zinco é dissolvido numa solução de hidróxido de sódio, porque se dá a oxidação do Zn a Zn^{2+} formando-se o ião $[Zn(OH)_4]^{2-}$ e também vão existir iões OH^- livres, estabelecendo-se o seguinte equilíbrio:



O ião $[Zn(OH)_4]^{2-}$ chama-se ião zincato e as bolhas que se formam na solução resultam da libertação de hidrogénio gasoso.

Se mais uma vez formos consultar a série eletroquímica podemos ver que o potencial de redução padrão do ião zincato é superior ao do cobre. Ou seja, o ião zincato vai reduzir-se a zinco na presença de cobre, que se vai oxidar a Cu^{2+} . O zinco tem um aspecto acinzentado, que torna a moeda prateada. Portanto, vão ocorrer duas reações em paralelo (à superfície da moeda).



Já tínhamos referido que produzimos latão quando pusemos a moeda prateada em contacto com a chama.

O latão é uma liga metálica. Uma liga metálica, não é mais que um material com características metálicas produzido através da fusão de metais, e por vezes outros elementos, em percentagens bem definidas. Existem vários exemplos de ligas metálicas: o aço, que é uma mistura de carbono e ferro,

muito usado na construção, o bronze, uma série de ligas metálicas que tem como base o cobre e o estanho e proporções variáveis de outros elementos como zinco, alumínio, antimônio, níquel, fósforo, chumbo entre outros com o objetivo de obter características superiores a do cobre, usado para a construção de armas e ferramentas pré-históricas e estátuas e o latão, constituído por cobre e zinco. O latão é usado em revestimentos de torneiras, mas também para a construção de instrumentos de sopro.

Mais detalhes em:

http://www.uniregensburg.de/Fakultaeten/nat_Fak_IV/Organische_Chemie/Didaktik/Keusch/D-Coin-e.htm
[consultado em 20.Dez.2019]

Um arco-íris açucarado

Nunca pensaste conseguir colocar um arco-íris dentro de um copo de água, pois não?

Pois bem, a técnica é simples e a ciência explica.

Primeiro, ao adicionar a mesma quantidade de água a vários copos que têm diferentes doses de açúcar, estamos a fazer com que cada uma das nossas amostras tenha uma densidade, diferente das outras. O corante (usa-se corante alimentar) vai apenas ajudar-nos a colorir as nossas amostras sendo que quando as juntarmos obtemos o nosso arco-íris. Na figura 1 estão expostas as várias soluções usadas na experiência. As soluções são adicionadas umas sobre as outras num tubo de ensaio. Como a densidade de cada uma das soluções é muito diferente, e uma vez que se utiliza uma pipeta ou uma colher para verter as misturas cuidadosamente e sem agitação, é possível sobrepô-las sem que se misturem.



Figura - 5 Soluções (água, açúcar e corante alimentar) com densidades crescentes.

Um ponto a ter em atenção é que a solução de maior densidade encontra-se na base do copo e a de menor densidade no topo.

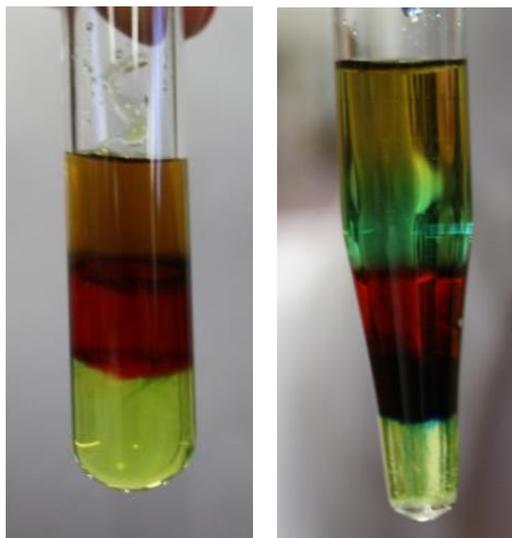


Figura - 6. Arco-íris usando diferentes soluções

Mas o que é densidade?!

A densidade é a relação existente entre a massa e o volume de um material, a uma dada pressão e temperatura

Essa relação pode ser expressa pela fórmula:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

No SI (Sistema Internacional de Unidades), a unidade de densidade é o quilograma por metro cúbico (**kg/m³**). No entanto, os mais utilizados são **g/cm³** e o **g/mL**, lembrando que 1 cm³ equivale a 1 mL.

A densidade pode ser expressa para uma substância ou para uma mistura de substâncias. Por exemplo, a densidade da água nas condições ambientes é igual a 1,00 g/cm³, o que quer dizer que em 1 cm³ ou em 1 mL, há 1,0 g de água.

Já a densidade de uma mistura varia de acordo com as quantidades das substâncias envolvidas. Um exemplo é se prepararmos meio litro de uma solução, misturando 50 gramas de um sal em 500 g de água. A densidade dessa solução será dada por:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{550g \text{ (massa do sal + massa da água)}}{500mL}$$

$$\rho = 1.1 \text{ g/mL}$$

Estamos a ver que de uma forma simplista a densidade é um conceito que podemos relacionar com o “peso”.

Neste caso, como a solução com maior quantidade de açúcar é a mais densa, encontra-se no fundo do copo. Apesar de peso e densidade serem grandezas físicas diferentes, é uma boa aproximação igualá-las para o que se quer mostrar, isto é, que a solução com maior quantidade de açúcar é a mais “pesada” (está no fundo do copo) e a solução com menor quantidade de açúcar é a mais “leve” (está no topo do copo).

As soluções açúcar/água de densidades diferentes tenderão a misturarem-se, (designam-se miscíveis) São tudo soluções aquosas. Por esta razão, se despejarmos depressa e sem cuidado, todas as soluções se misturam e não temos as cores iniciais distintas mas sim um grande borrão (tubo da esquerda). Se, pelo contrário a adição for feita por ordem decrescente de densidade (da solução mais densa para a menos densa) e com cuidado para não se misturarem ficamos com o “arco-íris” dentro do copo.

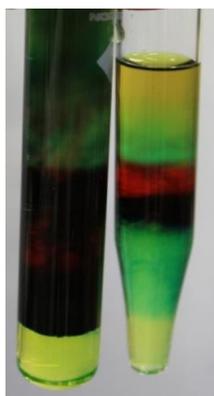


Figura - 7 Quando não se tem cuidado a "fazer química", o resultado pode ser desastroso.

As reações que acabámos de executar são 3 exemplos, de entre muitos outros que há, de reações químicas que são, numa primeira abordagem inexplicáveis e que, depois de um estudo, mais ou menos aprofundado, deixam de ser um enigma. Um são mais fáceis de explicar, outras requerem uma análise mais detalhada.

Ainda hoje permanecem reações para as quais não se sabe a explicação. Numa linguagem mais científica, não se sabe o mecanismo. Essas reações permanecem por entender, pelo menos na íntegra. E aqui entra a investigação química. Cada vez se sabe mais sobre o mundo das reações, cada vez se estabelecem mais mecanismos, cada vez se tem mais controlo nos processos.

Mas esta é uma história sem fim ...



E por isso, até para o ano!

Experiências para os Kids

Para os visitantes do 1º ciclo do ensino básico, foram desenhadas experiências mais simples, mas apropriadas a uma idade de grande curiosidade e vontade de descobrir o meio que os rodeia.

Os jovens cientistas puderam fazer experiências que os alegraram e ao mesmo tempo deliciar-se com um gelado, mesmo gelado, feito com azoto líquido, ser engenheiro químico por um dia ou simplesmente maravilhar-se com a ciência que parece ser magia.

Engenheiro químico por um dia

Fátima Rosa, Licínio Ferreira

CERENA, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa,
Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Pressão e Vácuo

O ar é constituído por uma mistura de gases que exercem pressão em todos os corpos. A essa força exercida pelo ar chama-se pressão atmosférica.

A pressão atmosférica varia com a altitude: no alto de uma montanha a coluna de ar é menor, o que faz com que o seu peso seja menor, diminuindo a pressão atmosférica. Pelo contrário, nas zonas mais baixas a coluna de ar é maior, portanto o peso do ar é mais elevado. Resumindo, quanto maior a altitude menor será a pressão atmosférica.

O vácuo é o espaço onde não existe matéria. Pode ser produzido extraindo o ar do interior de um recipiente, reduzindo a pressão para valores abaixo da pressão atmosférica.

Num frasco, colocaram-se dois balões fechados à pressão atmosférica Fig 1.



Figura 1- Erlenmeyer fechado e balões

À pressão atmosférica os balões no interior do frasco estão pequenos. Se aplicarmos vácuo no interior do recipiente os balões aumentam a sua dimensão. Fig 2



Figura 2- Balões inchados após o vácuo efectuado no Erlenmeyer

À pressão atmosférica, as moléculas de ar no interior do frasco fazem pressão nas paredes dos balões e apertam as moléculas de ar que estão no seu interior. Se aplicarmos vácuo no interior do frasco deixam de existir moléculas de ar no seu interior, as moléculas de ar que se encontram nos balões exercem pressão sobre as respectivas paredes e fazem-nos dilatar-se pois têm disponível o espaço vazio dentro do frasco, permitindo o aumento das suas dimensões.

Parece magia, mas é ciência[†]

Dulce Simão^a, Rita Pires e Vasco Bonifácio^b

^aCQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^bCQFM/IN e iBB, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

A **química** é uma ciência que estuda a matéria e suas transformações. A **matéria** é tudo o que tem massa e ocupa espaço e pode ser líquida, sólida ou gasosa.

Tudo à nossa volta que podemos ver e pegar é matéria, como um ser vivo, um objecto, ou um alimento. Toda a matéria **é formada por partículas muito pequenas que se chamam átomos**.

O que faz um químico? Retira os materiais que existem na natureza para serem utilizados pelo homem em medicamentos, produtos de limpeza, perfumes, por exemplo. O químico também pode transformar estes produtos da natureza noutros diferentes que não existem na natureza e isso é muito importante pois podemos ter por exemplo novos medicamentos. Como é que isso se faz? Através de uma transformação química ou reacção. Os materiais iniciais, chamados de reagentes são transformados noutros materiais diferentes, os produtos. O que vão ver hoje é um a demonstração de algumas destas reacções em que se formam materiais coloridos, luminosos que parece magia mas é ciência.

Avatar

Porque é que as vossas calças de ganga são azuis?

As calças de ganga são de algodão, ou seja, brancas. Na fábrica elas são tingidas com um material ou substância que lhe dá a cor azul e que se chama índigo.

[†] Texto original publicado no Livro dos Laboratórios Abertos 2018



Indigofera



calças de ganga



indigo

Esta substância pode ser retirada de uma planta ou pode ser feita num laboratório através de uma reacção que vamos fazer hoje.

Material:

- 1 proveta de 10 mL
- 1 proveta de 20 mL
- 1 erlenmeyer de 50 mL
- 1 barra de agitação magnética
- 1 placa de agitação magnética
- 1 kitasato
- 1 funil de Buchner
- 1 papel de filtro

Procedimento:

- 1 – Medir numa proveta de a acetona (10 mL).
- 2 - Deitar no erlenmeyer que contém o 2-nitrobenzaldeído (0,5 g) e a barra de agitação magnética.
- 3 – Ligar a agitação magnética.
- 4 - Medir numa proveta de a água (17 mL).
- 5 – Deitar gota a gota uma solução de hidróxido de sódio 2M (2,5 mL).
- 6 – Observar a formação de um sólido azul-escuro.
- 7 - Filtrar a vácuo.

Referências

- 1 – D. Simão *et al.*, “100 experiências de química orgânica”, 2011, ISTPress, exp 50.

Pasta de dentes de elefante

Nesta experiência vão assistir a uma reacção química que vai produzir muita espuma que parece pasta de dentes que dava para lavar os dentes de um elefante!

Material:

- 1 proveta de 1 L
- 2 provetas de 50 mL
- 1 pipeta de plástico de 3 mL

Procedimento:

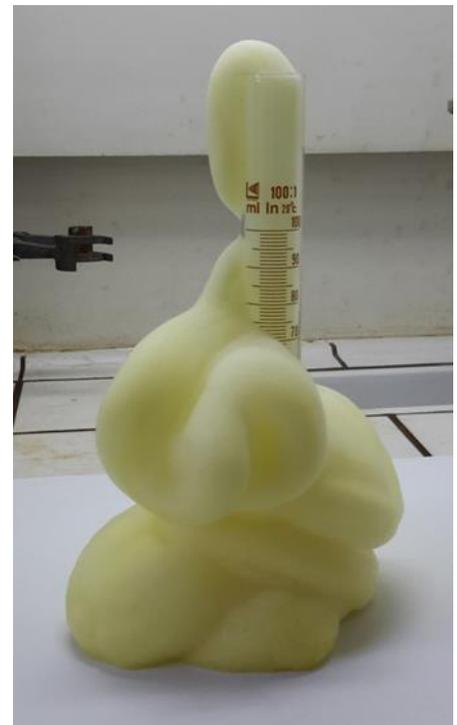
- 1 – Medir 50 mL de água oxigenada.
- 2 - Deitar num erlenmeyer de 1L (boca estreita)
- 3 – Deitar 3 gotas de corante alimentar e purpurinas.
- 4 – Deitar 40 mL de detergente líquido e agitar para misturar.
- 5 – Deitar uma solução saturada de iodeto de potássio.
- 6 – Observar a formação de uma espuma que sai da proveta.

Referências

- 1 – [HYPERLINK "https://pt.wikihow.com/Fazer-a-Experi%C3%Aancia-da-Pasta-de-Dente-de-Elefante"](https://pt.wikihow.com/Fazer-a-Experi%C3%Aancia-da-Pasta-de-Dente-de-Elefante) <https://pt.wikihow.com/Fazer-a-Experi%C3%Aancia-da-Pasta-de-Dente-de-Elefante>

Pirilampo mágico

Já todos ouviram falar de pulseiras e colares luminosos que se usam nas festas. São uns tubos de plástico que se dobram e agitam e que ficam luminosos durante várias horas. Quando dobramos o tubo estamos a fazer uma reacção! Os materiais de partida (reagentes) estão separados dentro do tubo. Quando dobramos o tubo, a separação parte-se, os reagentes encontram-se e dá-se a reacção. Só que neste caso além dos produtos também há a produção de luz que varia consoante os reagentes que se utilizam.





Além de serem utilizados para brincar, estes pequenos tubos luminosos podem ser utilizados no campismo (para iluminar), na pesca (para atrair os peixes) e como sinal luminoso muito útil para quem se perde.

Material:

- 1 tubo de ensaio com tampa
- 1 proveta de 10 mL
- 1 pipeta de 3 mL

Procedimento:

- 1 – Adicionar ao tubo de ensaio com os reagentes, acetato de etilo (10 mL)
- 2 – Tapar o tubo e agitar.
- 3 – Adicionar água oxigenada (3 mL)
- 4 – Agitar e observar a emissão de luz.



Brilha no escuro

Existem alguns materiais que brilham no escuro e dizemos que são fluorescentes.

Vamos ver alguns deles debaixo de uma lâmpada ultravioleta.

A água tônica tem uma substância fluorescente que se chama quinino.

Nas notas, cartas de condução e outros documentos importantes são colocados produtos fluorescentes para serem difíceis de falsificar.



Referências

- 1 – <http://www.glow.pt/> (consultado em 18 de Jan 2015)
- 2 - R. Albertin et al, *Química Nova*, 21, **1998**, 772.
- 3 - F. McCapra, *Methods Enzymol.*, **2000**, 305, 633 – 659.
- 4 – <http://www.youtube.com/watch?v=tltOOpYJP5k> (consultado em 18 Jan 2015)
- 5 - D. Simão, “100 experiências de química orgânica”, **2011**, ISTPress, Exp.48, pág. 199.

O quadro mágico

Rita Pires e Vasco Bonifácio

CQFM/IN e IBB, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Este quadro mágico é feito de um material que brilha no escuro durante muito tempo depois de ter estado à luz.



Material:

- placa fosforescente (por exemplo uma placa de sinalização de saída de emergência)

- ponteiro laser de cor azul (ou telemóvel)

Esta actividade deverá ser realizada numa sala escura. Usando o ponteiro laser vamos tentar escrever uma mensagem ou fazer um desenho na placa. Será possível? O que acontece quando o raio laser toca na placa?



Referências

1. Mário N. Berberan e Santos, Raios Químicos e Química Radiosa, *Química* **2015**, *139*, 53-60.

Brincar com o frio

As experiências que foram feitas no módulo “Brincar com o frio” encontram-se descritas na secção “Experiências no Laboratório” com o título:

“O nitrogénio vai à bola”

De comer e chorar por mais[‡]

Ana Knittel^a, Cristina Gomes de Azevedo^b

Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^bCQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

O século XXI parece estar a trazer novidades no campo da gastronomia.

De facto, o termo «gastronomia molecular» aparece já com alguma frequência no nosso quotidiano. Embora o seu nome imponha respeito, é apenas a aplicação da ciência a métodos de cozinhar praticados, alguns quase desde o domínio do fogo pelo Homem, em diversas sociedades.

A Gastronomia Molecular é um ramo da ciência dos alimentos. O seu objectivo é estudar do ponto de vista científico o que acontece quando se cozinha e se saboreiam os alimentos.

Distingue-se das ciências alimentares tradicionais pois encara a nutrição como um todo, desde os ingredientes crus, a sua preparação e, finalmente, a sua degustação e a forma como são apreciados pelos clientes. É assim uma área de estudos interdisciplinar que envolve a física, a química, a biologia e a bioquímica, mas também a fisiologia, a psicologia e a sociologia.

Ultimamente a atitude perante a cozinha e a comida foi completamente alterada. Além dos aspectos nutricionais, muito importantes, são cada vez mais associados à alimentação aspectos artísticos. A alimentação deve ser saudável mas também dar prazer. Comer pode ser uma aventura para os sentidos: o cheiro, o aspecto, a textura, o sabor! Deste ponto de vista a contribuição da ciência é fundamental, já que perceber o que está a ocorrer durante a confecção permite otimizar e desenvolver estes aspectos.

A introdução de novas técnicas e novos ingredientes, permite obter pratos “mais bonitos” e saborosos, impossíveis de obter por outros métodos, levando à letra o ditado “comer com os olhos”.

O uso de azoto líquido na culinária é um exemplo “da parceria” entre a ciência e a cozinha da qual resulta arte!

O azoto líquido não pode ser considerado um ingrediente uma vez que não se come – quando o prato é comido todo o azoto já se evaporou (já se transformou em vapor). Deve-se considerar mais um meio,

[‡] Texto original publicado no Livro dos Laboratórios Abertos 2015 com o título “Química: de comer e chorar por mais”

uma técnica que permite a obtenção de melhores resultados, processos mais eficientes e mesmo produtos mais saborosos.

O azoto ou nitrogénio N_2 é um gás incolor e inodoro que faz parte da composição do ar que respiramos (cerca de 78% em volume), juntamente com o oxigénio O_2 (cerca de 20%) e outras substâncias gasosas como o dióxido de carbono, vapor de água, poluentes, etc.

O azoto líquido tem de ser transportado em recipientes de parede dupla onde se faz vácuo para melhor isolamento (Dewars, tamanhos vários). Estes recipientes podem ser metálicos ou em vidro de muito boa qualidade e resistente a grandes amplitudes térmicas.



Fig. 1 - Gelados

Os Dewars não podem ser herméticos nem abertos. Se são abertos perde-se azoto por evaporação. Se são fechados pode haver um grande aumento de pressão no interior (o azoto vai-se evaporando lentamente).

Todas as experiências devem ser feitas com cuidado, para evitar excessos, ou manipulação incorrecta, sendo de evitar o contacto com a pele, o qual pode provocar queimaduras graves. Assim devem usar-se luvas protetoras e óculos. A manipulação deve ser feita em local bem arejado, pois a saturação do ar com o azoto gasoso evaporado pode provocar a diminuição de oxigénio disponível.



Fig. 2 - Dewar para transporte e armazenamento de azoto líquido

A técnica de fabrico de gelados utilizando azoto líquido assenta em duas características do produto que funcionam em parceria. São elas:

- A baixa temperatura do azoto líquido.
- Libertação espontânea de vapores de Azoto

Devido ao azoto no estado líquido ter temperaturas muito baixas (-196°C), a sua eficiência para congelar um outro líquido é muito elevada. Desta forma gelar um preparado com azoto líquido é uma tarefa muito rápida, funciona como uma ultra-congelação (congelação rápida de alimentos). Assim, com a ajuda de uma agitação enérgica e da descida rápida da temperatura, os cristais de gelo que se formam vão ser de tamanho muito reduzido (não têm tempo de crescer), logo o gelado vai apresentar uma textura muito cremosa. Os gelados fabricados pelo processo de refrigeração convencional (porque o arrefecimento é lento) apresentam muitas vezes cristais de gelo de dimensões mais elevadas o que se torna desagradável. Como os cristais são de dimensões muito reduzidas os gelados feitos com azoto líquido são mais perfumados, pois as partículas aromáticas têm uma maior facilidade de se difundirem.

Em consequência da agitação enérgica o azoto líquido está incorporado no interior da mistura. Com a subida da temperatura formam-se espontaneamente vapores de azoto que vão contribuir para a formação da espuma e conferir-lhe uma textura mais vaporosa do que a obtida pelo método tradicional (quando só havia ar). Assim, são gelados mais fofos.



Fig. 3 - Adição do azoto líquido à mistura a solidificar



Fig. 4 - Mistura solidificada após adição de azoto líquido

Mas um gelado é um gelado o azoto não faz parte do gelado uma vez que se evapora muito rapidamente; para além de tudo é inodoro (não tem cheiro).

Desta forma podemos resumir as vantagens e desvantagens da utilização de azoto líquido na preparação de gelados da seguinte forma:

Vantagens

1. Rapidez de execução
2. A descida de temperatura é muito rápida, favorecendo a formação de “micro-cristais” de gelo, que fornecem uma textura muito cremosa ao produto final;
3. Ar incorporado por agitação, que confere ao gelado a sua consistência ligeira e suave, diminuindo a sensação de frio intenso na boca.
4. Azoto incorporado por evaporação e agitação, que confere ao gelado a sua consistência fofo e vaporosa

Os gelados são mais perfumados e os aromas são mais intensos, pois as partículas aromáticas são libertadas mais facilmente;

1. A velocidade de arrefecimento conseguido pelo azoto líquido, preserva a estrutura dos produtos que não perdem as suas características de origem
2. Os gelados são mais “frescos” no sentido de que são feitos no momento, não são conservados semanas em arcas, mantendo assim as suas qualidades e propriedades.
3. O azoto evapora-se. Não há efeitos secundários se o azoto utilizado for de origem alimentar.
4. Efeito artístico – pode ser preparado na presença do cliente, com um efeito altamente espectacular devido ao “fumo” que se liberta

Desvantagens:

1. Medidas de segurança adicionais face ao fabrico tradicional.
2. Dificil acessibilidade do azoto líquido.
3. Custo.
4. Restrição a profissionais.

Agora é só darem largas à vossa imaginação e prepararem um gelado com os vossos sabores favoritos! Ainda assim deixamo-vos uma sugestão de comer e chorar por mais: iogurte grego natural, leite condensado, smarties e pepitas de chocolate.

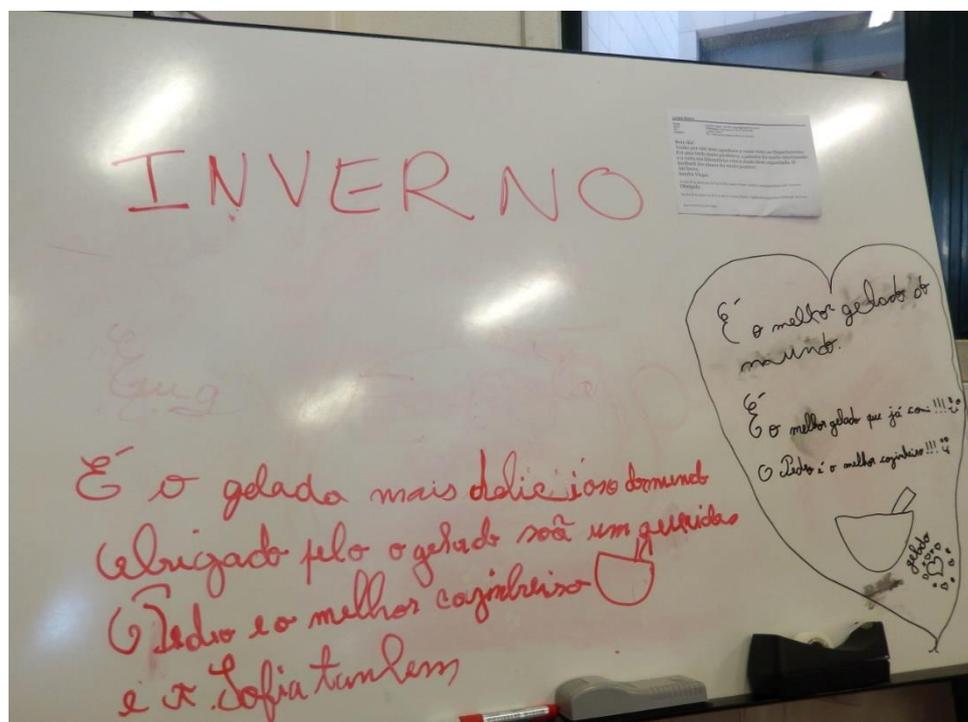


Fig. 5 - Opiniões de alunos do 1º ciclo após a visita aos Laboratórios Abertos Kids 2015

Bomba de ursinho[§]

Ana Knittel^a, Cristina Gomes de Azevedo^b; Marta Coelho^c

^aAluna do Mestrado Integrado em Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^bCQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^cDepartamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.



Fig. 6 - Ursinhos de gomas

As gomas que frequentemente comemos são na verdade uma mistura de gelatina, açúcar e vários corantes. Nós como químicos gostamos de dar nomes pomposos às substâncias, e como não poderia deixar de ser, açúcar pode ser também chamado de sacarose.

Será que conseguimos transformar um pequeno ursinho numa pequena bomba e formar uma grande coluna de luz? Se conseguirmos, como o fazemos e o que acontece? Bem sabemos que parece impossível, mas basta juntar a goma – fig.1 - a clorato de potássio!

A química é um pouco como a cozinha. Há certos ingredientes que mesmo que se juntem não lhes acontece nada, como a água e o azeite. Mas se juntarmos vinagre a por exemplo bicarbonato de sódio (usado por vezes nos bolos), dá-se uma reação química onde se liberta um gás formando muitas bolhas.

[§]Texto original publicado no Livro dos laboratórios Abertos 2015, com o título “Bombas de ursinhos”

Mas as reações químicas não acontecem só no laboratório ou na cozinha. O nosso dia está rodeado



Fig. 7 - Aquecimento do clorato de potássio com um bico de Bunsen.

delas. O ferro, por exemplo, passado algum tempo começa a ficar com “ferrugem”. Nesse caso diz-se que o ferro oxidou. Do mesmo modo, a maçã quando descascada há algum tempo, fica com uma tonalidade mais acastanhada, resultado de uma reação com o oxigênio que respiramos.

Com o clorato de potássio (que se parece com sal refinado) e o açúcar que está na goma também ocorre uma reação química que liberta muito calor e origina uma espectacular chama cor de rosa. Quando queremos comer um ovo, não o comemos cru. Temos de o colocar em água a ferver e passado uns minutos veem que está cozido, ou seja, esse aquecimento provocou alterações no ovo deixando-o com uma consistência diferente. Assim já o podemos comer.

Por vezes situações idênticas acontecem num laboratório de química. Na verdade o se só juntássemos o clorato de potássio com um ursinho podíamos... bem... esperar sentados!

Para que esta experiência resulte temos de transformar um pouco o clorato de potássio. Assim, usamos uma chama forte, até que este pó branco derreta e fique parecido com água. Este aquecimento não serve só para “derreter” o clorato de potássio, serve também para o transformar outro reagente parecido – fig. 2.

Agora já está tudo pronto para juntarmos o ursinho. Quando o açúcar que está nas gomas toca no “clorato de potássio líquido”, ocorre uma reação química que liberta muita energia, ou seja, muito calor! Muitas vezes que há libertação de energia/calor, vemos o aparecimento de uma chama – fig. 3.

Há chamas de muitas cores diferentes. Esta em particular é cor de rosa, sempre cor de rosa, independentemente da cor do ursinho! Isto acontece por “culpa” do potássio. Pois é, não é por acaso que estamos sempre a falar em clorato de potássio. Esta experiência já seria engraçada mesmo que a chama fosse amarela, como o fogo dos isqueiros, mas quando temos um pouco de potássio, este torna as chamas com uma luz rosa!

Um desafio: conseguem pensar noutra aplicação divertida para o potássio? Uma pista... pensem nos dias de festa como o ano novo...



Fig. 8 - Chama cor de rosa resultante da reação

Exato! Fogo de artifício! Na próxima passagem de ano, quando virem foguetes cor de rosa, não se esqueçam que é culpa do potássio!



Fig. 9 - Fogo de artifício cor-de-rosa

**Esperamos que tenham aprendido, tenham gostado e
também se tenham divertido!**

Até para o ano!

Cristais Químicos em 3D e Exposição

Clementina Teixeira, Erik Ceschini Panighel Benedicto, Gonçalo Santos

CQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

1. Cristais químicos: definição, classificação e preparação laboratorial

“Cristais são minerais dotados de energias. Eles possuem um campo atómico e emitem um tipo de energia subtil inesgotável, usada para auxiliar na cura de doenças físicas e mentais.” Definição encontrada na WEB [1,2].

Definições de cristais deste tipo são frequentemente encontradas na Internet, redes sociais e blogs [2], bem como em livros associados ao colecionismo de minerais, revelando um enorme problema: a falta de conhecimento científico, aliada ao esoterismo e comércio de minerais que espalham boas energias e contribuem para a cura de doenças, fortalecendo um estado *Zen!* Não seria de admirar que uma criança aparecesse com estas palavras num trabalho escolar, uma vez que lhe faltam a instrução e os conhecimentos de Ciência, mas infelizmente cada vez mais existem jovens e adultos que alegremente partilham, nas redes sociais e no comércio de minerais, definições deste tipo, insistindo em explorar estas pseudo-ondas benéficas cristalinas em proveito próprio, graças à falta de literacia ligada ao tema. É também comum que se associem à palavra “cristal” a beleza, a transparência de artigos de luxo, a par das crescentes inovações tecnológicas e tudo no mesmo saco! (copos de “cristal”, jóias, artigos de bijuteria, monitores, televisores). Tais designações, mesmo que algumas delas estejam corretas, acabam por contribuir ainda mais para a confusão que se gera em torno deste conceito. Mas é verdade que os cristais nos rodeiam por todo o lado. São parte integrante da nossa vida do dia a dia, desde o momento em que temperamos uma salada com sal (NaCl ou até KCl!), bebemos um café com açúcar (ou adoçante!), tomámos um fármaco para a dor de cabeça e nos sentamos a ver televisão ou à frente do computador com ecrã de cristais líquidos. Os cristais podem ser de uso clássico e ancestral, como é o caso dos minerais, mas também estão associados ao desenvolvimento tecnológico de crescimento exponencial que disparou no Século XXI. Assim sendo, para a iniciação no Mundo dos cristais, recomenda-se uma definição muito simples, talvez com muitas excepções à regra, mas que a preto e branco e *by-passando* o cinzento da evolução tecnológica, mais difícil de compreender, permite dar os primeiros passos nesse mundo fascinante:

Um cristal é um sólido que pode ser constituído por iões, moléculas ou átomos, os quais estão organizados num padrão bem definido, designado por cela unitária, a qual se repete no espaço

anédricos) sendo que a mais generalizada e difundida é pelo sistema de cristalização [3], Figura 1. Existem sete células unitárias (a menor unidade repetitiva que reproduz a estrutura de um cristal) e, conseqüentemente, sete sistemas de cristalização no espaço tridimensional: cúbico, tetragonal, ortorrômbico, hexagonal, trigonal, monoclinico e triclinico. Apesar de estarem incluídas no ensino da Geologia, ao nível do secundário, estas matérias deixaram de ser lecionadas em Físico-Química e também estão ausentes em muitos cursos do ensino superior. As redes cristalinas descritas por estes sistemas podem ser primitivas (apenas um átomo por célula unitária) ou não primitivas (mais de um átomo por célula unitária) o que resulta em 14 tipos de redes, designadas por redes de Bravais, em homenagem a Auguste Bravais que propôs o sistema de classificação em 1850.

As classificações dos cristais foram abordadas num artigo de 2000, “Os Cristais no Ensino e Divulgação da Química”[3] que ainda se mantém actual e no qual se descreve o crescimento cristalino por nucleação heterogénea, induzida por suportes rugosos, o método dos cristais “On the Rocks”, imitações dos minerais na Natureza. Alguns exemplares podem ser observados nas Figuras 2-5, e estão disponíveis para visitas de escolas, integradas nas ações de *outreach* do CQE/DEQ, e dos Geomuseus do IST. A maior parte dos cristais “On the Rocks desta coleção são sais inorgânicos, mas também foi feita a cristalização de alguns compostos orgânicos sem suporte, em cristalizador e placas de Petri, como é o caso da glicina, do salicilato de fenilo, ureia, tioureia, ácido tartárico, sal de Rochelle, tartarato de sódio e potássio tetrahidratado, etc..

Os minerais que constituem as rochas são sólidos inorgânicos quase sempre cristalinos, com uma composição química e propriedades físicas bem definidas, dentro de certos limites, formados na Natureza sem a intervenção do Homem. Esta é de novo uma definição a preto e branco, com muitas excepções vindas do cinzento, e também da generalização do termo “mineral” na linguagem corrente: existem minerais que não são cristais (opala, vidro vulcânico); a maior partes dos cristais minerais não são puros, apesar de lhes ser atribuída uma fórmula química e podem conter inclusões de natureza diversa, com outra composição química, na sua estrutura e até insectos! ; existem substâncias minerais líquidas e orgânicas (petróleo!!!); apesar de serem essencialmente inorgânicos, muitos minerais misturam-se nas rochas com outras substâncias de origem biogénica tais como conchas, fósseis, restos de ossos, etc., com componentes orgânicas ligadas aos seres vivos; também podem misturar-se com substâncias que resultam da actividade do Homem e que são, por isso, artificiais. Nas praias com areias de vidro poderão aparecer rochas sedimentares, calhaus rolados, que terão componentes artificiais. Fragmentos de tijolo também são comuns nas praias, formando calhaus rolados.



Figura 2 – Módulo expositivo de redes cristalinas rigorosas (Beever's Miniature Models, projetos Ciência Viva do Centro de Química Estrutural/CQE, Rede Cristalina) e cristais químicos “On the Rocks”. Alguns destes modelos e cristais químicos foram emprestados ao Museu Alfredo Bensaúde do IST e são vistos pelos alunos de inúmeras escolas, outros estão numa vitrine do CQE à entrada do Complexo Interdisciplinar. A fotografia foi tirada durante os Laboratórios Abertos do DEQ em 2019. As redes são de sulfato de cobre pentahidratado, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, alúmen de potássio, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, sulfato de cobre e amónio hexahidratado, $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, ferricianeto de potássio, $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, cloreto de sódio, NaCl e enxofre ortorrômbico S_8 .

Muito haveria a dizer sobre a distinção entre o que é um cristal químico e um cristal mineral, mas isso implicaria conceitos de geologia que transcendem os objetivos desta publicação, e com toda a certeza acesas discussões entre pessoas que pertencem a áreas científicas diferentes, Química e Geologia e deveriam trabalhar juntas com mais frequência.



Figura 3 – Módulo expositivo de redes cristalinas rigorosas (Beevers Miniature Models, projetos Ciência Viva do Centro de Química Estrutural CQE, Rede Cristalina) e cristais químicos “On the Rocks”. Em destaque, a rede cristalina Beevers do Enxofre, S_8 , sistema ortorrômbico. A fotografia foi tirada durante os Laboratórios Abertos do DEQ em 2019. A empresa que vende os modelos das redes cristalinas designa-se atualmente por Miramodus Molecular Models®.

Algumas substâncias cristalinas, os cristais químicos de cultura, as gemas sintéticas (diamantes, moissanites de SiC , zircónias, rubis, etc.) podem imitar os minerais. Tal é o caso dos zircónias, constituídos por óxido de Zircónio, ZrO_2 , muitas vezes utilizados em ourivesaria para substituir o diamante (transparência, brilho e lapidação semelhantes às dos diamantes, sistema cúbico, Figura 6), e em próteses ósseas e dentais (microcristalinos, opacos, brancos, com aspeto de cerâmica, imitações de dentes para implantes e próteses fixas). A literatura sobre as zircónias é muito confusa, pois sistematicamente se confundem os compostos de zircónio com o próprio elemento e os nomes em Português do Brasil ainda vêm ajudar mais à confusão. Para baralhar ainda mais, existe o mineral zircão, $ZrSiO_4$, que também se vem juntar à festa, cheinho de boa onda, provavelmente porque pode ter inclusões de minerais radioactivos (!!!!!):

Durante o Ano Internacional da Tabela Periódica 2019 (IYPT2019) foi adoptada uma tabela dirigida às crianças, da autoria de Keith Enevoldsen [5], com ilustrações e as utilizações dos Elementos. A ficha do Zircónio foi uma das que se construíram dentro dessa temática.



Figura 4 – Equipamentos didáticos financiados por projetos Ciência Viva do CQE, Rede Cristalina: redes cristalinas rigorosas Beevers Miniature Models, cristais químicos “On the Rocks” e composições gráficas de fotos de cristais químicos vistos à lupa estereoscópica. A fotografia foi tirada durante a Semana da Ciência e da Tecnologia 2019, na altura em que a vitrine estava a ser preparada para as visitas. As redes foram utilizadas para a encenação da entrevista de Nuno Maulide no programa Admirável Mundo Novo, da SIC Notícias, no final de 2019, graças à intervenção de Joana Lobo Antunes, Diretora de Comunicação do IST, que as viu nesta mesma vitrine. A rede do sal de Rochelle, $\text{KNa}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, a primeira do lado esquerdo, em baixo, foi destacada nesta entrevista. Muitas vezes não é apenas o número de pessoas que vêm a estas iniciativas, mas também e muito, as pessoas que têm acesso aos materiais apresentados nessas acções.

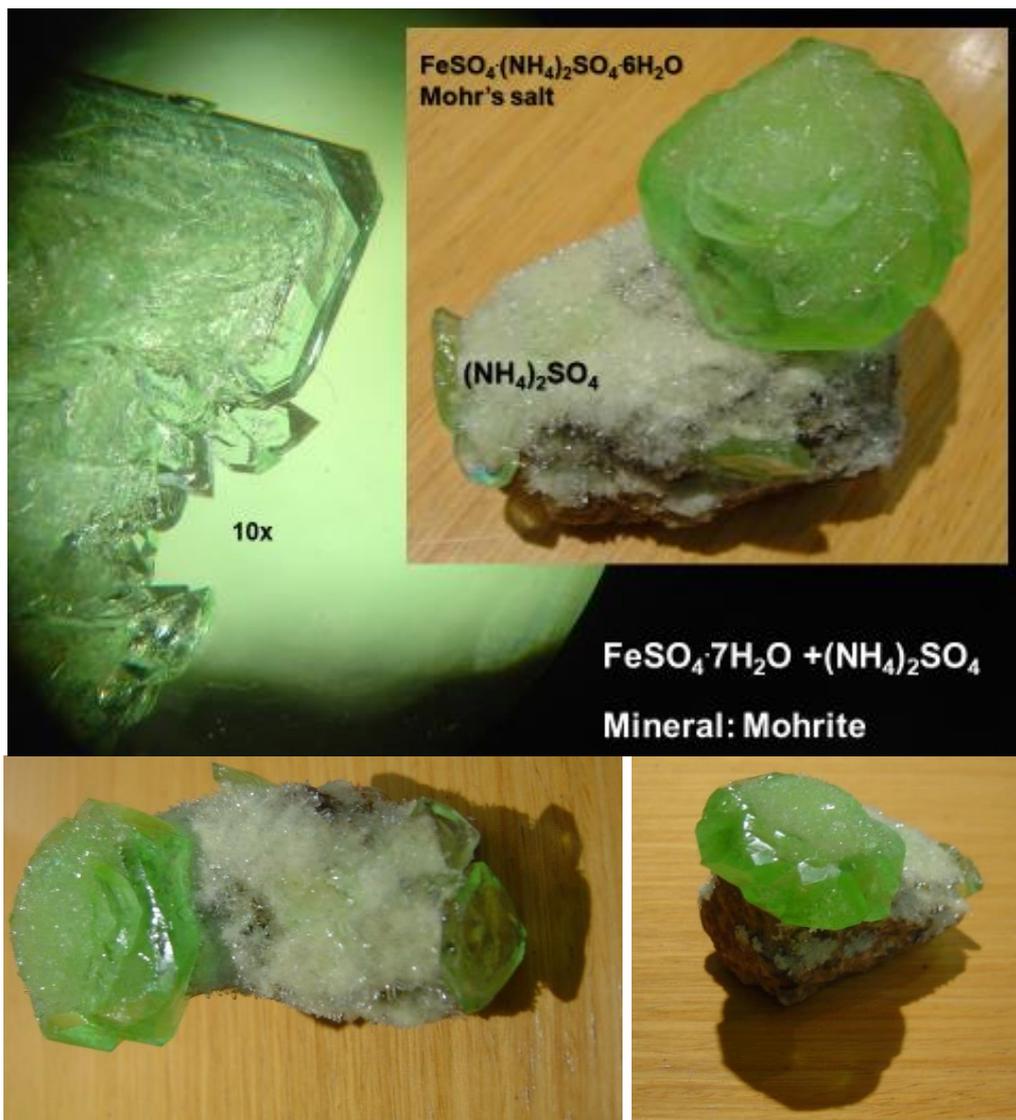
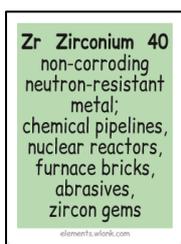
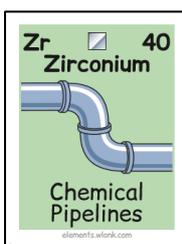


Figura 5 – Os cristais de sal de Mohr, da família dos sais de Tutton, podem crescer numa rocha ou concha pelo método “on the Rocks”. Na imagem [7] o sal duplo foi obtido por reação de combinação dos dois sais simples, embora não nas proporções estequiométricas. Por isso mesmo a amostra de cristais químicos apresenta duas fases, além da rocha: o sal duplo de cor verde e o sulfato de amônio de cor branca, em excesso. À esquerda, na imagem de cima, o resultado da observação tridimensional dos cristais à lupa estereoscópica. O sal de Mohr é utilizado em titulações como redutor, com oxidação do Ferro (II) a Fe (III). Mais ensaios em colaboração com escolas, podem ser vistos na rede social FB. Antiga nomenclatura, $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.



A Tabela Periódica de Keith Enevoldsen foi utilizada para criar fichas de vários elementos, como se mostra nesta montagem de fotos. O zircónio cúbico é substituído do diamante em ourivesaria. elements.wlonk.com. Existe uma versão em Português do Brasil, que teve também muito êxito e que será explorada mais tarde, para alguns elementos, para evitar confusões de nomenclatura[5].

Figura 6 – A observação tridimensional de joias à lupa estereoscópica é clássica em ourivesaria e em laboratórios de gemologia para a caracterização, classificação e avaliação de gemas, minerais com valor comercial. As zircónias deste anel de ouro com quartzo citrino foram fotografadas com uma ampliação de 10x, na Exposição Artesãos do Século XXI (Ourives do Século XXI). As fotomicrografias foram utilizadas para construir padrões decorativos (ref 5, pg 18, Figura 15).

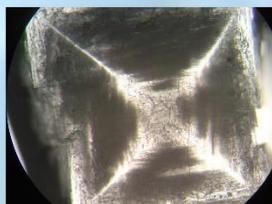
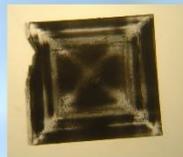
O microscópio descobre o sal...

Sal I

O sal, cloreto de sódio, está profundamente enraizado na nossa cultura, essencialmente devido à nossa situação geográfica. É um recurso importante na nossa economia e, recentemente, foram descobertos alguns nichos de mercado para a sua comercialização, tal como é o caso da flor de sal na gastronomia gourmet e a sua utilização na cosmética (sais de banho, cremes hidratantes, etc.). Purificar o sal é uma técnica simples de cristalização muito motivadora e pedagógica. O microscópio foi usado para observar os seus cristais e descobriu-se que eles podem aparecer com algumas formas bem estranhas e diferentes da sua forma comum no sal de cozinha. Para cristalizar o sal, dissolve-se 15 g em 45 mL de água quente, deita-se para um recipiente largo e baixo (cristalizador) e deixa-se evaporar em repouso. Obtêm-se lindos cristais tabulares com uma cruz formada pela retenção de água no seu interior. Estes cristais são designados por malteses.



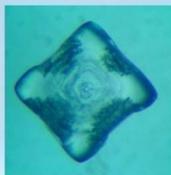
Fotomicrografias sal 1, 2 - Cristais de sal malteses, 10x.



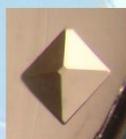
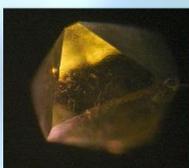
Fotomicrografia sal 3 - Outro cristal de sal, maltês, ampliado 63x.

Foto sal 4, à direita - Observando cristais tabulares de sal, em solução corada com azul de bromotimol, Agrupamento de Escolas Ribeiro Sanches, alunos do 5º ano.

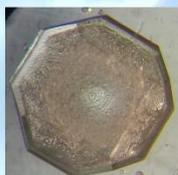
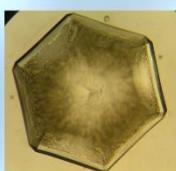
Fotomicrografias sal 5,6 - Cristais de sal em azul de bromotimol, em baixo, à esquerda e ao centro, 10x.



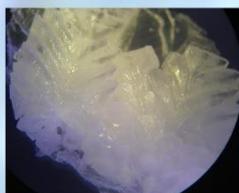
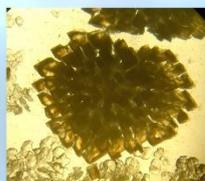
Fotomicrografia sal 7, à direita - Cristal de sal formando um cubo sem um vértice, 63x. Cristais aciculares de azul de metileno na mesma imagem. Este corante foi utilizado numa vã tentativa de colorir os cristais, inserindo o corante na rede cristalina.



Fotomicrografias sal 8,9 - Cristais de sal octaédricos, obtidos com adição de pequenas quantidades de formamida, 63x. Diz-se que a formamida actua como modificador do hábito cristalino. Fotomicrografia 10, à direita, cristal de sal modificado com formamida, 63x



Fotomicrografias sal 11,12 - Cristais de sal modificados com formamida, 63x. Os cristais das fotomicrografias 9-12 foram obtidos na mesma cultura e, resultam, provavelmente, de poliedros compostos tal como é o caso do cubo truncado com o octaedro, etc.



Fotomicrografias sal 13,14,15 - Sal dendrítico obtido por adição de pequenas quantidades de ferricianeto de potássio, ampliação de 10x. As dendrites aglomeram-se formando tufos girríssimos.



Fotomicrografias sal 16,10x e 17,63x - Sal em fio obtido por adição de pequenas quantidades de álcool polivinílico. Este álcool é o constituinte de algumas colas transparentes para papel.

O microscópio não tem medo da hipertensão e gosta dos salgadinhos!



Figura 7 – Artesãos do Século XXI [8,9]. Estudo do cloreto de sódio à lupa estereoscópica. É vulgar incluir-se a lupa estereoscópica na designação geral de aparelhos de microscopia, o que será discutido noutra secção. O cloreto de sódio apresenta hábitos cristalinos diferentes, respondendo a aditivos que são introduzidos nas soluções, modificadores de hábito.

de soluções sobressaturadas ou, ainda, por processos de fusão/solidificação. Tal é o caso do cloreto de sódio, NaCl, preparado a partir de soluções aquosas, Figuras 7-11, que tanto pode ser mineral (sal gema, sal das salinas) como cristal químico, o mesmo se passando com os polimorfos do enxofre, S₈, enxofre monoclinico e enxofre ortorrômbico. O primeiro, facilmente encontrado em fumarolas como as que se encontram nas Furnas, S. Miguel dos Açores, pode ser obtido por fusão/solidificação em laboratório, enquanto que o segundo pode ser recristalizado utilizando como solventes o tolueno ou o dissulfureto de carbono, o que tem contra-indicações em termos de segurança, mas continua a ser utilizado como demonstração dos métodos de cristalização [3]. Outros exemplos de cristais químicos solúveis em água que também aparecem na Natureza como minerais são o alúmen de potássio (pedra de alúmen, pedra-ume), o sulfato de cobre pentahidratado ([mineral calcantite](#)), o sulfato duplo de magnésio e potássio hexahidratado (mineral picromerite [7]), o sulfato duplo de Ferro (2+) e amônio hexahidratado, sal de Mohr (mineral Mohrite) Figura 5, etc.



Figura 8 –Observação à lupa estereoscópica de cristais “On the Rocks” de NaCl em rocha vulcânica, 10x , solução de 15g de NaCl em 45 g de água. Método de sementeira, difícil de cristalizar [9]. Os cristais neste caso são cúbicos (utilizou-se um copo de precipitação de forma alta para o crescimento). No caso do NaCl não se verifica aumento da velocidade de crescimento em presença da rocha, o que parece ser mais vulgar acontecer com sais hidratados [10].

Em relação às espécies que constituem os cristais e ao(s) tipo(s) de ligação química que eles apresentam poderemos ter:

- **Cristais iônicos (anidros):** NaCl (Figuras 7-11), NaNO₃ (Figura 12), K₂SO₄ (Figura 13), CaF₂ (Figura 14), (NH₄)H₂PO₄ (Figura 15), KH₂PO₄, (NH₄)₂SO₄, (NH₄)Cl (Figura 16), etc.
- **Cristais iônicos (hidratados):** CuSO₄·5H₂O (Figura 17), NiSO₄·6H₂O, NiSO₄·7H₂O (elevada toxicidade), MgSO₄·7H₂O, Na(CH₃COO)·3H₂O, tartarato de sódio e potássio tetra hidratado, sal de Rochelle, KNaC₄H₄O₆·4H₂O, Figura 18.
- **Cristais covalentes de elementos:** Carbono (grafite, diamante), silício, estanho (alótropo α).
- **Compostos que formam cristais moleculares:** H₂O, CO₂ (gelo seco), enxofre S₈ (polimorfos monoclinico e ortorrômbico), ureia, tiourea (Figuras 19-21), glicina (Figuras 22-26), etc. [3, 5].
- **Cristais metálicos:** Cu, Ag, Au (Figura 27), Li, Pt, Fe, Pb, Al, Sn (alótropo β), Zn. É muito comum e interessante a observação da formação de dendrites – árvores metálicas – à lupa estereoscópica (Figura 28) [5-7], exigindo em muitos casos manipulação cuidadosa dos reagentes: formação de Ag a partir de Hg(I) e nitrato de prata, soluções ácidas de estanho (II), soluções contendo chumbo, acetato ou nitrato, etc. Nestes casos os ensaios devem ter uma apertada vigilância na manipulação dos reagentes, pelo que não serão incluídos neste capítulo. Dendrites de Ag, Cu, Pb e Sn foram previamente reportadas no bloco ligado à prata, na exposição Artesãos do Século XXI e noutros trabalhos [5,8].

Esta classificação é muito importante para racionalizar as propriedades físicas e químicas das substâncias. Através dos estudos das redes cristalinas rigorosas anteriormente citadas, podemos também observar e entender melhor os vários tipos de ligação química que podem coexistir num cristal como, por exemplo, no caso do alúmen de potássio KAl(SO₄)₂·12H₂O em que iremos ter ligações covalentes formando os iões complexos octaédricos [Al(H₂O)₆]³⁺, ligações iônicas entre o ião complexo e o ião K⁺, e pontes de hidrogénio que mantêm a estrutura (vide, ref. 3, pg.27). A classificação final é feita segundo o tipo de ligação mais forte, nos casos em que coexistem várias. Neste artigo encontrará também este tipo de discussão para a glicina e para o dihidrogenofosfato de amónio. Seguem-se algumas fotomicrografias dos cristais acima mencionados, que serão posteriormente observados à lupa estereoscópica neste bloco 3D.

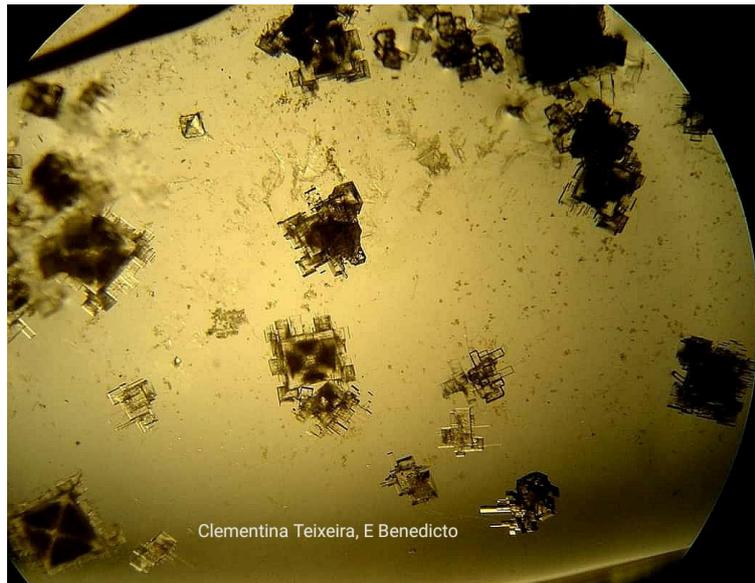


Figura 9 – Observação à lupa estereoscópica, 10x, de cristais tabulares de NaCl com defeitos cristalinos por oclusão das águas-mãe no cristal, cristais malteses, exibindo a cruz de Pátea. Transição para a formação de cristais aciculares, em presença de pequenas quantidades do polímero, álcool polivinílico. O crescimento faz-se entre as compridas cadeias poliméricas, o que obriga o composto a assumir o hábito acicular [9].



Figura 10 – Observação à lupa estereoscópica de cristais de NaCl, transição para a formação de cristais aciculares, em presença de pequenas quantidades do polímero, álcool polivinílico. O crescimento faz-se entre as cadeias poliméricas o que obriga o composto a assumir o hábito acicular. [9].

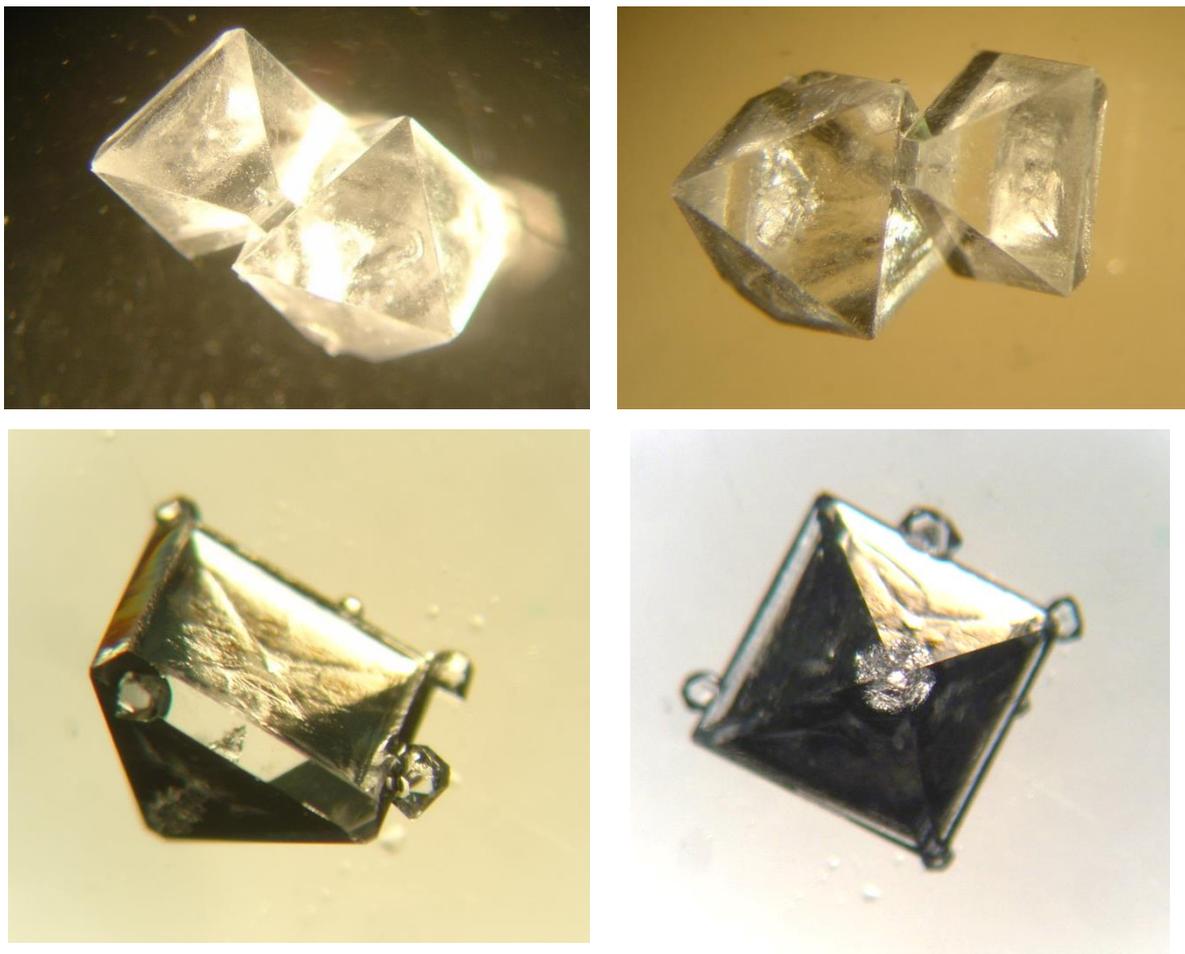


Figura 11 – Observação à lupa estereoscópica, 20x, de cristais de cloreto de sódio de hábito octaédrico, modificados com formamida. São muito mais brilhantes do que os cristais cúbicos e os tabulares. Mas também podem reter solvente e ficarem translúcidos. Têm sido obtidos destes dois tipos [9].

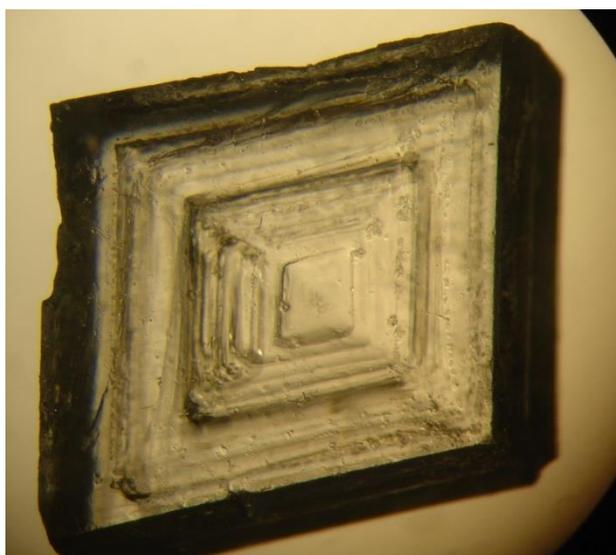


Figura 12 – Observação à lupa estereoscópica de cristais de nitrato de sódio, NaNO_3 , 10x [3]. Sistema trigonal.

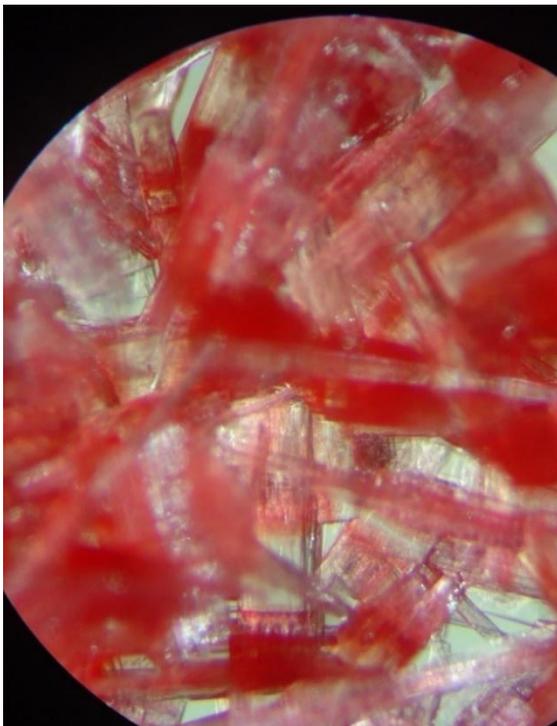
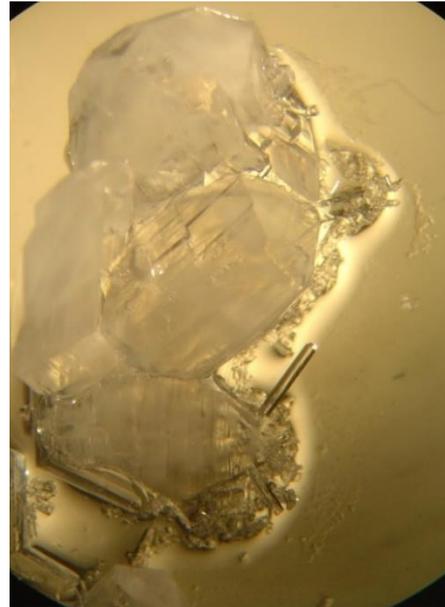
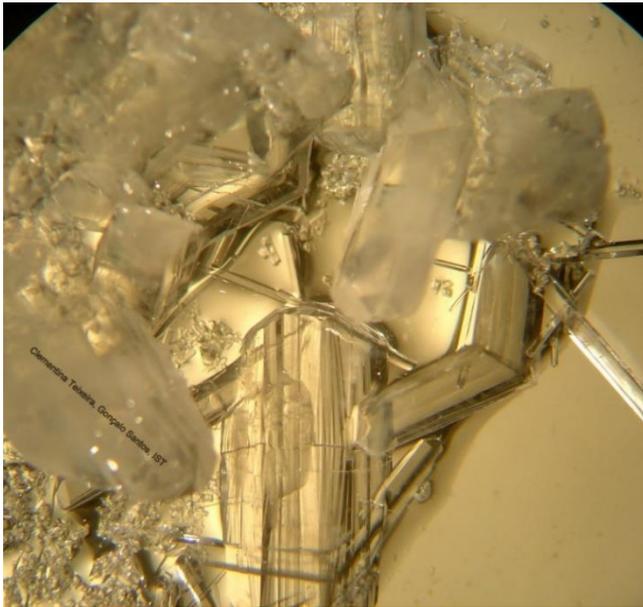


Figura 13 – Observação à lupa estereoscópica de cristais de sulfato de potássio puro, K_2SO_4 , 10x (em cima, esta amostra recebeu a alcunha de “caracol”, vide imagem à direita, rodando). Em baixo, a mesma substância com corante alimentar vermelho, Ponceau 4R, 63x. O corante não se distribui uniformemente pela amostra, formando figuras coloridas que parecem *ampulhetas*. Esta experiência não foi bem-sucedida no sentido de se poder verificar esse defeito cristalino.

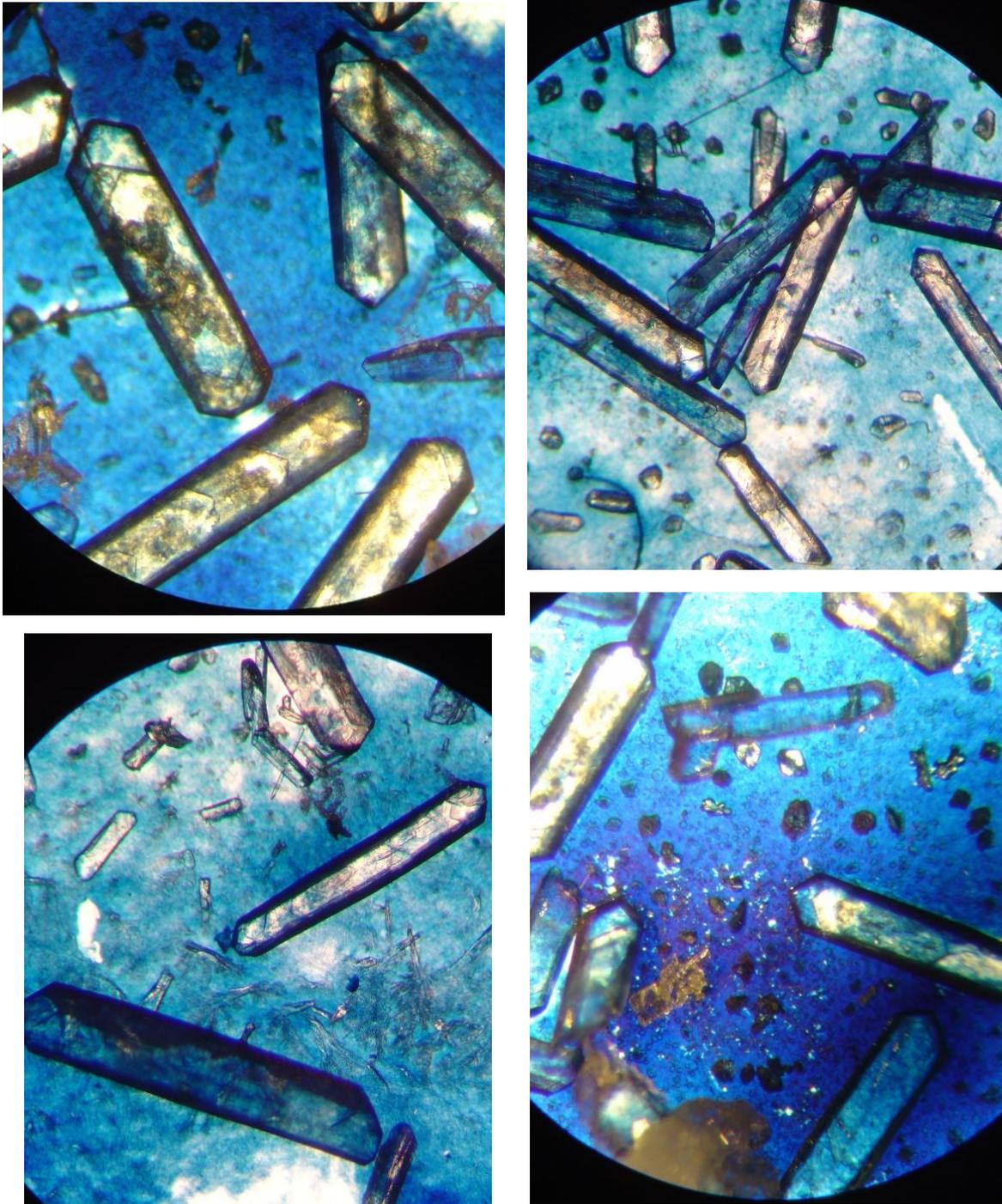


Figura 14 – Cristais de fluoreto de cálcio, CaF_2 , formados por reação química de hidróxido de cálcio com algumas gotas de removedor de ferrugem à base de ácido fluorídrico a 0,5% (reagente de venda livre em drogarias, hipermercados). Adicionaram-se algumas gotas de corante azul de metileno. Reação feita à lupa estereoscópica, 20x. Uma fotomicrografia desta série foi utilizada para gerar um desenho de uma hélice de quatro pás no projeto de Ciência e Arte “Windmills of Chemistry” apresentado no III Encontro Internacional da Casa das Ciências. Colaboração a título póstumo com o pintor holandês Poen de Wijs [11, 12].



Clementina Teixeira, Vânia André, Exposição "Pedras que Brilham", Fundação Eugénio de Almeida, 2002. $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$, corante tartrazina.

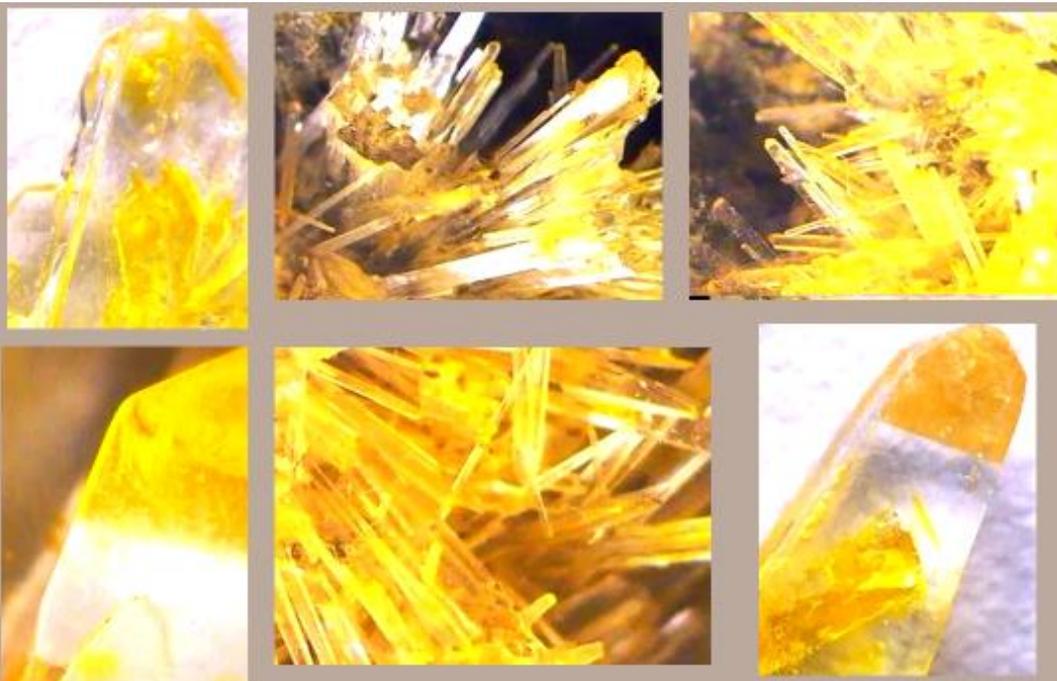


Figura 15 – Dihidrogenofosfato de amónio, ADP (ammonium dihydrogen phosphate), $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$, sistema tetragonal. Em cima: cristais "On the Rocks", hábito prisma+pirâmide. Lupa estereoscópica, 10x. Preparado por CT. Em baixo: ADP com corante alimentar amarelo, tartrazina, observação à lupa estereoscópica de cristais "on the Rocks", oclusão do corante nos cristais. (CT, Vânia André, M.J.Rodrigues) [3, 13-15].

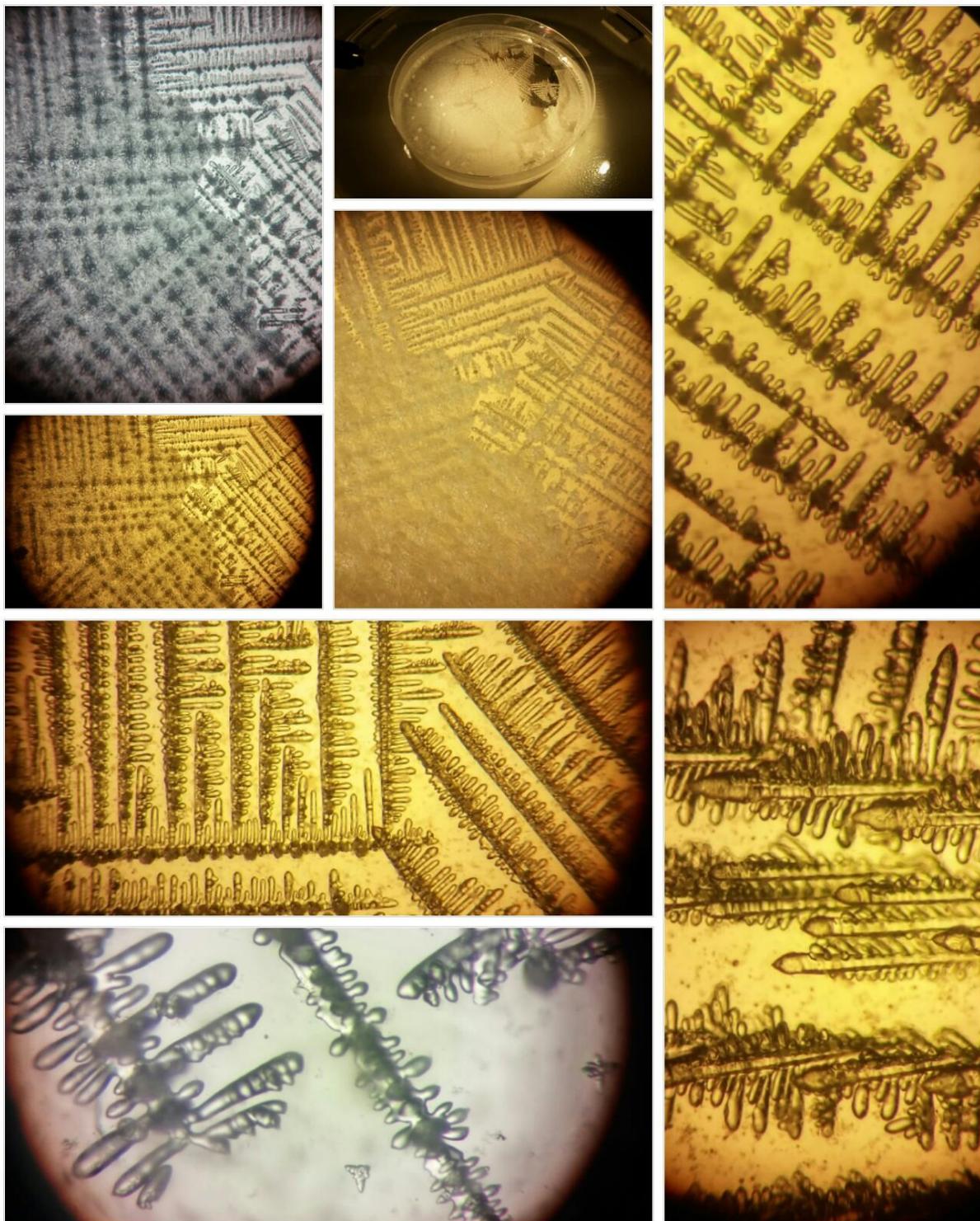


Figura 16 – Estudo da cristalização do cloreto de amônio (NH_4Cl), à lupa estereoscópica em placa de Petri. Cristais obtidos por evaporação isotérmica, várias ampliações. O cloreto de amônio pode apresentar-se em pacotes de frio instantâneo misturado com ureia e água (em bolsa separada). Quando se misturam os sólidos e o líquido, ao rebentar a bolsa, a temperatura baixa, pois a dissolução é fortemente endotérmica.

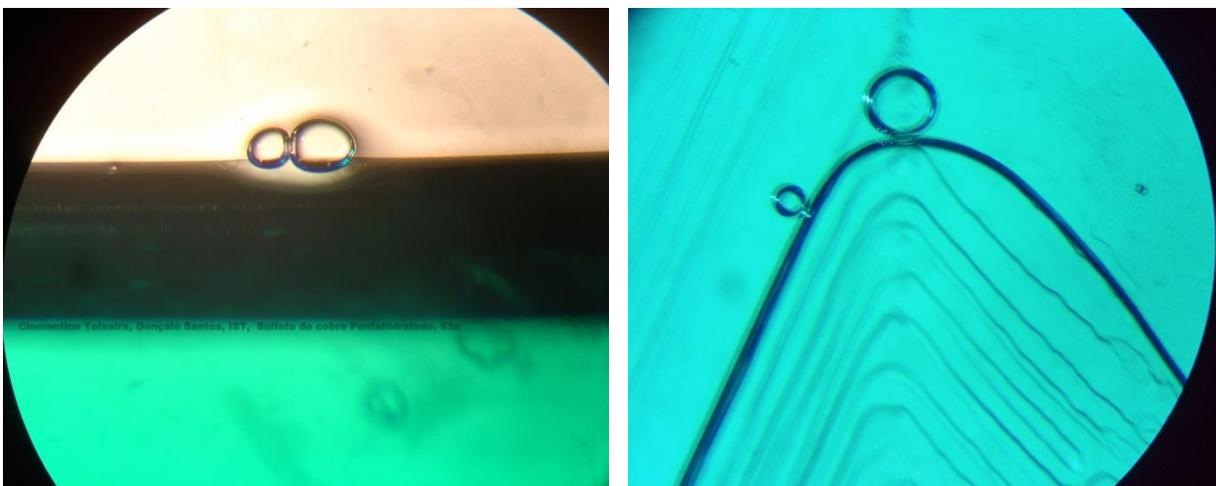
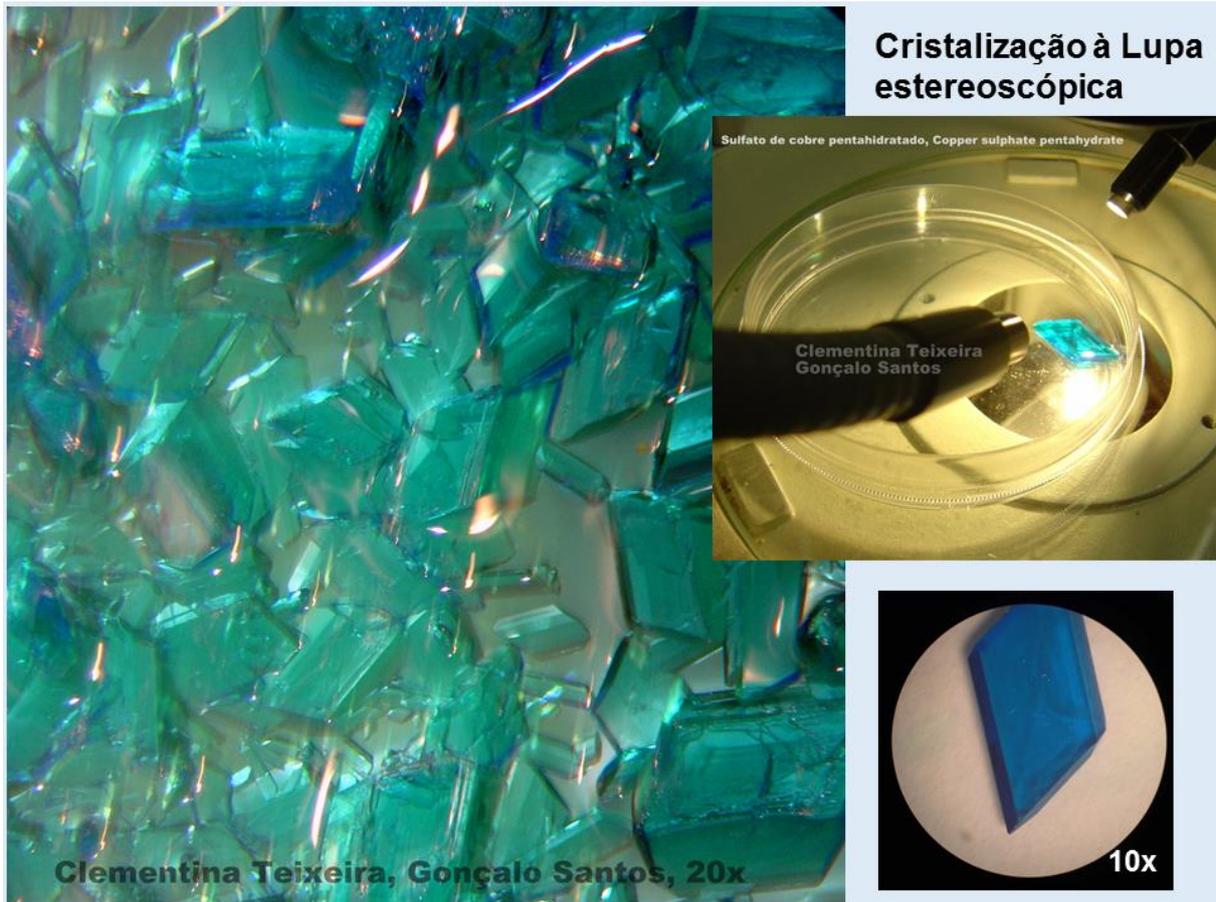
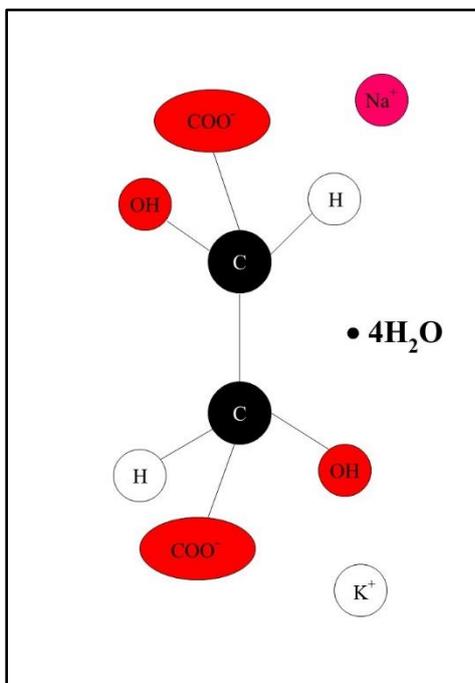
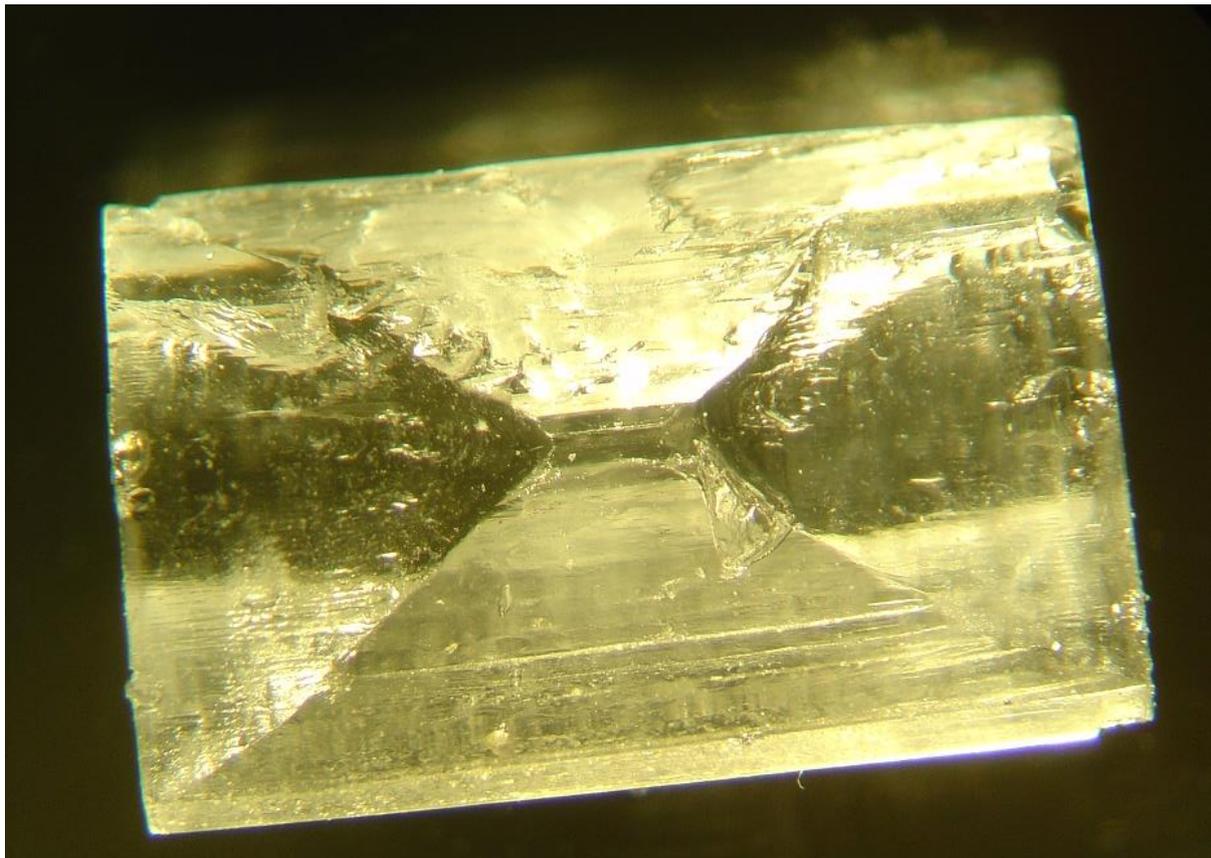


Figura 17 – Estudo da cristalização do sulfato de cobre pentahidratado à lupa estereoscópica em placa de Petri.

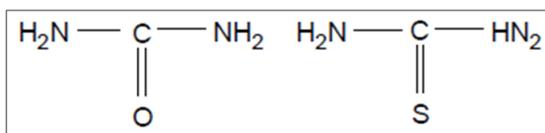
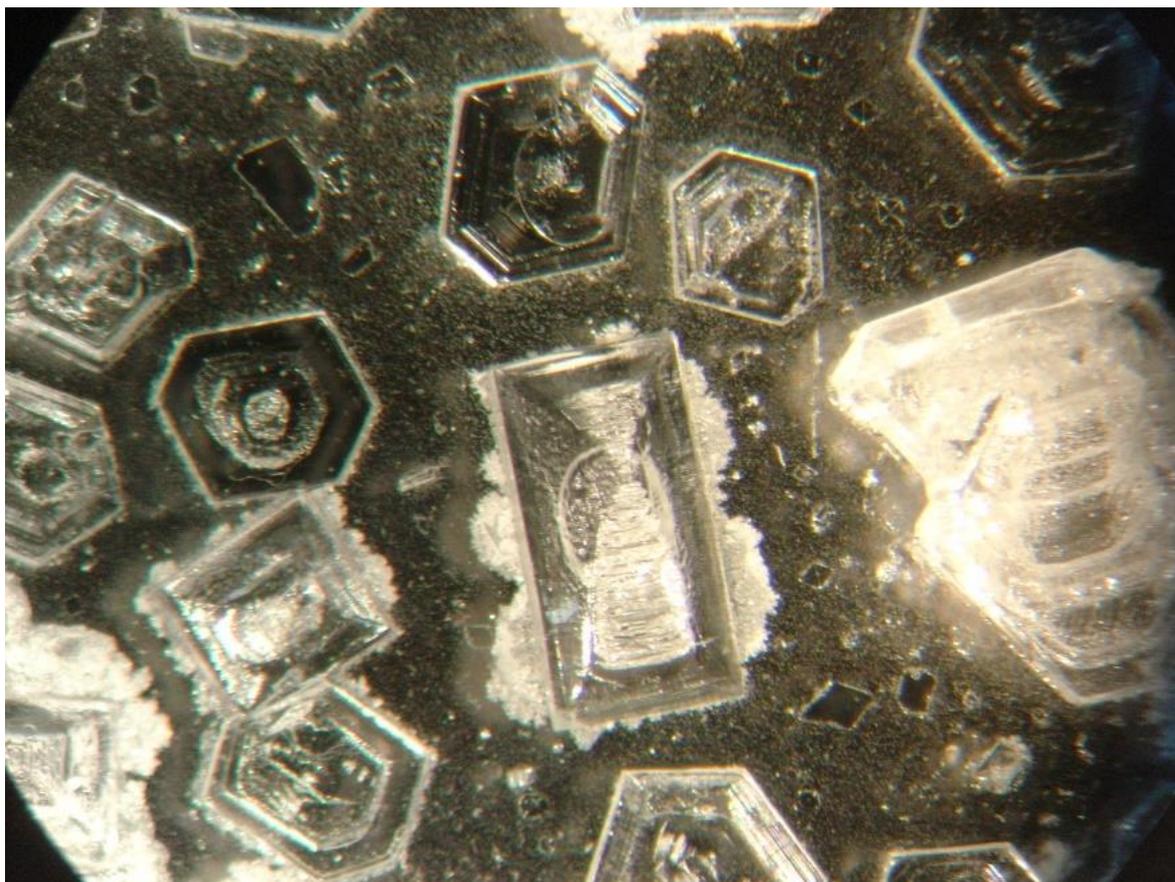
Cristais obtidos por evaporação isotérmica. Sistema triclinico. Em solução aquosa diluída e em lâminas de cristais tabulares muito finas a cor deste composto é esverdeada. Nas fotomicrografias em baixo, 63x, veem-se detalhes/defeitos dos cristais tabulares, tais como sombras de crescimento, bolhas de líquido retido nos cristais (solvente). A cor que se observa nas fotomicrografias é muito influenciada pelo tipo de luz que se utiliza. O tom verde pode ficar acentuado se a iluminação for de lâmpada de incandescência. É preferível utilizar luz fria, com um iluminador de fibras ópticas.



Cristais piezoelétricos, utilizados em óptica não linear. Ligados às pesquisas de Pierre Curie e de Louis Pasteur e à história da isomeria óptica (4 cm de altura).

Figura 18 – Tartarato de sódio e potássio tetrahidratado, $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 10x, sal duplo, iônico, sistema ortorrômbico [3]. Preparação de M.J. Rodrigues e CT. Os cristais deste sal crescem imenso em cascas de ostras e há referências que apontam para um aumento da velocidade de crescimento de cristais por nucleação heterogênea, utilizando o exoesqueleto de ouriços do mar. Também utilizamos conchas para o crescimento

para demonstrar que são cristais químicos e não minerais. Além disso a geometria das conchas é mais reprodutível de ensaio para ensaio do que no caso dos minerais e rochas. Obtém-se assim maior reprodutibilidade em relação às irregularidades de superfície onde se abrigam os núcleos em crescimento. A rede cristalina Bevers deste sal fez um sucesso tremendo na encenação da entrevista de Nuno Maulide no Jornal SiC Notícias, programa Admirável Mundo Novo. Um agradecimento à Joana Lobo Antunes, que orientou as filmagens e descobriu a rede na vitrina do Complexo Interdisciplinar IST (equipamentos didáticos desenvolvidos no âmbito de projetos do Centro de Química Estrutural [16]).



Fórmulas estruturais da ureia e da tioureia (o oxigénio da ureia é aqui substituído por enxofre. A tioureia faz parte da composição de limpa-pratas comerciais [1,8]).

Figura 19 – Cristais moleculares de tioureia observados à lupa estereoscópica, com diferentes hábitos cristalinos, 20x. Ao centro aparece um cristal com oclusão de solvente, formando um defeito cristalino, “hourglass”, em forma de ampulheta. As micropaisagens observadas com limpa-pratas comerciais contendo este composto apresentam lindíssimos cristais “hourglass”, Figura 20 e seguintes. A ureia também cristaliza de forma aparatososa, mas forma cristais completamente diferentes, lindas agulhas.

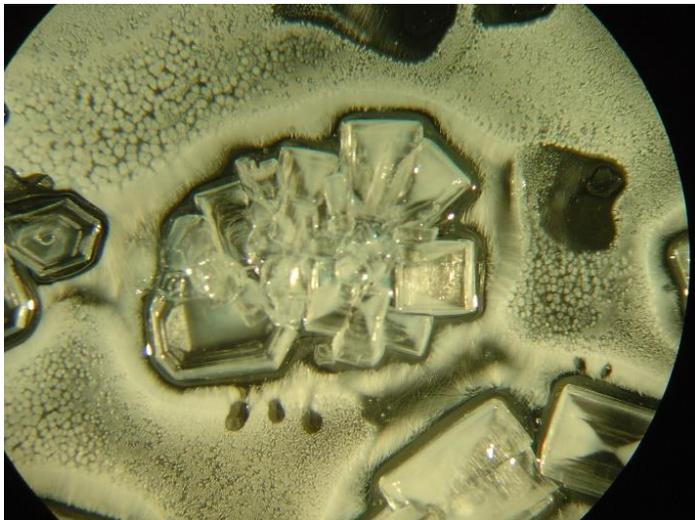
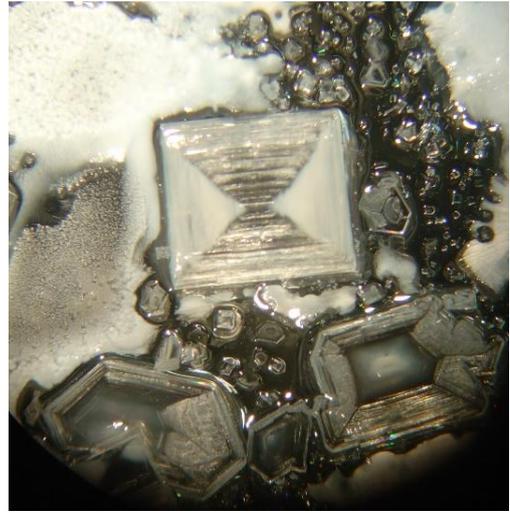
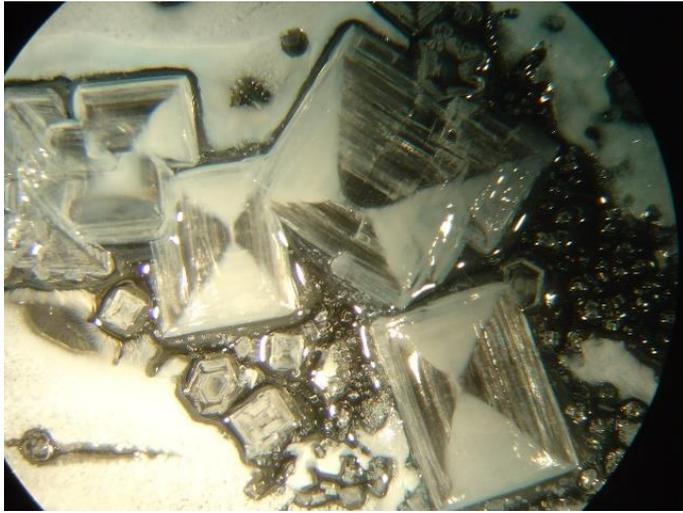


Figura 20 – A tioureia, composto orgânico semelhante à ureia, com o átomo de carbono substituído por enxofre, é um dos ingredientes dos preparados comerciais de limpeza de objectos de prata por imersão. A cristalização isotérmica em placa de Petri (em baixo, à direita, sem ampliação) permite produzir cristais de diversos tipos, alguns com oclusão molecular de solvente formando defeitos “hourglass” (ampulheta). Desconhece-se a composição química destes preparados, apenas se refere no rótulo a tioureia e o detergente. As micropaisagens são lindíssimas, muito fáceis de preparar e têm vindo a ser estudadas desde 2007 [8, 17], num bloco de divulgação referente à prata. Durante a limpeza dos objectos que se mostra eficaz após alguns minutos de imersão libertam-se gases, de cheiro semelhante ao do sulfureto de hidrogénio e formam-se depósitos sólidos de cor amarelada. Não foi feita nenhuma investigação por análise química antes e depois da imersão da prata. O estudo dos cristais obtidos não foi conclusivo, porém é muito útil como ferramenta de divulgação da cristalização. Para preparar cristais, basta deitar o líquido numa placa de Petri, arrefecer em frigorífico, deixando evaporar lentamente e em repouso. Fotomicrografias com ampliação de 20x.

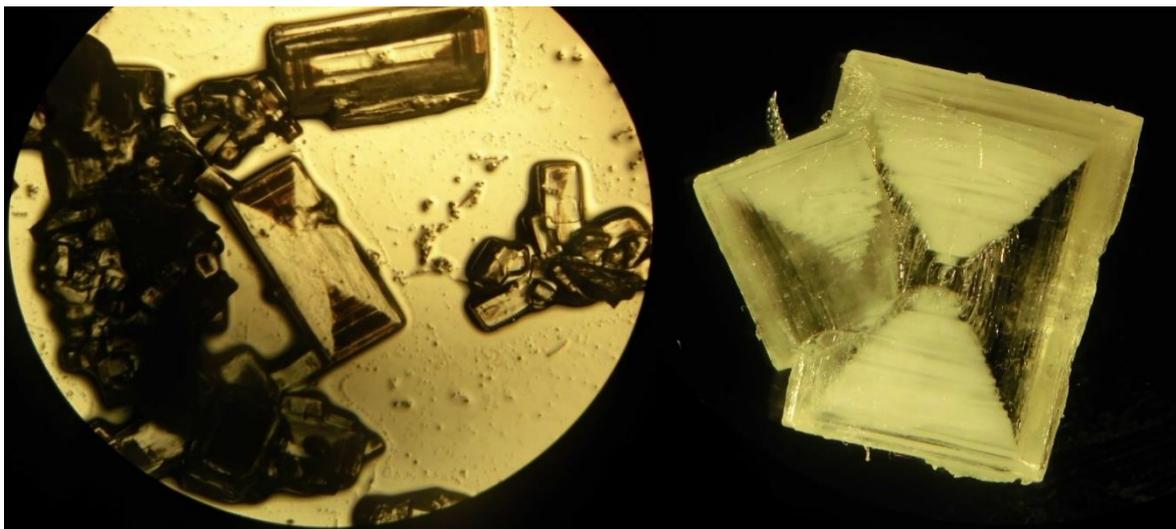


Figura 21 – Cristais obtidos a partir de limpa-pratas comercial com tiourea. Os famosos cristais “Hourglass” [5,7]. As fotomicrografias, 10x, são muito influenciadas pelo tipo de iluminação das lupas e máquinas fotográficas utilizadas. A macla da direita foi apresentada num congresso ligada à obra de Poen de Wijs sobre a temática do tempo, com um macaco a segurar, inquisidor, uma ampulheta [7].



Figura 22 – Glicina, $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$, nome que deriva do grego Glykos “doce”, devido ao seu sabor adocicado (ainda hoje existe a expressão glicodoce). É um dos 20 aminoácidos constituintes das proteínas dos seres vivos, sendo, estruturalmente, o mais simples e o único que não apresenta atividade óptica. É sintetizada pelo corpo humano a partir da serina, e além de participar na formação de proteínas é também um importante neurotransmissor humano. Forma cristais moleculares e apresenta ligações de hidrogénio intramoleculares. As

pontes de hidrogénio $\text{COO} \text{---} \text{H-NH}_2$ “empurram” o hidrogénio do grupo carboxílico para o grupo amina, pelo que esta estrutura pode ser considerada como a do ião glicinamónio $\text{NH}_3^+\text{CH}_2\text{COO}^-$, um zwitter-ião. Estas pontes reforçam muito as restantes forças de Van der Waals, e são responsáveis pelo seu elevado ponto de decomposição de 233°C [3]. Tem três tipos de polimorfos: α -glicina, β -glicina e γ -glicina, cristais com a mesma composição e ligação química, mas com diferentes empacotamentos. Há um interesse crescente pela estrutura γ -, candidata para aplicações em óptica não linear [1]. A Figura representa um exemplar “on the Rocks” sobre rocha vulcânica [3]: preparou-se uma solução aquosa, a quente, de 0,4 g/ml num copo de precipitação; após dissolução total da glicina, introduziu-se no copo uma rocha vulcânica, de modo a que esta ficasse totalmente imersa na solução; em seguida o copo foi transferido para um recipiente contendo água quente para evitar uma rápida queda de temperatura, e deixou-se o sistema em repouso por 4 dias, ao fim dos quais se obtiveram cristais de tamanho razoável (preparação feita à temperatura ambiente e durante o Inverno, cerca de 12°C).

A química da glicina é apaixonante na medida em que apresenta uma função básica ($-\text{NH}_2$ -) e outra ácida, $-\text{COOH}$ -, sendo também curiosa a formação de cristais de cloreto de glicinamónio a partir de soluções com NaCl.



Figura 23 – Glicina, aminoácido, $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$, observação à lupa estereoscópica, 10x, numa lamela de vidro.
Composição da solução, 0.5 g/ml.

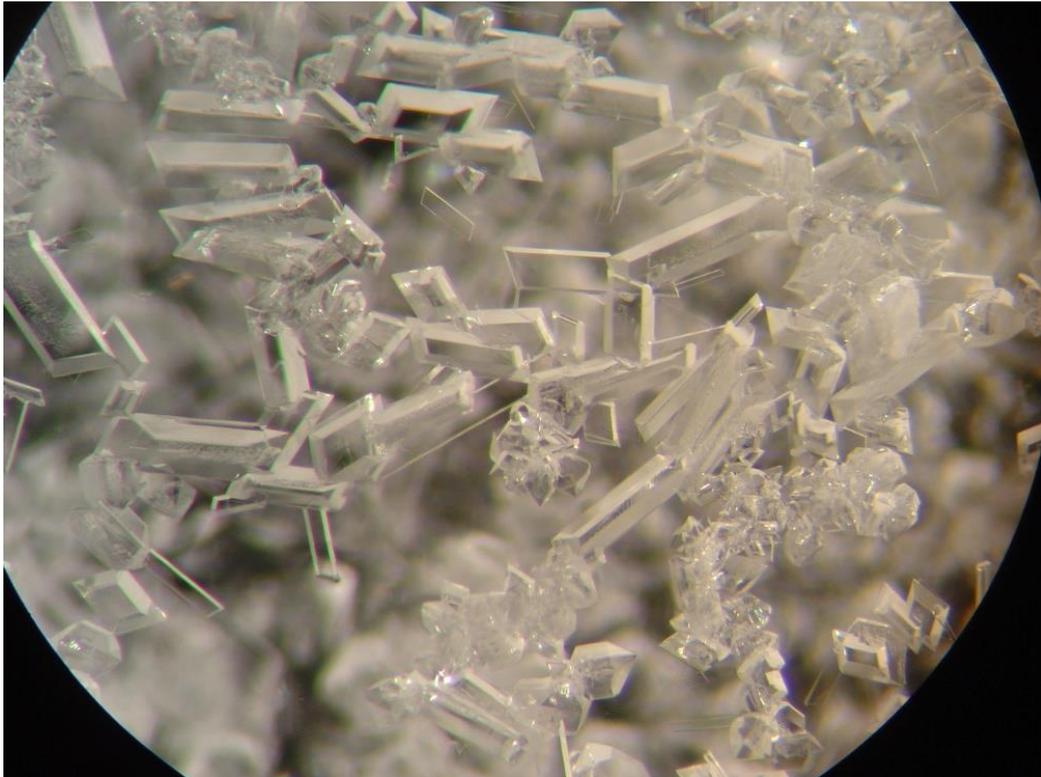


Figura 24 – Glicina, aminoácido, $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$, observação à lupa estereoscópica, 10x, num cristalizador.
Composição da solução, 0.5 g/ml.

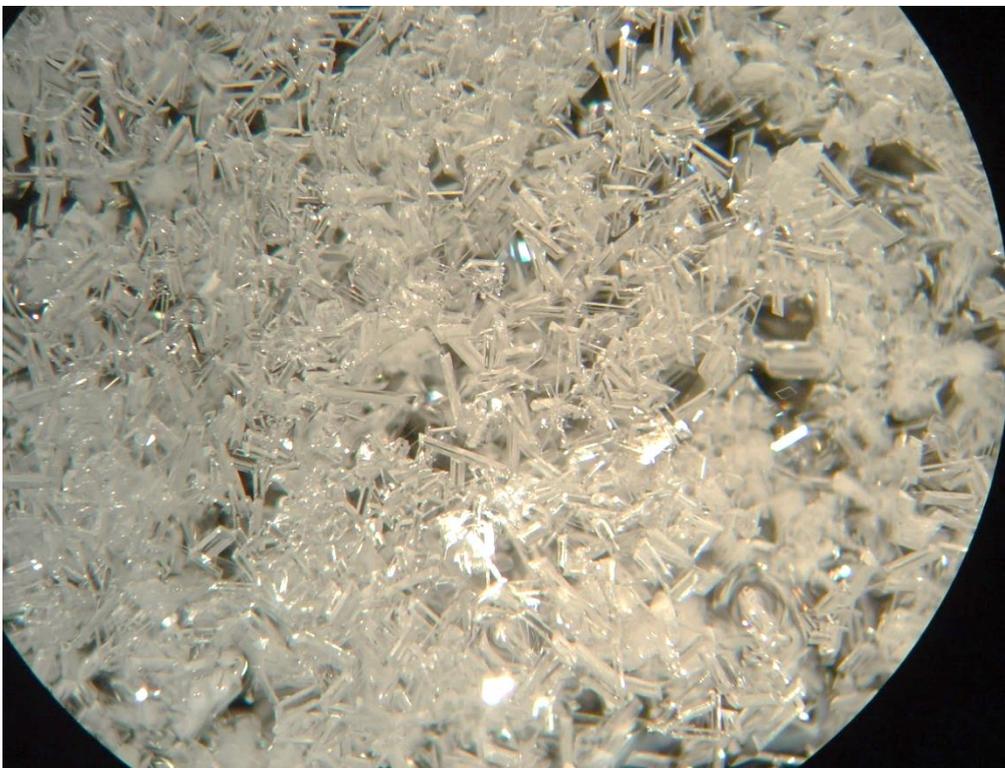


Figura 25 – Glicina, aminoácido, $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$, observação à lupa estereoscópica, 63x, numa lamela de vidro.

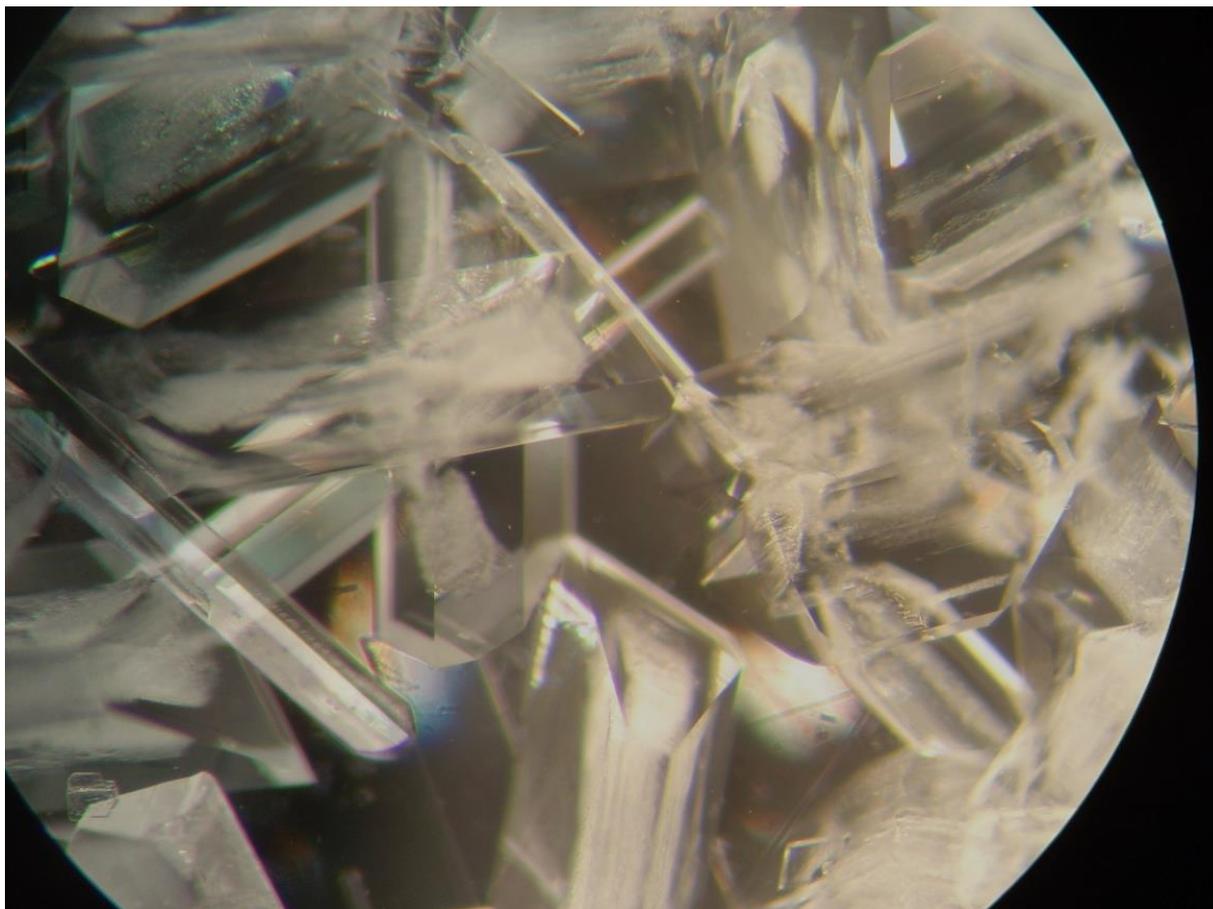


Figura 26 – Glicina, aminoácido, $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$, observação à lupa estereoscópica, 63x, num cristalizador. Resultados exploratórios, os cristais mais pequenos da figura anterior, observados com a mesma ampliação, podem indicar que o efeito de evaporação foi mais rápido na lamela. Para resultados rigorosos em termos de avaliar o grau de ampliação seria necessário utilizar um retículo. Composição da solução, 0.5 g/ml.

O crescimento de cristais é muito diversificado e cada substância terá um método preferencial que normalmente é otimizado em etapas sucessivas, *trial and error*, de cariz experimental e que tem em conta o tipo de produto final que se pretende obter. Por exemplo, se queremos comercializar cloreto de sódio a granel, interessará obter cristais de dimensão reduzida, que facilitem o empacotamento e transporte, e que não retenham solvente, a água, na sua estrutura, para evitar a colmatção e formação de grumos. A ureia forma lindos cristais aciculares de dimensão razoável, mas é vendida como granulado e é nessa forma que se apresenta nos pacotes vendidos nas farmácias para gerar frio instantâneo, a partir da sua dissolução endotérmica. Se pretendemos fabricar janelas ópticas, já serão mais interessantes cristais de grandes dimensões de elevada pureza e transparência que permitam cortar essas janelas. Em diversas publicações, dirigidas para a divulgação da Química, foram exploradas algumas técnicas destinadas a obter cristais esteticamente razoáveis de substâncias interessantes para

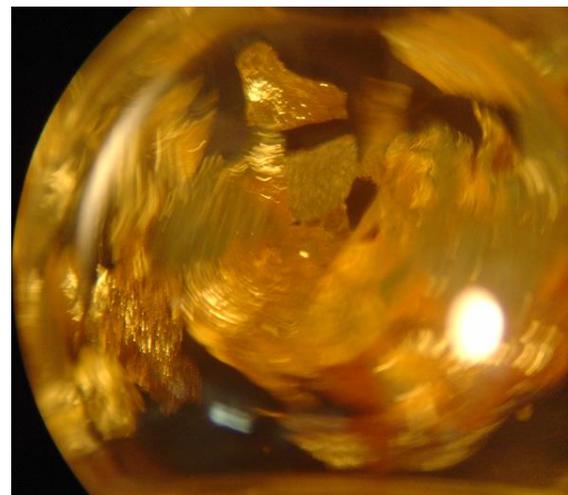
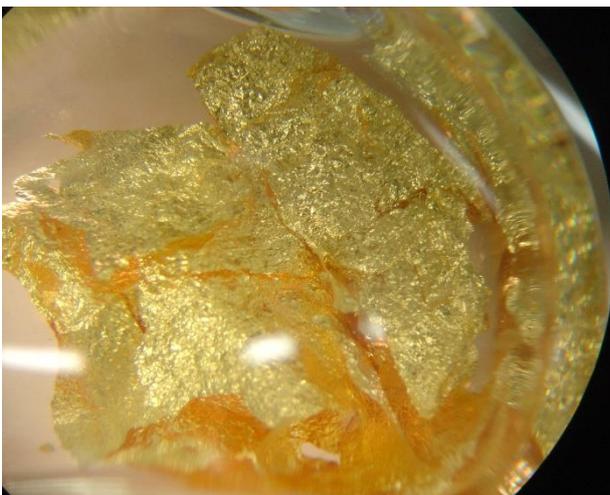
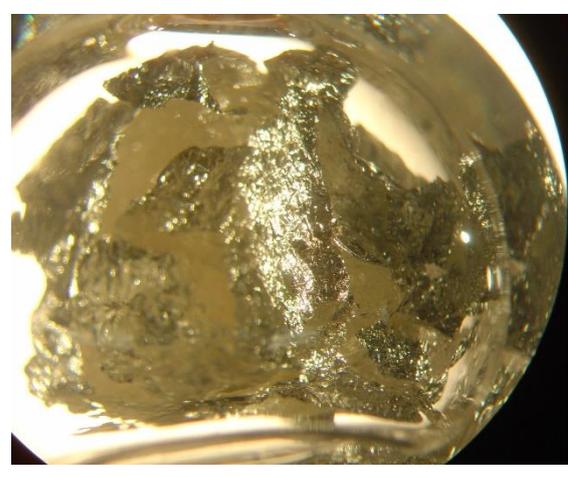
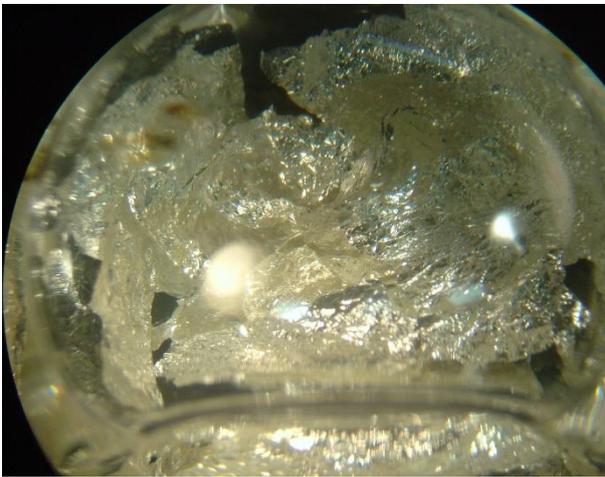
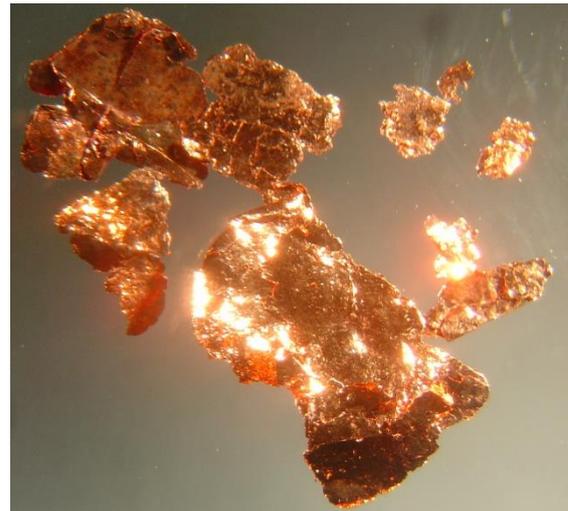
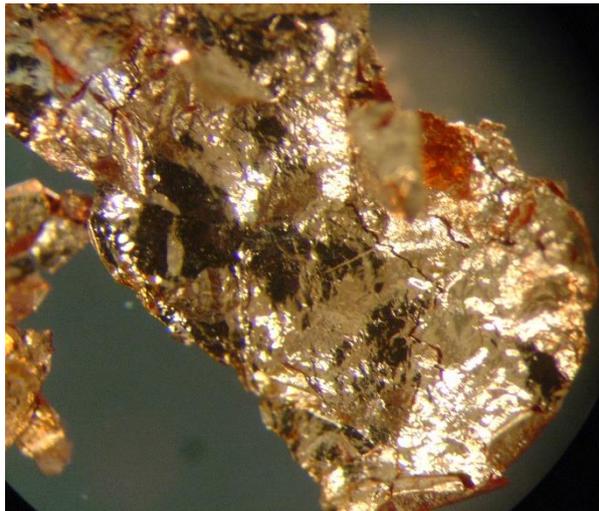


Figura 27 – Exemplos de cristais metálicos do nosso dia-a-dia: aparas metálicas de cobre, prata e ouro, observadas à lupa estereoscópica com ampliação de 10x. Estas fotomicrografias foram utilizadas num contexto de ligação à Arte e ao Artesanato na exposição Artesãos do Século XXI e num trabalho de Ciência e Arte designado por “Brilho metálico” com obras do pintor holandês Poen de Wijs [5].

a discussão de conceitos científicos (Química, Geologia, Física, Materiais, etc.) e susceptíveis de fazerem uma ligação à Arte e Design. Em resumo, salientaram-se aqui:

- a formação de árvores metálicas, cristais dendríticos, fractais, a partir de reações de oxidação-redução [5,6], em geral seguidas à lupa estereoscópica (microscopia química) (Figura 28).
- o crescimento de cristais a partir de soluções sobressaturadas por nucleação heterogénea, método “On the rocks”, que exige um substrato (suporte) de superfície rugosa para estimular o crescimento, Figura 2-5,8,15.
- o crescimento de cristais/cristalização em placa de Petri ou cristalizador, sem suporte (nucleação homogénea), com observação à lupa estereoscópica [5].

A par do aperfeiçoamento das técnicas, em cada caso, foi feita uma extensa pesquisa em relação às substâncias a utilizar.

No primeiro grupo teremos reações que ocorrem em diferentes fases postas em contacto (por exemplo, placa metálica em contacto com gotas de solução, Figura 28) e nos dois outros grupos trabalhamos com soluções, pelo que é muito útil conhecer, com maior detalhe, o comportamento das substâncias em solução (principalmente solução aquosa).

Na situação mais simples, uma **solução** é composta por dois componentes, o **solvente**, em maior quantidade e o **soluto**, podendo porém existir mais do que um soluto. A quantidade máxima de soluto que se pode dissolver num determinado solvente, é designada por **solubilidade** ou **coeficiente de solubilidade** (geralmente dada em g de soluto/100ml de solvente) uma propriedade que depende da natureza do soluto, do solvente e da temperatura. Para controlar o crescimento dos cristais/cristalização é muito importante conhecer a variação da solubilidade em função da temperatura, que se pode apresentar na forma gráfica, para cada substância/solvente (Figura 29).

Nestes gráficos podemos identificar as seguintes situações:

- Solução Insaturada: a quantidade de soluto em solução é inferior à que corresponde à solubilidade, graficamente a região abaixo da curva de solubilidade;
- Solução Saturada: a quantidade de soluto em solução é igual à que corresponde à solubilidade, graficamente representada na própria curva de solubilidade;
- Solução Sobressaturada: a quantidade de soluto dissolvida é superior à que corresponde à solubilidade, graficamente a região acima da curva de solubilidade.

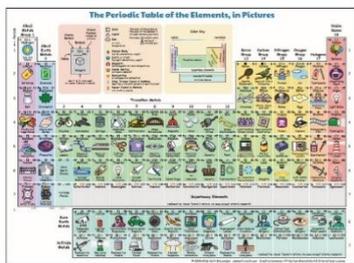
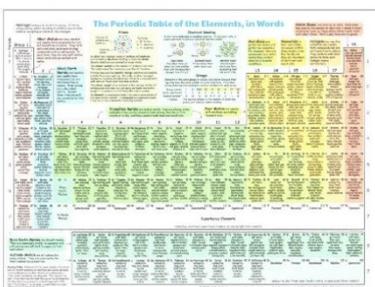


Tabela Periódica de Keith Enevoldsen
Imagens e Utilizações para cada Elemento



Fichas para cada elemento, em montagens personalizadas.

- a) Sem preocupação de coerência com as demais fotos do conjunto, apenas mais uma utilização.
- b) Com o elemento no estado de referência.
- c) Com fotos dum composto em que esse elemento exista.
- d) Numa reação, com as fichas de outros elementos que nela participam.
- e) Numa reação específica utilizada na identificação do elemento.
- f) Podem ser feitas novas fichas, com ilustrações alternativas.

Ag 47
Silver

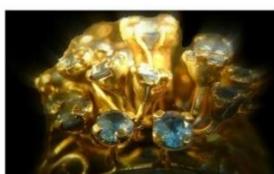
Jewelry

Cu 29
Copper

Electric Wires



d) Árvore de prata, 20x, lupa estereoscópica (em cima). Reação de nitrato de prata com fios de cobre. Fichas do Cobre e da Prata!



Be 4
Beryllium

Emeralds

a) Pedras preciosas com Berílio: Águas marinhas (macro, em cima). Esmeraldas, lupa estereoscópica, 10x.

Fractais de prata
Copper Fractals

126x
 $Cu(c) + 2AgNO_3(aq) \rightarrow Cu(NO_3)_2(aq) + 2Ag(c)$
 $Cu_2(OH)_2CO_3$ 7777777? What is the green stuff???

d) Disco de cobre a reagir com nitrato de prata. Fractais de prata. Ao fim de algum tempo, formação de árvores de cobre, dismutação de Cu(+).

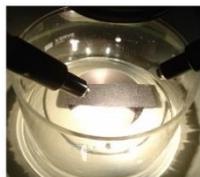
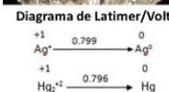
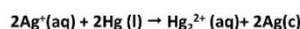
Ag 47
Silver

Jewelry

Hg 80
Mercury

Thermometers

d) Reação de uma gota de Hg(l) com nitrato de prata (aq). Deslocamento da prata, ao fim de algum tempo (15 min). Lupa estereoscópica.



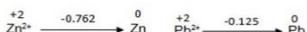
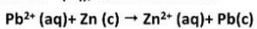
Com as fotomicrografias dos Elementos constrói montagens com as fichas de Keith Enevoldsen

Zn 30
Zinc

Brass Instruments

Diagrama de Latimer/ Volt
 $Zn(c) \rightarrow$ redutor
 $Pb^{2+}(aq) \rightarrow$ oxidante

d) Reação à Lupa estereoscópica, 126x. Fractais de Pb. Árvore de Saturno. Placa de Zn a reagir com um sal de Pb²⁺ (aq), nitrato ou acetato.



Pb 82
Lead

Weights



c) Compostos conhecidos de um elemento

Pb 82
Lead

Weights

I 53
Iodine

Disinfectant



e) Reação do Pb²⁺ (aq) com KI. Identificação de Pb, PbI₂, recristalizado por fusão/ arrefecimento.

I 53
Iodine

Disinfectant

Pb 82
Lead

Weights

S 16
Sulfur

Eggs



Figura 28 – Vários exemplos de árvores metálicas, cristais dendríticos formados por reações de oxidação-redução à lupa estereoscópica, apresentados durante o Ano Internacional da Tabela Periódica 2019. No poster mostra-se a formação de cristais de Ag por reação de solução de nitrato de Ag com Cu metálico; Ag formado a partir de uma gota de Hg(l) reagindo com a mesma solução; árvores de Pb obtidas por reação de uma solução

de um sal de Pb (nitrato ou acetato) com uma placa de Zn. Foram usadas as fichas da Tabela Periódica de Keith Enevoldsen no contexto destas reações. O poster inclui também a identificação de Pb por reação com iodeto de potássio, formando cristais de iodeto de Pb, à lupa estereoscópica, e a formação de sulfureto de chumbo também para identificação deste metal.

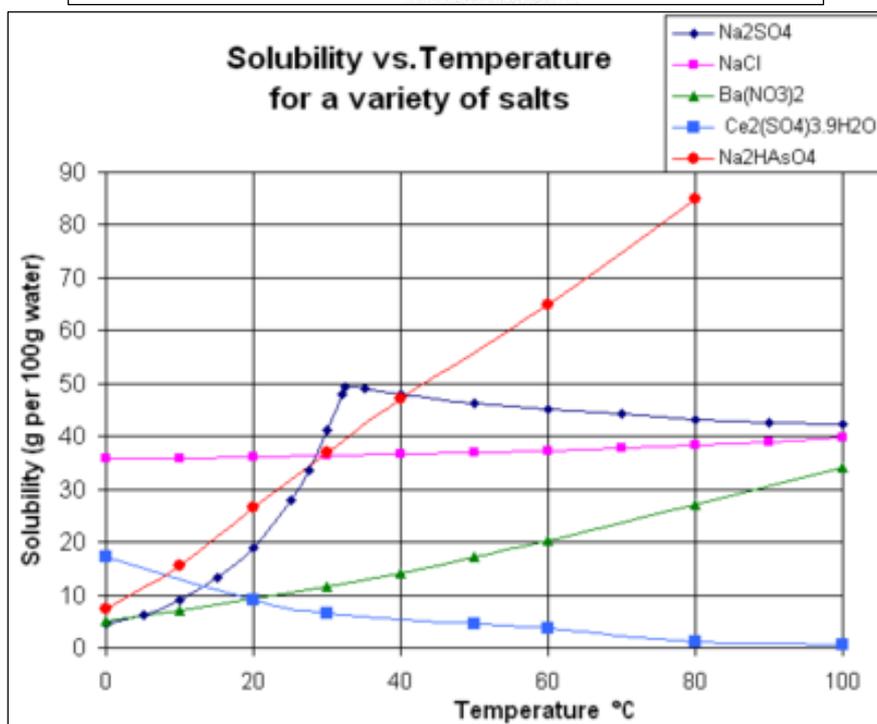
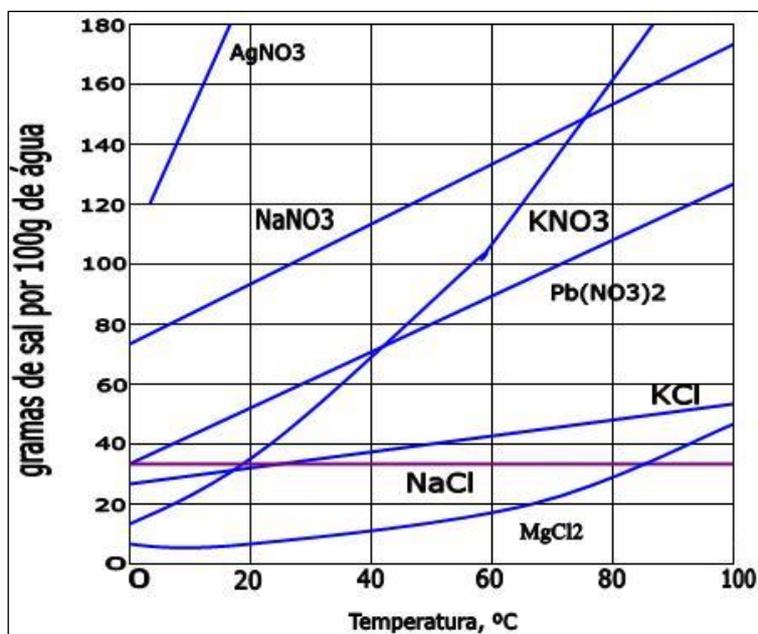


Figura 29 – Curvas de solubilidade de diferentes compostos em água [18,19].

Nestes gráficos podemos ilustrar as diversas etapas do crescimento de cristais a partir de soluções, por diferentes métodos:

- Através do arrefecimento de uma solução sobressaturada, para compostos cuja solubilidade aumenta com a temperatura, que é o caso mais frequente : glicina, sulfato de cobre pentahidratado, KDP, etc. : à medida que a temperatura baixa, passa a haver excesso de soluto que se começa a agregar em cristais, formando uma fase sólida no seio da solução. Este é o caso da maioria dos cristais “On the Rocks”.
- Através da evaporação do solvente, pois a diminuição da quantidade deste faz precipitar o soluto que passa a ficar em excesso. Este começa a formar uma fase sólida no seio da solução. Este método é utilizado para compostos cuja solubilidade tem pouca variação com a temperatura, como é o caso do NaCl.
- Há ainda outra forma de cristalização/crescimento de cristais por fusão/solidificação, como é o caso do salol, salicilato de fenilo, mas neste caso não há necessidade de um solvente, apenas do composto.

Os métodos de crescimento de cristais vêm descritos com maior desenvolvimento na ref. 3. Na Figura 30, para o caso do KDP, vêm assinaladas no gráfico de solubilidade as várias etapas, numa série de ensaios, para o método por arrefecimento de solução.

O crescimento de cristais/cristalização pode ser despoletado mais rapidamente com auxílio de uma semente, um pequeno cristal da substância, um suporte (rocha ou concha de superfície rugosa), ou provocando uma perturbação, por exemplo, um risco no cristalizador, lamela ou placa de Petri (caso do salicilato de fenilo [20]) . Pode no entanto ocorrer sem qualquer ação, pois pequenos defeitos do material em que é feito o ensaio, ou a presença de impurezas, podem ser suficientes para despoletar a cristalização.

Para as substâncias aqui incluídas a solução foi mantida em repouso, pois as perturbações acabam por gerar muitos núcleos de crescimento, formando-se um maior número de cristais mas mais pequenos, ou maclas. No entanto, existem inúmeros casos em que o crescimento é feito em movimento, para que haja melhor acesso aos nutrientes. Nesses casos o equipamento é muito mais sofisticado para manter o movimento das amostras (mesas rotativas onde são colocadas as sementes, montagens especificamente desenhadas para cada substância, etc.).

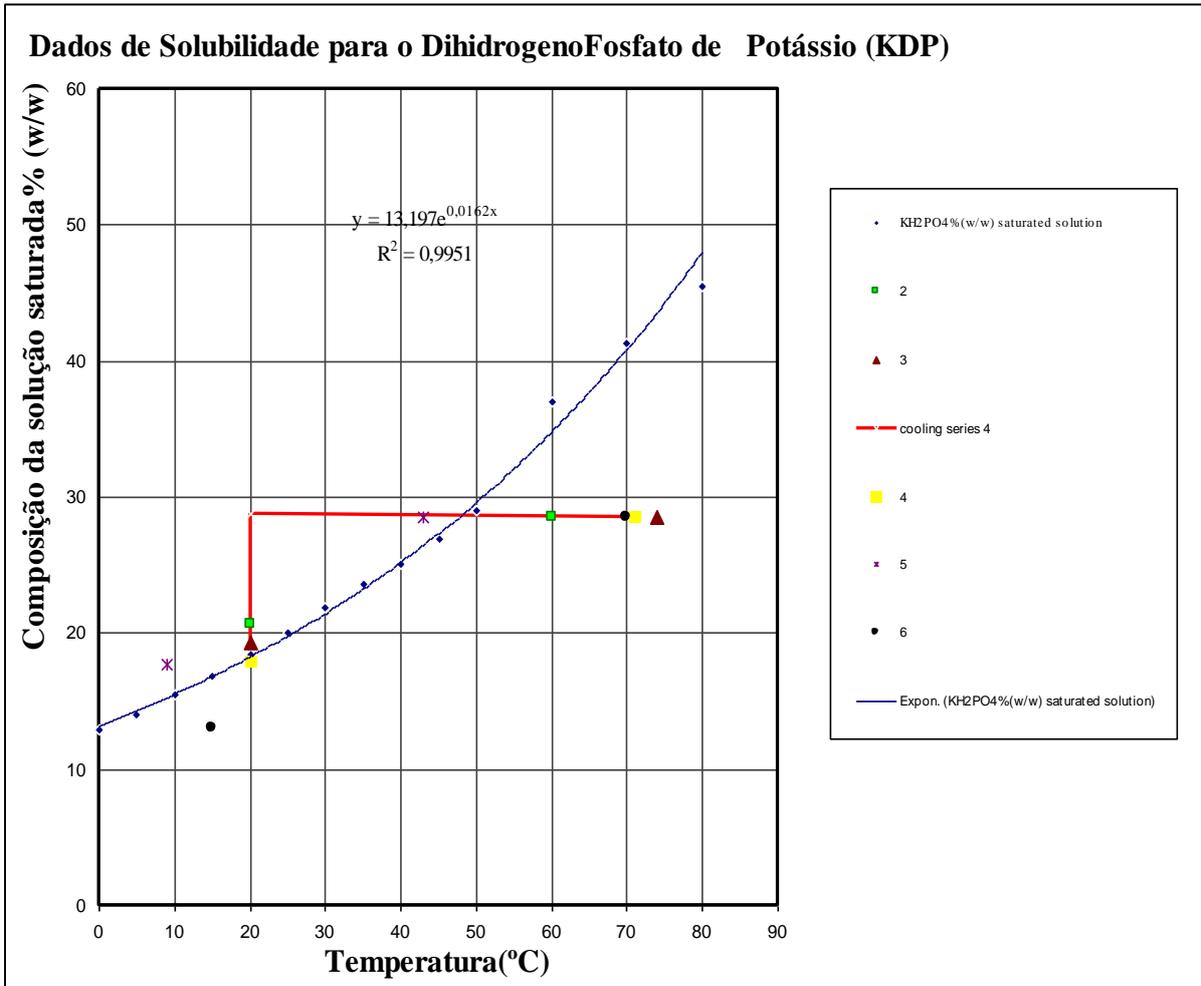


Figura 30 – Variação da solubilidade com a temperatura para o dihidrogenofosfato de potássio. Assinalam-se no gráfico os pontos inicial e final de vários ensaios e o percurso seguido desde a fase inicial de aquecimento da solução até ao estado final em que o crescimento é interrompido. Os pontos finais, no caso ideal, deveriam situar-se sobre a curva de solubilidade. Pontos finais acima da curva indicam que o crescimento/cristalização poderia continuar. Pontos abaixo da curva podem resultar de erros na avaliação da massa cristalizada, por exemplo, cristais húmidos, com solvente, oclusão de solvente nos cristais.

A forma do cristal, conhecida como “hábito cristalino”, ou seja, o poliedro dominante com que se apresenta, é uma característica muito importante para diversas áreas como a indústria química e farmacêutica, cristalografia de proteínas e até na criação de material didático, em kits de crescimento de cristais [3]. O hábito cristalino é determinado pela taxa relativa de velocidade de crescimento das faces, apresentando-se mais desenvolvidas as que têm menores taxas de crescimento, dependendo estas do mecanismo de crescimento. O cloreto de sódio responde a modificadores de hábito como é o caso da formamida, ureia, ferricianeto de potássio e álcool polivinílico. A forma do recipiente também vai alterar o hábito. Em placas de Petri obtêm-se geralmente cristais tabulares, pois não existe solução, em altura, para que possam crescer. Os hábitos do dihidrogenofosfato de amónio e seus

modificadores foram apresentados nas refs. 3, 15. Este composto, juntamente com o alumínio de potássio, dopados com corantes alimentares, são os principais ingredientes dos kits didáticos de crescimento de cristais.

Ao fazer a cristalização em placa de Petri ou cristizador, a melhor altura para fotografar coincide, muitas vezes, com o aparecimento dos cristais já relativamente bem desenvolvidos, no seio da solução. A existência das duas fases, líquida e sólida, em equilíbrio, é deslumbrante, mas ao perturbar a preparação com o movimento poder-se-á comprometer o aspecto final dos cristais. Se eles forem o principal objetivo, então o crescimento deve ser interrompido, retirar os melhores e deixar alguns. Deixar secar completamente as preparações poderá comprometer o aspeto final em certa medida, uma vez que poderá haver formação de cristalites, precipitação de impurezas, etc.. Todavia, as placas levadas à secar podem ser usadas em ações de divulgação de forma muito cómoda: são úteis em exposições no sentido de permitir a observação sem utilizar reagentes (exposições para muitas pessoas, pouco tempo para a observação, facilidade de transporte, quando o acesso à água e local de lavagens é difícil ou inexistente, etc.). Muitas das placas de Petri e cristizadores com cristais mantiveram-se por vários anos (em alguns casos, 20 anos ou mais em repouso e no escuro ao abrigo do pó e da humidade) sendo também interessante observar a sua evolução ao longo do tempo, devido à ocorrência de reações na fase sólida.

2. Cristais químicos, observação tridimensional à lupa estereoscópica

Durante o Ano Internacional da Tabela Periódica 2019 foram apresentados em exposições, palestras e Congressos, trabalhos que levaram à criação de fichas representativas de vários elementos, ligando as fotomicrografias obtidas na observação de cristais à lupa estereoscópica às fichas dos elementos de Keith Enevoldsen, como se exemplificou na Figura 28 para o chumbo, prata, cobre e berílio [5]. Alguns exemplos de trabalhos que seguiram a mesma estratégia são apresentados nas figuras seguintes para diversos compostos: **acetato de cobalto (2+) tetrahidratado**, Figuras 31-32; **cloreto de cobalto (2+) hexahidratado**, Figuras 33, 34; **cloreto de cobre (2+) dihidratado**, Figuras 34, 35, todos estes sais muito populares por fazerem parte dos jardins químicos, jardins de sílica. Incluem-se ainda mais exemplos para vários compostos de **ferro** em diferentes estados de oxidação, idem para o metal **crómio**, e ainda resultados de experiências para o **alumínio**, **magnésio e zinco**, etc. Estes metais foram muito importantes no projeto dos cristais “On the Rocks”, com os metais no estado de oxidação +3 pertencentes à família dos alúmenes e os de estado de oxidação +2, à família das schönites, sais de Tutton.

Muitas das fotomicrografias de cristais e reações à lupa estereoscópica foram ligadas a trabalhos artísticos de diversos autores, os pintores holandeses do realismo contemporâneo Poen de Wijs (a

título póstumo) e Jantina Peperkamp, Duma Arantes e desde há muito à Arte “on the rocks” de Cristina Fontoura Carvalhão [5]. Também se criaram, num outro projeto, padrões decorativos baseados em operações de simetria simples (translação, rotação, reflexão e reflexão deslizante) e fotomanipulação, divulgados desde 2009 na Exposição de microscopia aplicada “Artesãos do Século XXI” [5, 21].

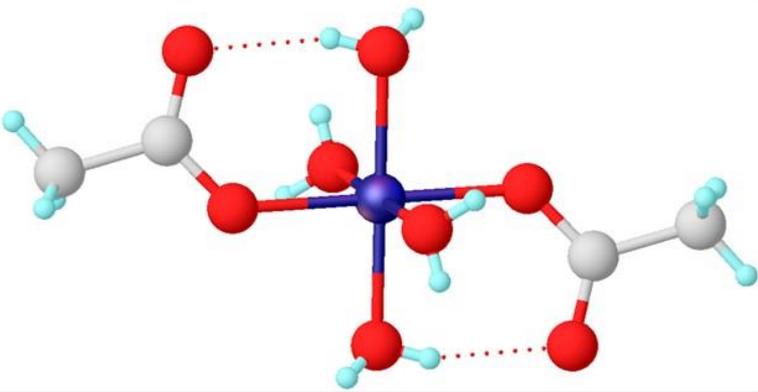
Cristalização/lupa estereoscópica $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$

Co  **27**
Cobalt



Magnets

elements.wlonk.com



[https://en.wikipedia.org/wiki/Cobalt\(II\)_acetate](https://en.wikipedia.org/wiki/Cobalt(II)_acetate)

<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.554198304621053/557254027648814/?type=3&theater>

Co **Cobalt** **27**
hard metal,
magnetic;
hard strong steel,
cutting tools,
turbines,
magnets (Al-Ni-Co),
blue glass, ceramics,
vitamin B-12

elements.wlonk.com




elements.wlonk.com
Keith Enevoldsen

Figura 31 – Os catalisadores de Cobalto não são mencionados na ficha dos usos deste elemento, na Tabela Periódica de Keith Enevoldsen. No entanto, para um Químico, os sais solúveis (cloreto, sulfato e acetato) são muito importantes e representativos do uso deste elemento em Química de síntese e suas aplicações [21].

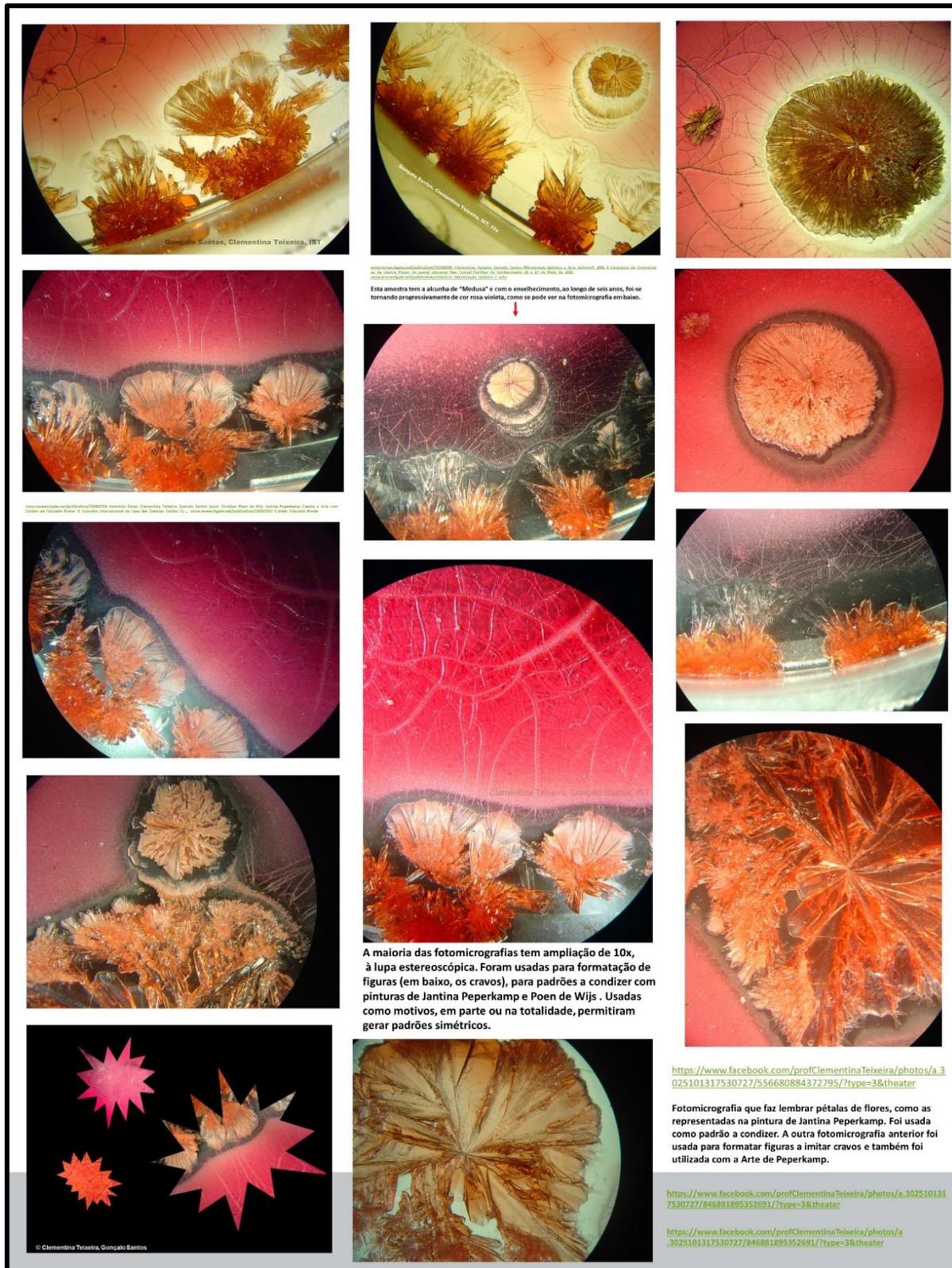


Figura 32 – Cristalização do acetato de cobalto (2+) tetrahidratado em placa de Petri e observação em 3D à lupa estereoscópica com várias ampliações [21]. Para fazer a ligação à Arte de Poen de Wijs e de Jantina Peperkamp consultar a referência 21 para o download com maior resolução.



Figura 33 – Cristalização do cloreto de cobalto (2+) hexahidratado em placa de Petri e observação em 3D à lupa estereoscópica com várias ampliações [22]. Incluiu-se nesta figura o cloreto de cobalto anidro, de cor azul (“azul cobalto”) que resulta da perda de água de hidratação do composto rosa hexahidratado.

As lupas estereoscópicas aqui utilizadas foram do tipo **binocular** com *zoom* entre 8 e 126x, e **trinocular**, (marca Nikon®), acoplada a câmara de filmar (Sony®). Também foram usadas lupas estereoscópicas com ampliação de 20x e 40x de base diascópica, em sessões realizadas em escolas, que estão normalmente bem equipadas Figuras [36-39]. As fotomicrografias apresentadas neste trabalho foram na sua maioria tiradas com máquina fotográfica e telemóvel encostados à ocular da lupa, para tornar as experiências mais acessíveis a todos. No entanto, podemos dispor de aparelhagens para captação de imagens que neste caso não foram utilizadas. Estes aparelhos são frequentemente designados por microscópios estereoscópicos (no Brasil, estereomicroscópio; nos Estados Unidos, stereomicroscope *ie*, low power stereomicroscope).

Cu ■ **29**
Copper



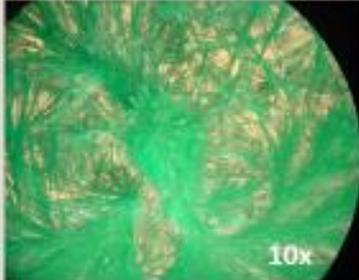
Electric Wires

Cu **Copper** **29**
colored metal, conducts heat and electricity well; wires, cookware, brass (Cu-Zn), bronze (Cu-Sn), coins, pipes, blue crab blood

Em placa de Petri



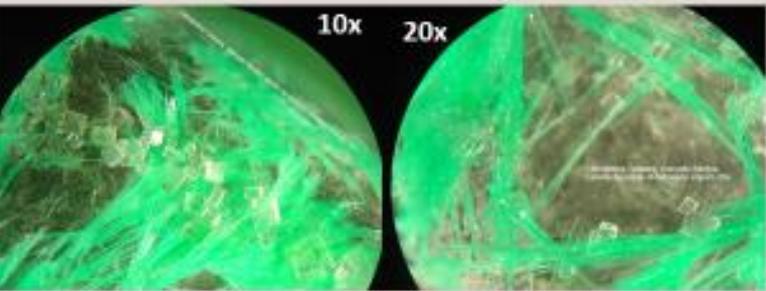
lupa estereoscópica



10x

Cristalização e síntese do cloreto de cobre(II) dihidratado $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

O sal é utilizado nos jardins de sílica. As placas são preserváveis. Em baixo, preparação por reação de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ com NaOH (aq), formando $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Este foi feito reagir depois com HCl (aq) dando o cloreto hidratado (cristalizador). Podem ser observados pequenos cristais incolores que poderão ser constituídos por $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.



10x 20x

Fotomicrografias feitas com telemóvel.



$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{c}) + 2 \text{NaOH}(\text{aq}) + 5\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s}) + \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}(\text{c/aq})$

$2\text{HCl}(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s}) \longrightarrow \text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{c})$ **Reações possíveis para o cloreto impuro**

Figura 35 – Cristalização do cloreto de cobre (2+) dihidratado à lupa estereoscópica. Duas amostras são apresentadas nesta figura: uma, em cima, obtida por recristalização do composto em placa de Petri, dissolução em água e evaporação/ arrefecimento em repouso; outra, em baixo, com o sal preparado no cristalizador por reação e posterior cristalização por evaporação isotérmica em repouso.



Figura 36 – Lupa estereoscópica Nikon® com base diascópica utilizada em alguns dos ensaios, com luz fria proveniente de um iluminador de fibras ópticas. Permite uma visualização tridimensional do objeto de estudo: existe uma pequena inclinação entre as oculares, de forma a que cada olho do observador capte a imagem por um ângulo diferente, sendo as duas imagens unidas pelo cérebro numa reconstrução tridimensional e única.

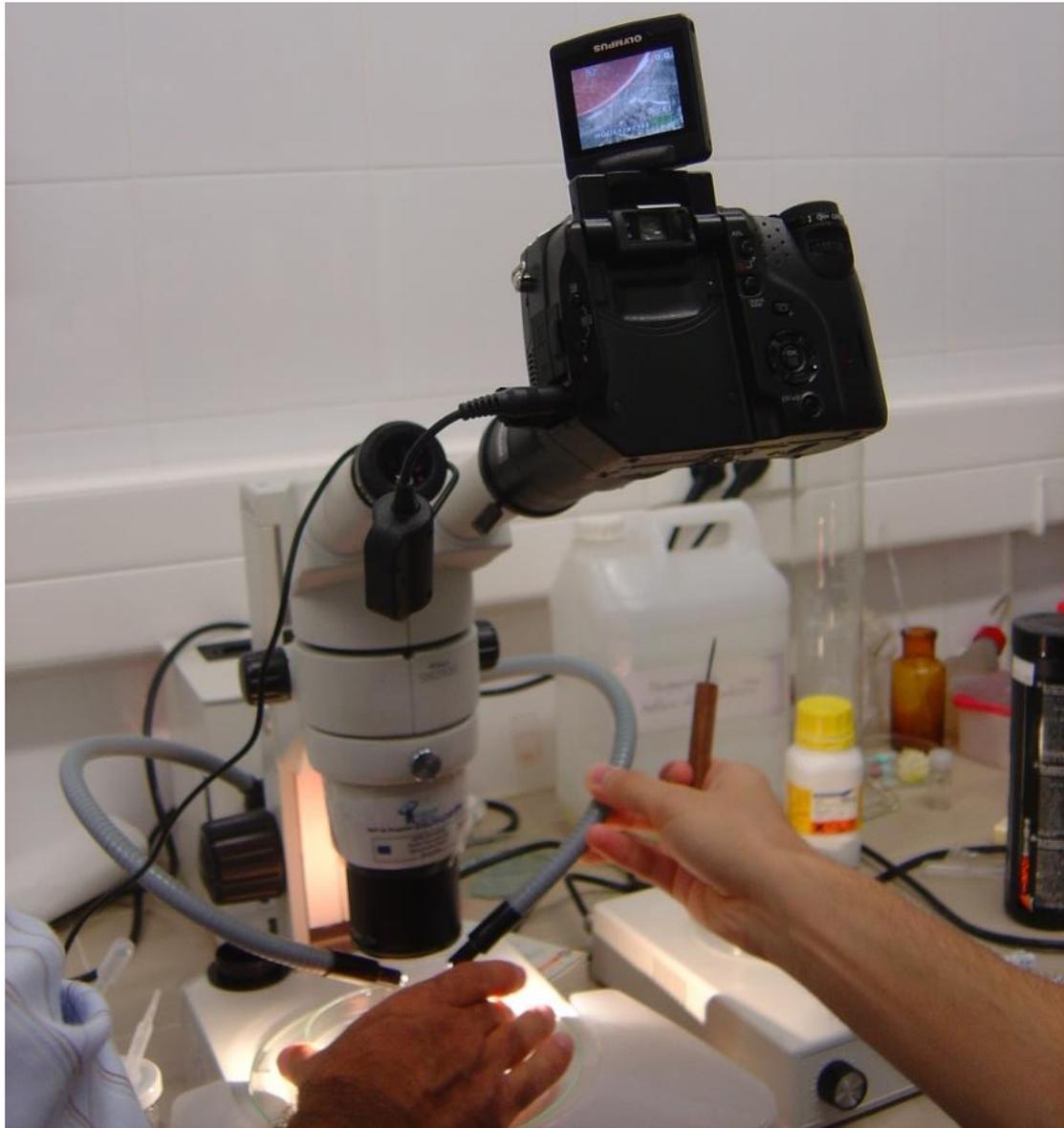


Figura 37 – Lupa estereoscópica com base diascópica e câmara fotográfica adaptada na ocular para fotografia e filmagem. A lupa Nikon® possui adaptadores para Câmara de vídeo e máquina fotográfica, passando a funcionar então como trinocular.

O microscópio apresenta-se...

IV



Foto 22 - Microscópio óptico moderno para ensino

Alguns microscópios modernos tornaram-se mais simples de utilizar, sem detrimento da sua qualidade e limite de detecção, como o da Foto 22 (Saint Dominic International School). Actualmente a variedade é muito grande (Foto 23).

E as lupas estereoscópicas, o que são?

São microscópios estereoscópicos desenhados para observar amostras a três dimensões, permitindo observar o relevo. Na foto 23 podem observar-se três exemplos de lupas binoculares usadas nas escolas. Nas fotos 24-26, lupas trinoculares, com possibilidades de filmar e fotografar. Como o seu preço é elevado, são mais utilizadas na pesquisa científica.

As fotos tiradas ao microscópio designam-se por fotomicrografias.

Para além das aplicações clássicas de observação de amostras muito pequenas, e do avanço tecnológico que permite cada vez mais penetrar num mundo infinitamente pequeno, os microscópios começaram a ser utilizados para a visualização de objectos comuns, permitindo descobrir novas texturas e detalhes. Nesse campo, rivalizam com a fotografia macro e os padrões obtidos são surpreendentes e susceptíveis de serem aplicados do ponto de vista decorativo. É essa uma das nossas propostas!



Foto 23- Microscópio binocular (MB) e lupas estereoscópicas comuns usadas nas escolas, Agrupamento de escolas Ribeiro Sanches.

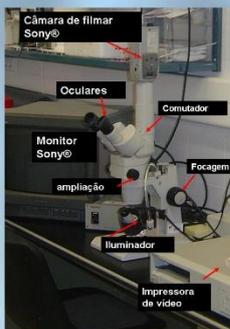


Foto 24- Microscópio Estereoscópico Ou Lupa Estereoscópica Nikon®

A designação de lupa é utilizada para menores ampliações, com zoom, até cerca de 150x.

O termo "estereoscópico" significa que a observação é feita a três dimensões, i.e. com relevo.

O computador assinalado na foto permite enviar a imagem transmitida pela câmara de filmar para o monitor e impressora.

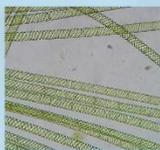
Esta lupa funciona com uma base opaca, onde se colocam as amostras a observar



Foto 25- Detalhe da base da lupa estereoscópica, iluminador (I) e botão de ampliação A



Foto 26- Base de uma lupa estereoscópica, diascópica, com iluminador incorporado na base e iluminador de fibras ópticas (II)



Fotomicrografias 27, 28, 29: uma alga e dois insectos microscópicos- aplicações clássicas da microscopia

O avanço da fotografia digital no campo da microscopia e a sua disseminação na Internet, deu origem a uma autêntica revolução cultural em que a Ciência cada vez mais se aproxima da Arte. Não só se investiga, como se tenta atingir o belo, e as fotomicrografias com padrões esteticamente satisfatórios encontram novas aplicações na indústria, artes decorativas, marketing de produtos, etc. Um dos melhores exemplos é a galeria de microscopia da Universidade da Flórida, em consórcio com a Nikon® e a Olympus®, no site gigantesco "Molecular Expressions" de Michael Davidson.

Vejamos então, como podemos otimizar e revolucionar o uso do microscópio.



Figura 39 – Lupas estereoscópicas com ampliações de 20x e 40x , ou mais, se usadas com oculares mais potentes (em geral são de 10x). Têm base diascópica, mas podem funcionar com iluminação superior, com placas opacas onde assentam as amostras. Embora sem a qualidade das lupas Nikon®, os resultados são suficientemente satisfatórios para ilustrar os conceitos. Algumas fotos tiradas com telemóveis permitiram trabalhar as fotomicrografias para obter padrões decorativos. Exposição Artesãos do Século XXI [8].

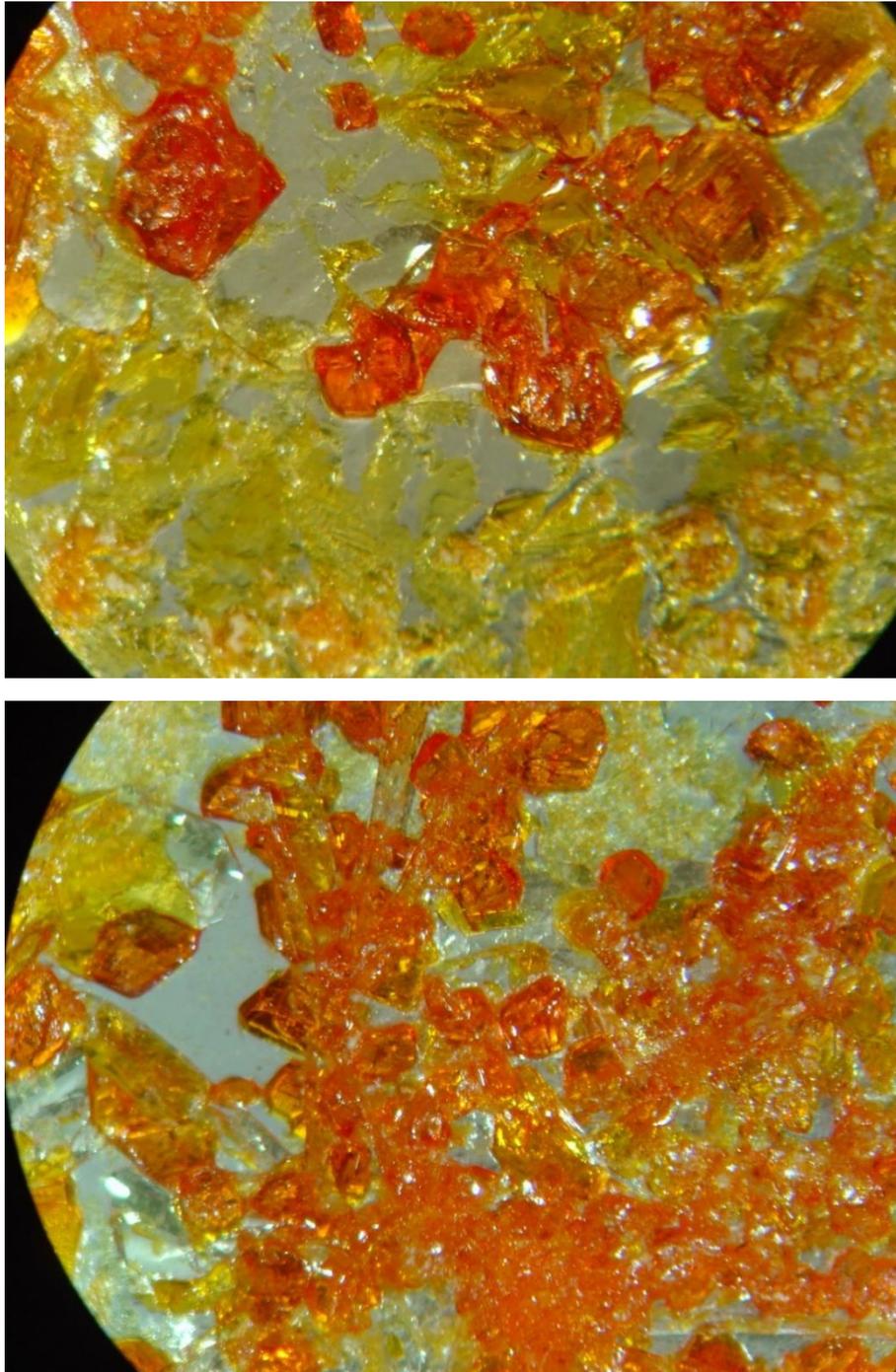


Figura 40 – O ferro, formando cátions $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ e $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$, pode ser identificado por reações específicas como é o caso do precipitado Azul da Prússia, vide, Figura 34. Forma lindos cristais de ferricianeto de potássio, $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, sistema monoclinico, laranja/vermelho e ferrocianeto de potássio trihidratado, sistema tetragonal, amarelo. Este último é instável e decompõe-se com o tempo, mas mesmo decomposto a observação à lupa é interessante. Nestas fotos, mistura dos dois compostos que cristalizaram em separado, com ampliação de 20x.

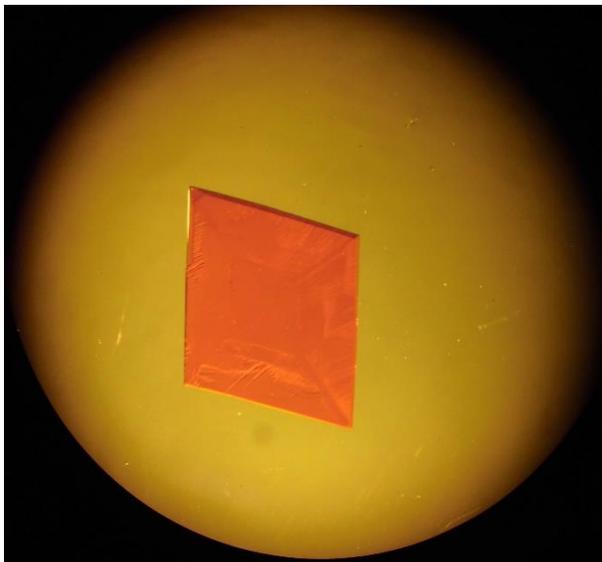
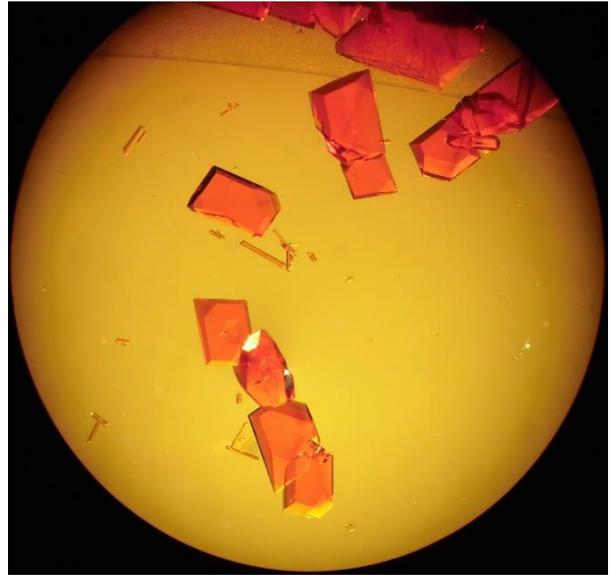


Figura 41 – Ferricianeto de potássio, 10x, excepto a última fotomicrografia, 63x. A qualidade das fotomicrografias é obviamente afetada pela qualidade da máquina fotográfica utilizada, como se pode ver pelas fotos do mesmo composto na Figura 42.

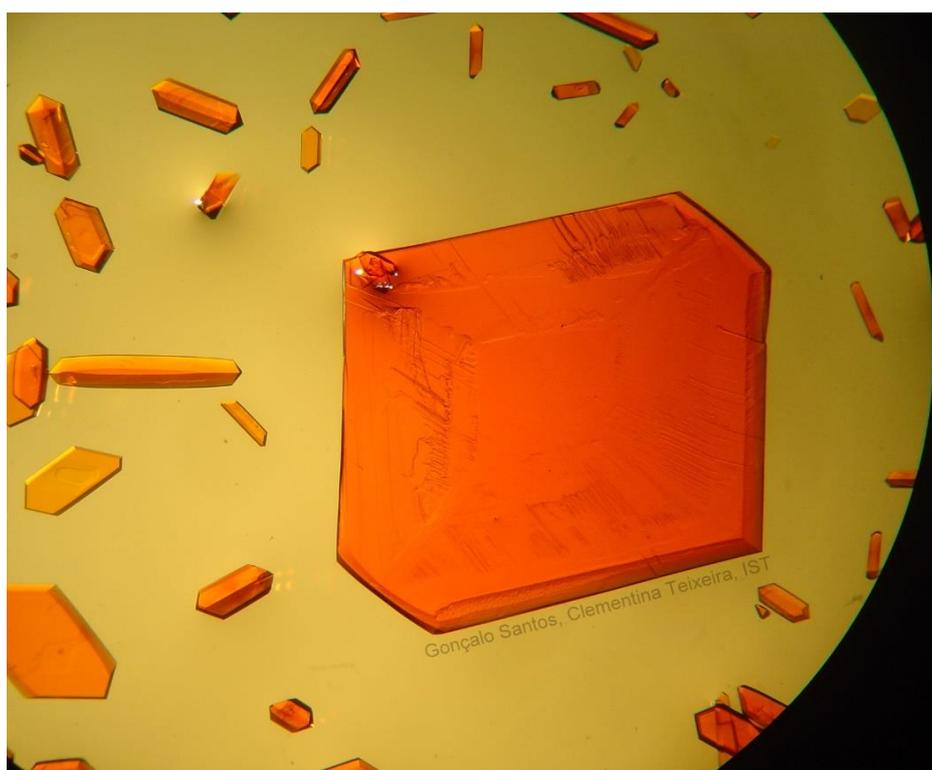


Figura 42 – Ferricianeto de potássio, cristal tabular, muito fino, de cor laranja (espessura reduzida). Os cristais prismáticos deste composto, bem desenvolvidos, são vermelhos. É exactamente nesta fase, ainda com solução, que convém fotografar (vide, em cima, a placa de Petri).

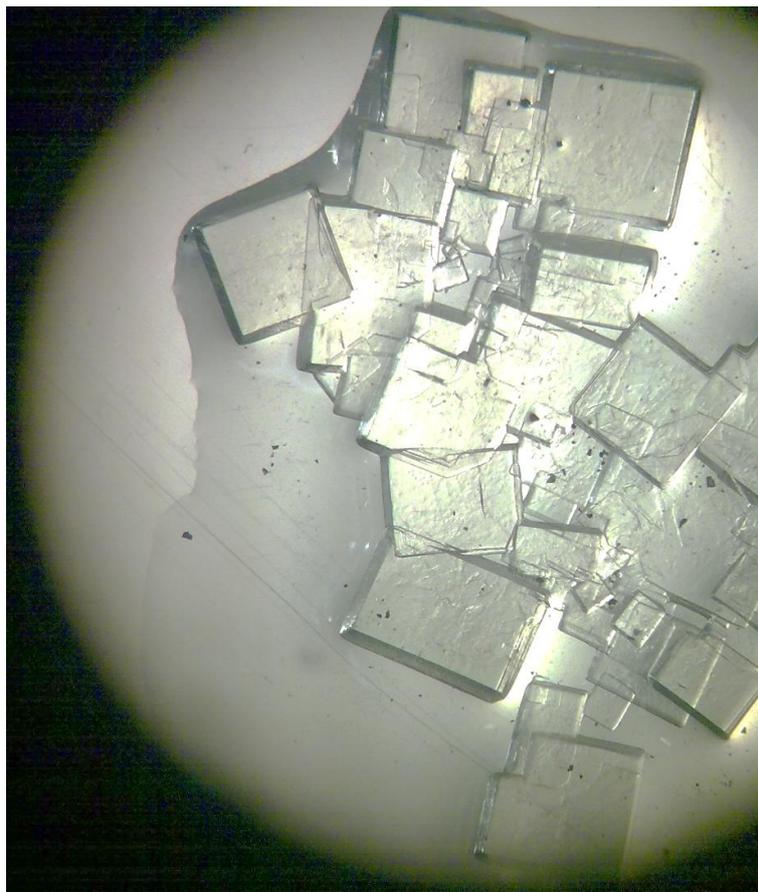


Figura 43 – Ferrocianeto de potássio trihidratado, $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$. Cristal tabular, muito fino, quase transparente. Sistema tetragonal, instável ao fim de períodos longos, eflorescente. A cor dos cristais bem desenvolvidos é amarelo-canário, mais visível se não for usada base diascópica na lupa, como se mostra em baixo e na Figura 44. Quando se decompõe perde águas de hidratação, os cristais ficam baços, cobertos de pó amarelo-claro. Os cristais tabulares podem ficar com substâncias esverdeadas de composição desconhecida.

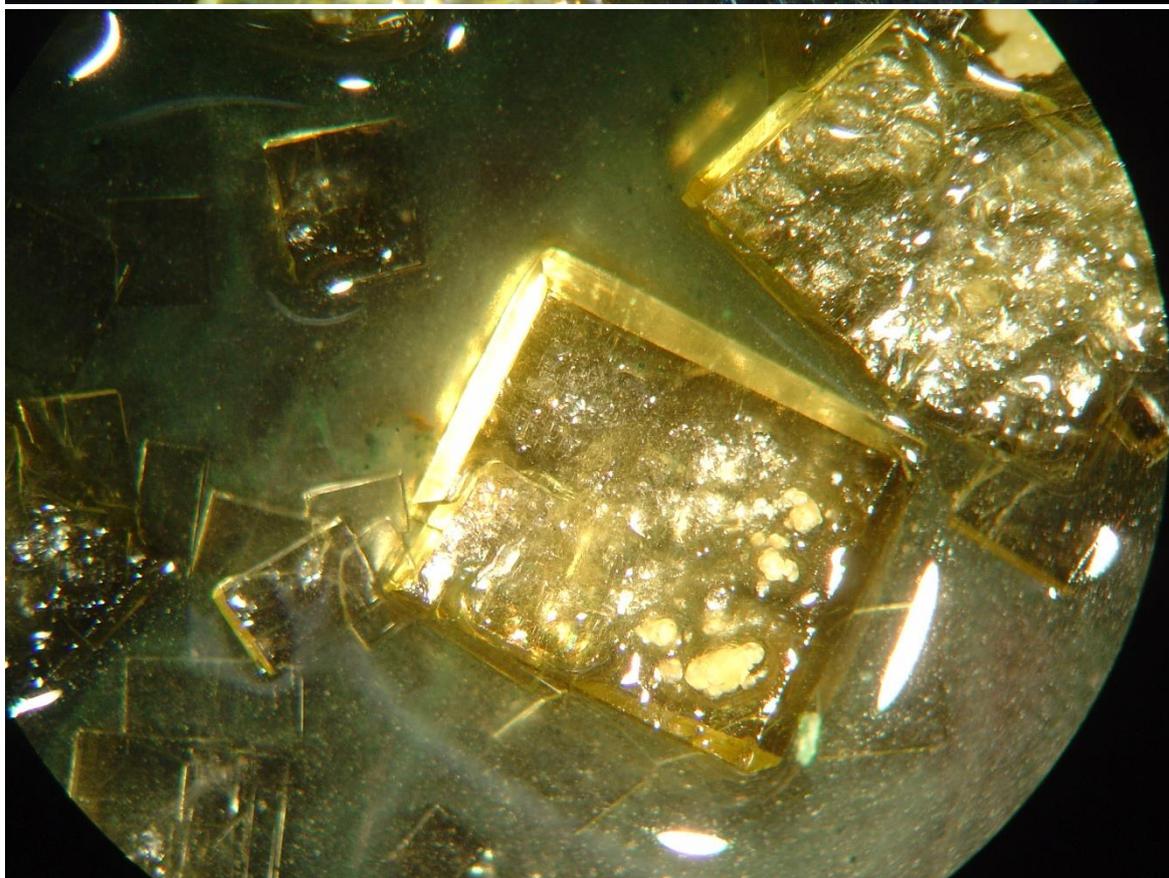
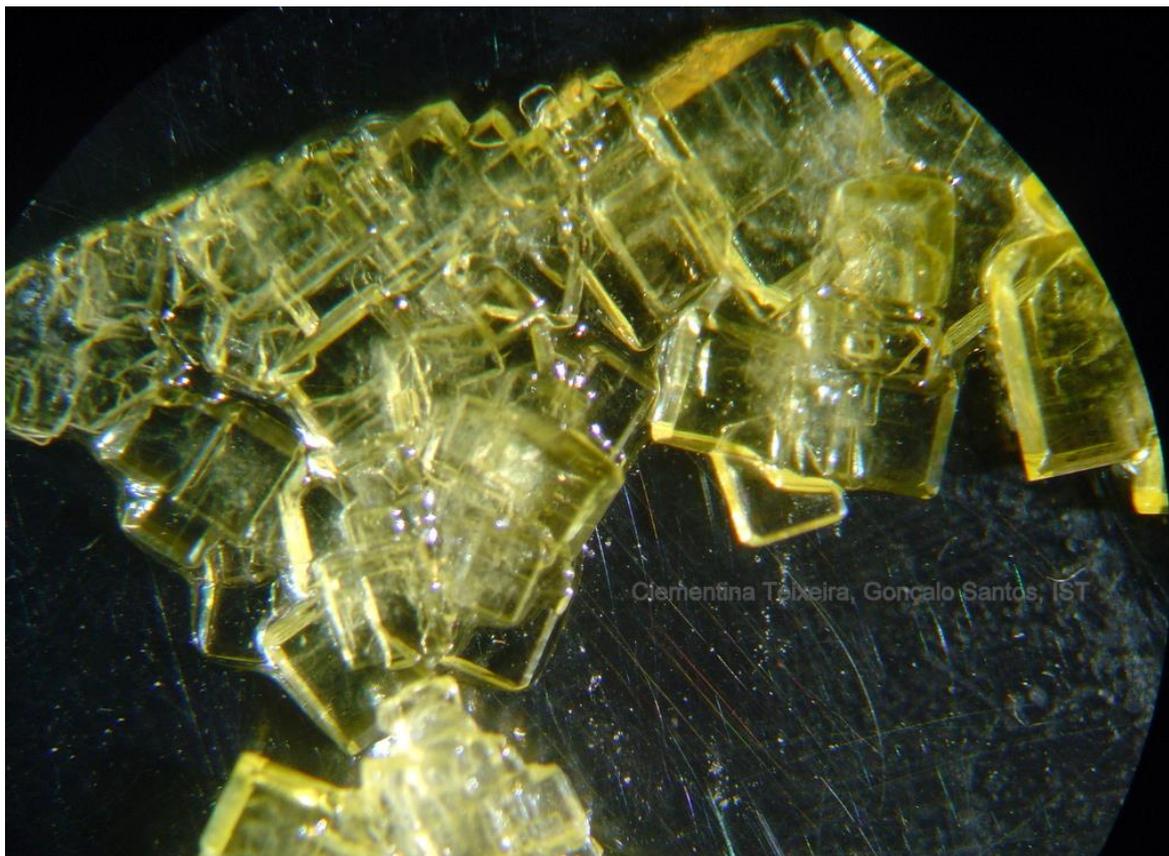


Figura 44 – Ferrocianeto de potássio trihidratado, cristais tabulares, 10x, em cima. Decomposto, 20x, em baixo.

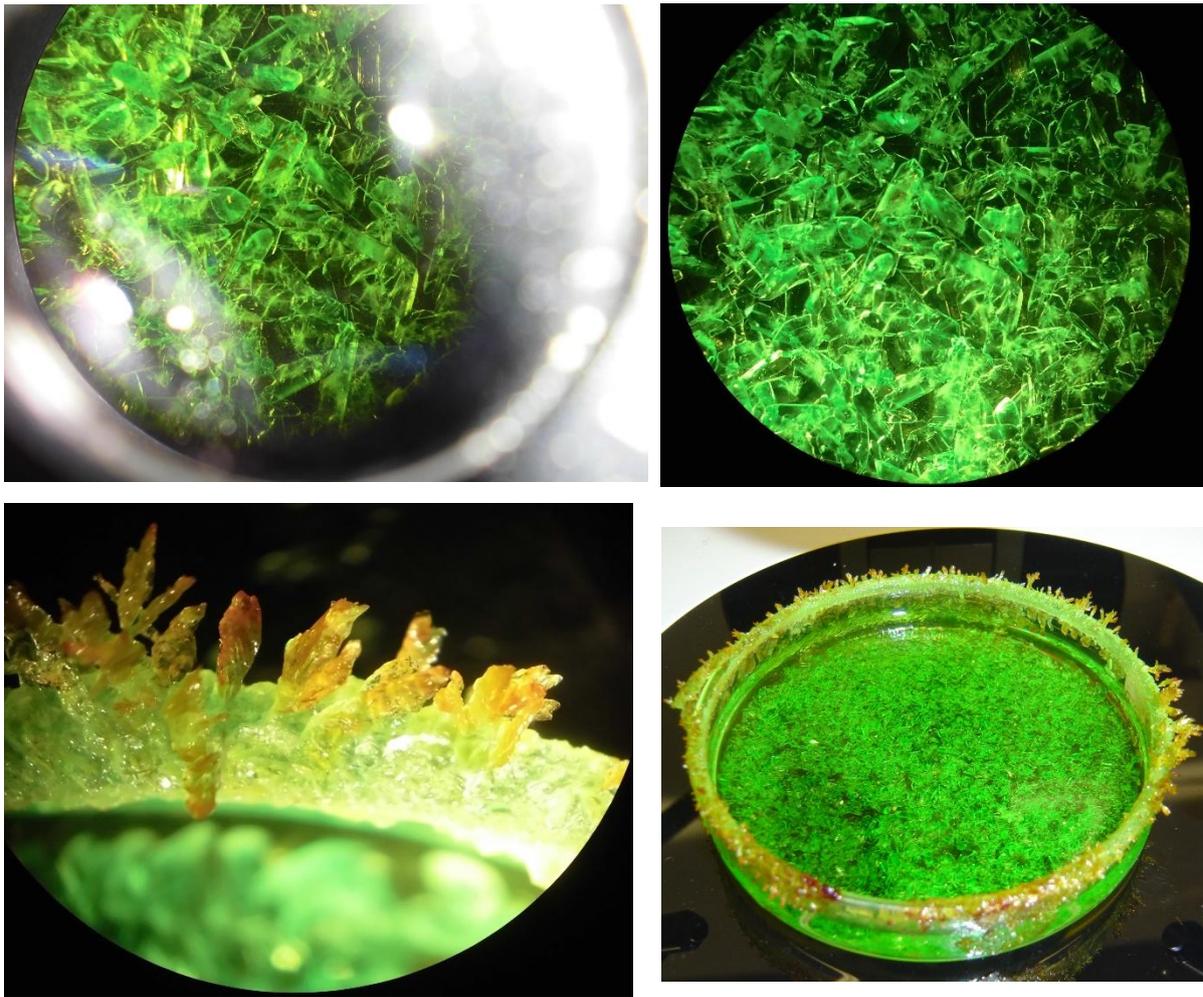


Figura 45 – Cristalização do Actinómetro de Parker, o complexo $K_3[Fe(C_2O_4)_3] \cdot 3H_2O$, trisoxalatoferrato de potássio trihidratado. É sensível à luz e reduz-se, permitindo dosear a quantidade de luz absorvida, com uma reação de rendimento quântico unitário. A sua redução por acção da luz é muito importante na área da fotoquímica. "Zoom in" à lupa estereoscópica, 10x e 63x (última fotomicrografia). Na placa de Petri, pode-se ver a decomposição do sal por efeito da luz, passando de verde a castanho. Durante a evaporação, manifesta-se a tendência para "creeping" ("trepar" pelas paredes ao cristalizar) fenómeno que ocorre quando a velocidade de evaporação é grande e que deve ser controlado [23].

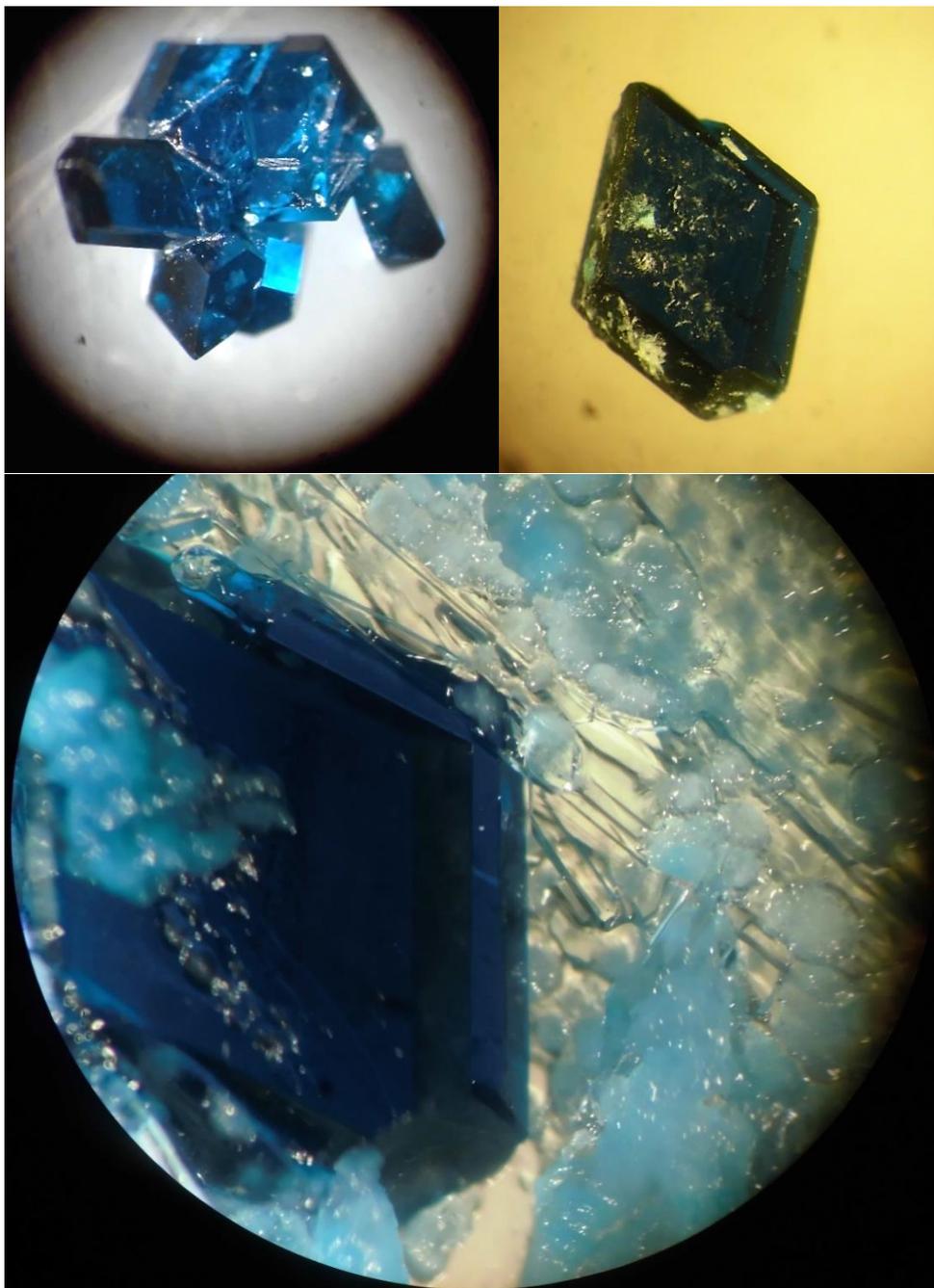


Figura 46 – Cristalização do acetato de cobre monohidratado, $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 10x, 30x e 63x. Obtido por reação de sulfato de cobre pentahidratado com NaOH, para obter o hidróxido de cobre $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Seguiu-se a reação com ácido acético. Estão presentes outros produtos da reação, visíveis na última fotomicrografia, que não foram analisados.

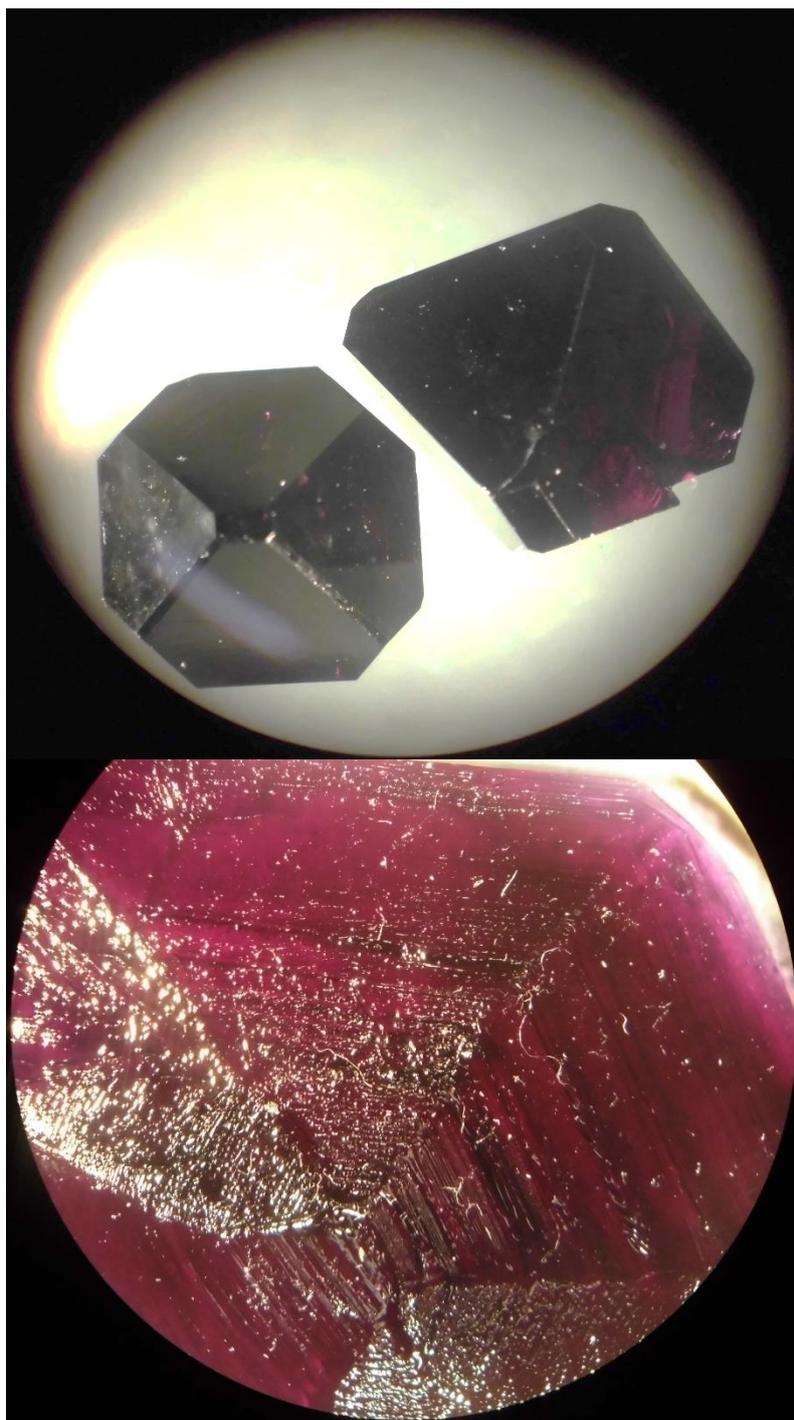


Figura 47- Cristais de alúmen de cromo, $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, sistema cúbico, eflorescentes, 10x. Os cristais parecem quase negros, mas são vermelho escuro/violeta por transmissão de luz, como se vê na fotomicrografia de baixo, num cristal tabular. São eflorescentes, perdendo água de hidratação, transformando-se num pó rosa de composição desconhecida [3,10, 24].

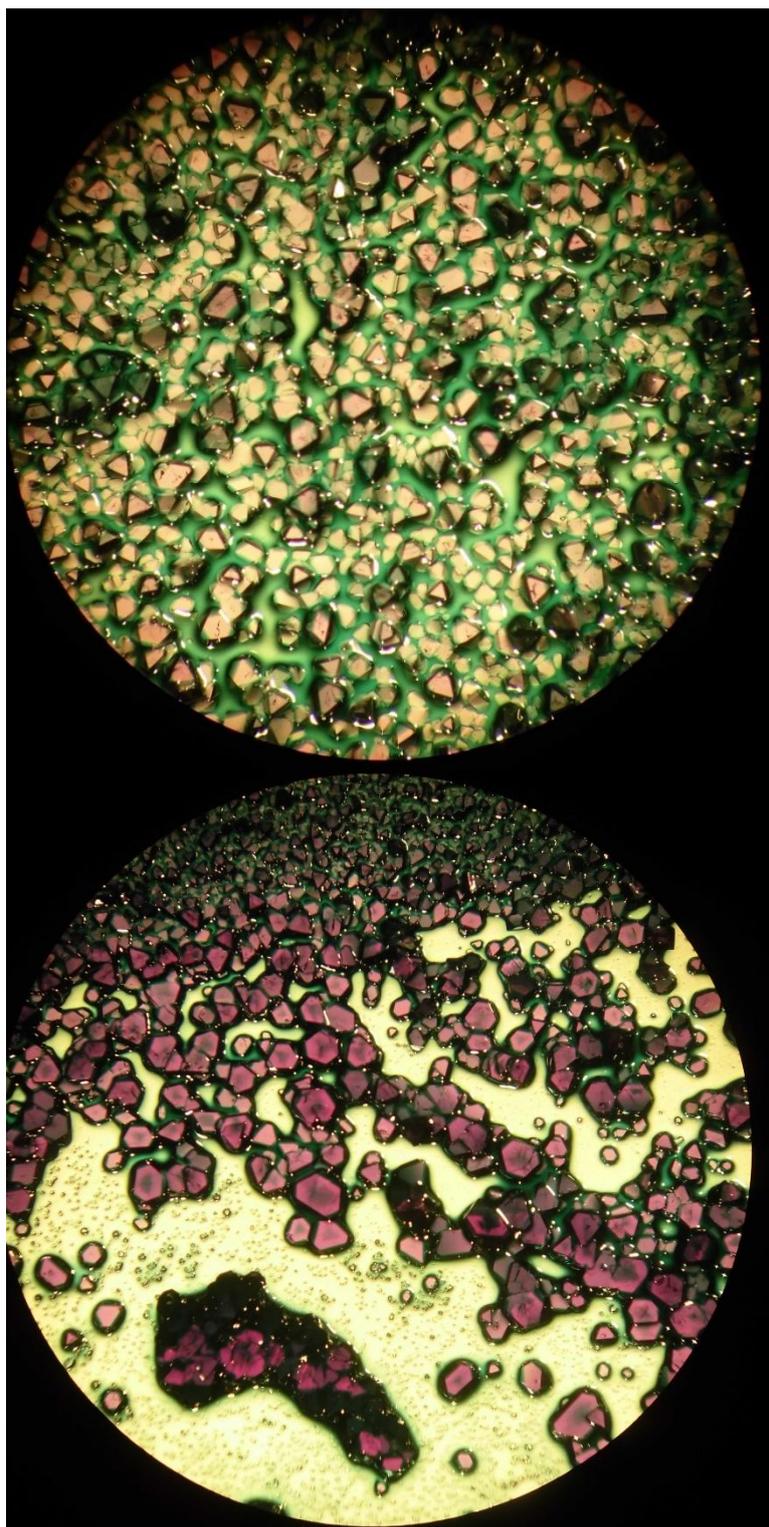


Figura 48 – Cristalização do alúmen de cromo, 10x. De notar o contraste entre as cores do composto sólido, violeta e da solução que é verde [10].



Figura 49 – Cristalização do alumínio de potássio, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, sistema cúbico, cristais tabulares, em cima. Em baixo, um cristal incolor do mesmo composto e dois cristais de soluções sólidas de álumenes de potássio e de cromo [3, 24].



Figura 50 – Cristalização de soluções sólidas de alúmen de potássio e de alúmen de cromo, 10x [3, 24].

Agradecimentos

Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Portugal, Centro de Química Estrutural – Project UIOB/00100/2020 (financiamento parcial). Clementina Teixeira agradece os equipamentos cedidos pelos GeoMuseus do IST, ao abrigo de uma colaboração com o Prof. Manuel Francisco Costa Pereira. Agradece também o empenho e competência demonstrados pela funcionária Anabela Graça, durante a montagem do módulo experimental, da exposição relacionada com este módulo e sobretudo pela apresentação das experiências dirigidas para os Júniores, durante o evento. Agradeço ainda à geóloga Carla Sofia Rocha a disponibilidade para discutir conceitos de Geologia e contribuir para a divulgação deste evento, junto dos visitantes (Séniore). Parte deste trabalho foi financiado pela autora principal do projeto.

Referências e Notas

- [1] – Parte do texto deste Capítulo foi adaptado do relatório da cadeira de Projeto de Química do DEQ/IST-UL, do aluno Erasmus E.C. P. Benedicto, 2009/2010, sob a orientação de Clementina Teixeira. As fotomicrografias foram feitas com máquina fotográfica fornecida pela supervisora, durante as aulas dessa cadeira. As fotos de Gonçalo Santos que participou também neste projeto em trabalho extracurricular foram feitas utilizando a sua câmara fotográfica. Toda a parte experimental deste projeto decorreu no Centro de Química Estrutural, com equipamentos adquiridos por financiamento de vários projetos Ciência Viva.
- [2] – São cada vez mais abundantes as publicações ligadas ao esoterismo e às propriedades curativas dos minerais, facto que é inequivocamente assinalado no texto original de E. Benedicto (<http://www.circulosagrado.com/cs/magia/cristais.php>, último acesso em 19/01/10). O texto deixou de estar disponível, mas como foi incluído no trabalho original manteve-se a sua referência.
- [3] – C. Teixeira, Os Cristais no Ensino e Divulgação da Química, Colóquio Ciências, Fundação Calouste Gulbenkian, 25, 20-36 (2000).
- [4] – <https://blog.helenacristais.com.br/zircao-e-seus-significados-e-propriedades/>, último acesso em 19/01/20.
- [5] – C. Teixeira em “Química e Arte: Sugestões para o Ano Internacional da Tabela Periódica 2019”, Livro dos Laboratórios Abertos 2019, eds. M.A.Lemos, C.Gomes de Azevedo, D.Simão, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, ISBN: 978-989-99508-6-3.
- [6] – C. Teixeira, V. André, N. Lourenço, M. J. Rodrigues, “Crescimento de Cristais por Nucleação Heterogénea: On the Rocks Revisited”, *Ciência e Tecnologia dos Materiais*, 19, nº1-2 (2007) 66-77.
- [7] – C. Teixeira, J. C. Poen de Wijs, H. Diogo, M. F. C. Pereira, G. Santos, M. Lancinha, M. Smith, “TALKING TO POEN”, a Project of Science and Art Developed in FACEBOOK: Crystal Growth, Chemical microscopy, Photomicrography and Symmetry, Comunicação oral, II Encontro Internacional da Casa das Ciências, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 14-16 de Julho de 2014. Apresentação: clementina talking to Poen de Wijs.pdf, DOI: 10.13140/RG.2.2.19367.44967 (consultar o resumo e o suplemento, na Researchgate).
- [8] – C. Teixeira, “Artesãos do Século XXI” - Artesanato observado ao microscópio, Catálogo da exposição, edição de autor, Projecto Ciência Viva, CV 100-2009/432, Centro de Química Estrutural e Departamento de Engenharia Química e Biológica, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, p 1-17, Dezembro 2009. DOI: 10.13140/RG.2.1.4313.2969. Consultar os numerosos suplementos (links) na ResearchGate, com os cartazes e montagens de fotomicrografias de reações químicas e cristalizações. Apresentam-se como anexos, em pdf na referida rede de profissionais.
- [9] – C. Teixeira, V. André, S. Chaves, H. Diogo, N. Lourenço, F. Meneses, “Água quase tudo...e cloreto de sódio: purificação do cloreto de sódio”, *Química, Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, 106, 18-29, 2007 https://www.researchgate.net/publication/234101140_gua_quase_tudo...e_cloreto_de_sdio_purificao_d_o_cloreto_de_sdio.
- [10] – C. Teixeira, T. Tasso de Figueiredo, G. Santos, Crystal Growth “On the Rocks”. Chemical Microscopy. Activities for the International Year of Crystallography 2014, Comunicação em Poster, II Encontro da Casa das Ciências, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 14-16 de Julho de 2014. Consultar o resumo e o poster.
- [11] – C. Teixeira, G. Santos, J. C. Poen de Wijs (a título póstumo), “Soprar: das bolas de sabão aos moinhos de vento. Um projecto de Ciência e Arte com Poen de Wijs”, comunicação oral, III Encontro Internacional da Casa das Ciências, ISEP, Porto, 11-13 de Julho 2016. É importante consultar o resumo e a comunicação, para ter acesso às imagens e à apresentação em slide show. Suplemento na Researchgate: SoprarBolasdeSabãoPoendeWijs, DOI: 10.13140/RG.2.2.15345.17767.
- [12] – C. Teixeira, “Windmills of Chemistry and the Art of Poen de Wijs”, Centro de Química Estrutural, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 10/9/2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.2321.2007. Suplemento em pptx, ScienceArtPoendeWijsWindmills, DOI: 10.13140/RG.2.1.4942.6408.
- [13] – C. Teixeira, exposição “Pedras que Brilham”, Fundação Eugénio de Almeida, Évora, de 5 de Outubro a 20 de Novembro de 2002.
- [14] – C. Teixeira, H. Diogo, M. F. C. Pereira, M. C. Oliveira, V. André, “Rede Cristalina: 25 anos de Divulgação em Química”, Apresentação de Projeto, VI Encontro Internacional da Casa das Ciências, Livro de Resumos, p75,76, 12 de Julho de 2019, FCUL, Lisboa.

- [15] – C. Teixeira, V. André, A. S. D. Ferreira, E. Lago, M.F.N. N.Carvalho, “On the Rocks...Occlusion of Dyes in Transparent Inorganic Crystals”, Proceedings of the 6th European Conference on Research in Chemical Education, 2nd European Conference on Chemical Education, A.F.Cachapuz ed., Universidade de Aveiro, 4-8 September 2001. DOI: 10.13140/2.1.3500.8966.
- [16] – <https://sicnoticias.pt/programas/admiravel-mundo-novo1/2020-01-01-Tornar-as-reacoes-quimicas-mais-limpas-e-sustentaveis>, acessado 19/1/20.
- [17] – C.Teixeira, "Microscopia Química e Cristais: Uma revolução Cultural Em Curso", Poster CP 224, XXI Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa de Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 11-13 de Junho de 2008. DOI: 10.13140/RG.2.1.4195.2808.
- [18] –<http://www.colegioweb.com.br/quimica/curvas-de-solubilidade>, último acesso em 20/01/20.
- [19] –<https://pt.wikipedia.org/wiki/Solubilidade>, último acesso em 20/01/20.
- [20] – H. P. Diogo, C. Teixeira, G. Santos, E. C. P. Benedicto, Retratos de uma molécula: salol. Observação da Cristalização por Termomicroscopia de Luz Polarizada e Microscopia Ótica, comunicação em poster, III Encontro Internacional da Casa das Ciências, ISEP, Porto, 11-13 de Julho 2016.
- [21] – C. Teixeira, G. Santos, J. A. Fortes, J. Peperkamp, “Cristais, Simetrias do GeCl₄, Arte e Tabela Periódica”, comunicação em Poster, VI Encontro Internacional da Casa das Ciências, FCUL, 10-12 de Julho 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.30815.20647.
- [22] – C. Teixeira, Gonçalo Santos, Erik C.P. Benedicto, “Reações Químicas e Formação de Cristais à Lupa Estereoscópica no Ano Internacional da Tabela Periódica 2019”, comunicação em Poster, VI Encontro Internacional da Casa das Ciências, FCUL, 10-12 de Julho 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.20057.4720.
- [23] – C. Teixeira, G. Santos, E. C. P. Benedicto, Microscopia Química: uma abordagem mediática da Química Inorgânica, Poster, III Encontro Internacional da Casa das Ciências, ISEP, Porto, 11-13 de Julho 2016.
- [24] – C. Teixeira, (Colaboradores: N. Lourenço, S. Matos, M. J. Rodrigues, P. Ferreira da Silva, N. Sousa), “On The Rocks” Crystallization on Rough Surfaces -video nº2, Departamento de Engenharia Química e Centro de Química Estrutural, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1096 Lisboa Codex, Julho1997, Junho 2000, ISBN 972-98598-0-9, p1-69. DOI: 10.13140/2.1.1493.2161.

Equipa

Famibs

Coordenação

Dulce Simão

Vasco Bonifácio

Palestras

Moisés Pinto

Ana Clara Marques

Rui G. dos Santos

Ermelinda Maços

Manuel Prieto

Mário Nuno Berberan e Santos

Ana Topete

Ana Paula Serro

Maria Filipa Ribeiro

Catarina Carrilho Ribeiro

Teresa Neuparth

Vasco Bonifácio

Módulos Experimentais

Ana Catarina Branco

Ana Knittel

Ana Paula Serro

Andreia Sofia Oliveira

Clementina Teixeira

Cristina Gomes de Azevedo

Daniel Simões Lopes

Diogo Caria Ferreira

Dulce Simão

Erik Benedicto

Fátima Rosa

Gonçalo Santos

Logística

Ana Vicente

Anabela Graça

Carla Salvador

Cristina Ribeiro

Isabel Leiria

Lurdes Ribeiro

Marta Coelho

Remígio Machado

NEQIST

Alexandre Júlio

Nuno Simões

Licínio Ferreira

Nadia Toffoletto

Marta Coelho

Paulo Ventura

Pedro Mattos

Pedro Nolasco

Remígio Machado

Rita Pires

Rui Prada

Sílvia Chaves

Vasco Bonifácio

Apoio na Realização

Ana Vicente

Anabela Graça

Carla Salvador

Isabel Leiria

Jorge Teixeira

Marta Coelho

NEQIST

Remígio Machado

Apoio Laboratorial

Alunos dos Mestrados em:

Engenharia Química

Engenharia Biológica

Escolas Participantes

Nos Laboratórios Abertos

Colégio Moderno

Colégio do Sagrado Coração de Maria, Lisboa

Colégio São João de Brito, Lisboa

Escola Básica e Secundária Gil Vicente, Lisboa

Escola Secundária António Damásio, Lisboa

Escola Secundária D. João II, Setúbal

Escola Secundária de Ponte de Sor

Escola Secundária Luís de Freitas Branco, Paço de Arcos, Oeiras

Escola Secundária Gago Coutinho, Alverca do Ribatejo

Escola Secundária José Gomes Ferreira, Lisboa

Escola Secundária do Lumiar, Lisboa

Escola Secundária Maria Amália Vaz de Carvalho, Lisboa

Escola Secundária da Ramada, Odivelas

Externato Flor do Campo, Ramada, Odivelas

Nos Laboratórios Abertos Junior

Colégio da Bafureira, Parede

Escola Básica e Secundária Gil Vicente, Lisboa

Escola Básica Eugénio dos Santos, Lisboa

Escola Básica 2,3 Marquesa de Alorna, Lisboa

Escola Básica 2,3 de Porto Alto, Benavente

Escola Básica 2,3 Professor Delfim Santos, Lisboa

Escola Básica 2,3 D. Dinis, Odivelas

Nos Laboratórios Abertos Kids

Colégio Atlântico, Pinhal de Frades, Seixal

Colégio do Sagrado Coração de Maria, Lisboa

Escola Básica 1 dos Coruchéus, Lisboa

Escola Básica 1 Pedro de Santarém, Lisboa

Escola Básica 1 São João de Deus, Lisboa

Patrocínios

