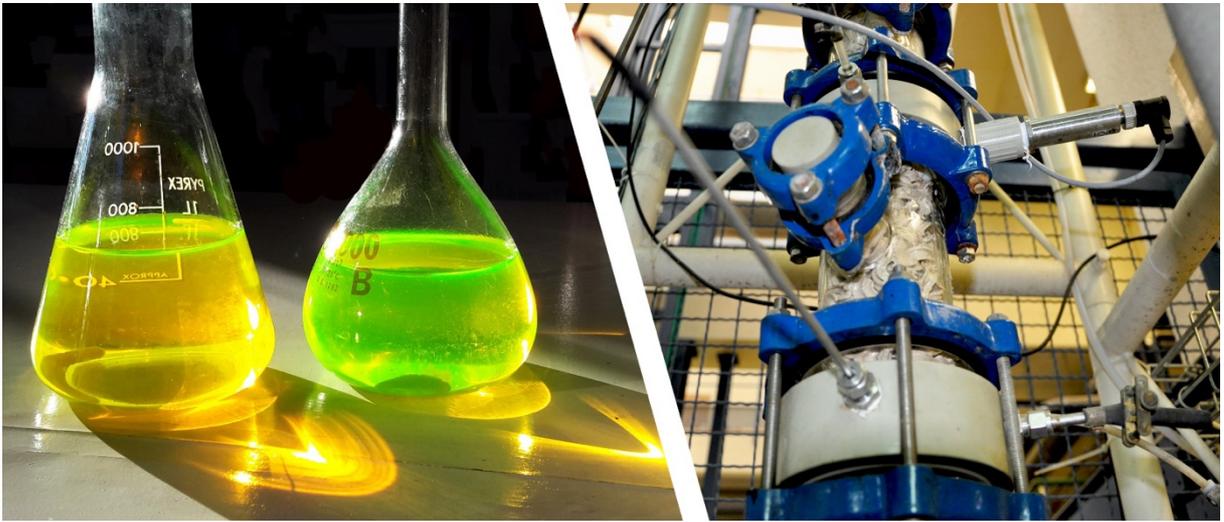




**DEQ**  
DEPARTAMENTO  
DE ENGENHARIA QUÍMICA  
TÉCNICO LISBOA



# Laboratórios Abertos

9-13 Maio 2022

Laboratórios Abertos *Online* 2022

Editado por:

Departamento de Engenharia Química

Instituto Superior Técnico

Edição de:

Vasco Bonifácio, Dulce Simão

Com a colaboração de:

Núcleo de Engenharia Química



Maio 2022

ISBN: 978-989-99508-9-4

# Índice

<b>Índice</b>	3
<b>Programa</b>	4
<b>Palestras</b>	4
<b>Experiências Laboratoriais</b>	4
<b>Prefácio</b>	5
<b>Palestras</b>	6
<i>À descoberta de uma nova vida para os plásticos</i>	7
<i>Catálise - A chave para a sustentabilidade</i>	13
<i>Lentes inteligentes</i>	20
<i>Carbono, o mau da fita?</i>	26
<i>Corrosão – Materiais e Ambiente</i>	33
<i>Como regar uma horta com água do mar?</i>	38
<i>Cor estrutural: Como obter cor sem usar corantes?</i>	41
<i>Plásticos: Resíduos indesejáveis ou uma fonte valiosa de matéria-prima?</i>	48
<i>Materiais com Memória</i>	54
<b>Experiências Laboratoriais</b>	60
<i>A -196 °C e não só!</i>	61
<i>Da Química à Engenharia Química</i>	72
<i>Aplicações da Engenharia Química</i>	82
<i>Escala piloto: Do laboratório para o processo industrial</i>	88
<i>Cristais Químicos, do Real ao Virtual</i>	87
<b>Equipa</b>	200

# Programa

9 a 13 Maio	
9:30h	Palestra
10:30 - 12:30h	Experiências nos laboratórios
14:30h	Palestra
15:30 - 17:30h	Experiências nos laboratórios

## Palestras

	9:30h	14:30h
9 Maio 2ª Feira	<b>À descoberta de uma nova vida para os plásticos</b> <i>Rosário Ribeiro, DEQ, IST</i> QA 1.1	<b>Catálise - a chave para a sustentabilidade</b> <i>Luísa Martins, DEQ, IST</i> QA 1.1
10 Maio 3ª Feira	<b>Lentes inteligentes</b> <i>Ana Paula Serro, DEQ, IST</i> QA 1.3	<b>Carbono, o mau da fita?</b> <i>Ana Paula Dias, DEQ, IST</i> GA2
11 Maio 4ª Feira	<b>Corrosão: Materiais e Ambiente</b> <i>João Salvador, DEQ, IST</i> GA2	<b>Reduzir o excesso de dióxido de carbono na atmosfera: a Engenharia Química pode ajudar?</b> <i>Carla Pinheiro, DEQ, IST</i> QA 1.3
12 Maio 5ª Feira	<b>Como regar uma horta com água do mar?</b> <i>Vítor Geraldes, DEQ, IST</i> QA 1.2	<b>Cor estrutural: como obter cor sem usar corantes?</b> <i>José Paulo Farinha, DEQ, IST</i> QA 1.4
13 Maio 6ª Feira	<b>Plásticos: resíduos indesejáveis ou uma fonte valiosa de matéria-prima?</b> <i>Ana Cristina Fernandes, DEQ, IST</i>	<b>Materiais com memória</b> <i>Amélia Almeida, DEQ, IST</i>

## Experiências Laboratoriais

<b>Escala piloto: do laboratório para o processo industrial</b> <i>Pedro Mendes, Remígio Machado, DEQ, IST</i>	<b>A -196 °C e não só!</b> <i>Vasco Bonifácio, DBE, IST</i> <i>Dulce Simão, DEQ, IST</i>
<b>Da Química à Engenharia Química</b> <i>Sílvia Chaves, Fátima Rosa, Rosinda Ismael, DEQ, IST</i>	<b>Química: do real ao virtual</b> <i>Clementina Teixeira, Dulce Simão, DEQ, IST</i> <i>Miguel Malheiro, Rui Prada, Daniel Simões, DEI, IST</i> <i>Vasco Bonifácio, DBE, IST</i>

# Prefácio

O livro dos Laboratórios Abertos 2022 constitui uma coletânea das palestras e das experiências que foram disponibilizadas às escolas do ensino secundário, que visitaram o departamento de Engenharia Química do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, durante a semana de 9 a 13 de Maio de 2022.

Enquadra-se esta iniciativa na ação de divulgação de Ciência e Tecnologia promovida pela Universidade para os jovens, nas áreas da Química, Engenharia Química e Engenharia de Materiais. Destina-se a divulgar a importância destas matérias na construção de uma sociedade mais justa, igualitária e inclusiva, baseada em conhecimentos científicos que permitam o desenvolvimento de um mundo sustentável num futuro que se quer para todos.

Os Laboratórios Abertos 2022 regressaram ao formato presencial, tendo recebido cerca de 700 alunos e 40 professores do ensino secundário para participarem num conjunto de palestras e experiências interativas. Estas atividades foram dinamizadas por Docentes, Não-Docentes e Estudantes do IST.

A edição de 2022 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 foram apresentadas aos alunos do ensino secundário. Foram escolhidos oradores e temas relacionados com alguma da Ciência que se faz no Instituto Superior Técnico e que pudessem também despertar nestes jovens o interesse pela ciência, pela tecnologia e pela investigação, fundamentais para a construção da sociedade do futuro, mais resiliente e apta a resolver problemas e a encontrar soluções.

## À descoberta de uma nova vida para os plásticos

M. Rosário Ribeiro

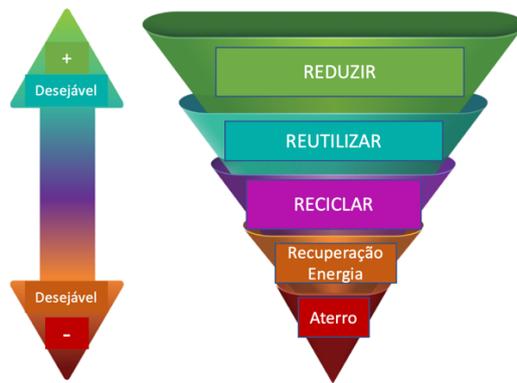
Centro de Química Estrutural, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Nos últimos 60 anos, os materiais plásticos tornaram-se essenciais em vários sectores da vida quotidiana e constituem um pilar da economia moderna.

O termo "plástico" vem da palavra grega "plastikos" que significa moldado ou capaz de ser moldado. Os plásticos são materiais fortes, leves, duráveis e baratos, apresentam grande resistência à corrosão e elevadas propriedades térmicas e eléctricas. Cada plástico é concebido com características específicas que o tornam ideal para a aplicação a que se destina. A variedade destes materiais e a versatilidade das suas propriedades são a razão para o elevado número de sectores em que são aplicados tais como: embalagem, construção, agricultura, indústria automóvel, aeronáutica, electrónica, etc. Em 2018, foram produzidas em todo o mundo 349 milhões de toneladas de plástico [1] e espera-se que este número quadruplique até 2050 [2], conseqüentemente, os resíduos plásticos (RP) continuam a crescer ano após ano. Devido à baixa degradabilidade dos materiais plásticos, estes podem permanecer por centenas de anos na terra. Assim, os RP constituem um grande problema, devido não só à poluição ambiental, mas também à perda de valiosos recursos naturais.

### A Gestão de Resíduos e a Economia Circular para Plásticos

De forma a diminuir o impacto ambiental, a gestão de RP deve seguir uma abordagem hierárquica, segundo a seguinte ordem sequencial: minimização, reutilização, reciclagem, recuperação de energia e deposição em aterro [3].



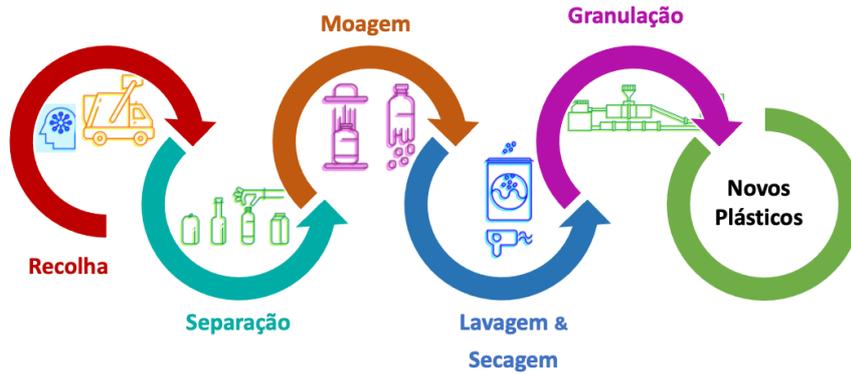
**Figura 1.** A Hierarquia de gestão de resíduos.

De facto, actualmente, a necessidade de implementação de um modelo alternativo de uma economia circular para o plástico é amplamente reconhecida [4]. Neste contexto, a redução do consumo e a reutilização do plástico são duas acções extremamente importantes, embora dependendo fortemente da acção da população e dos agentes económicos. De notar também que nem todos os resíduos são reutilizáveis devido ao seu grau de contaminação.

A **reciclagem** surge assim, como uma abordagem eficaz que permite diminuir o consumo de matérias-primas, a energia associada ao fabrico de polímeros virgens, a emissão de gases em comparação com aterros e incineradores e, a melhoria da circularidade [5,6], enquanto gera empregos e crescimento sustentável.

Podemos considerar dois tipos de reciclagem: a mecânica e a química.

A **reciclagem mecânica (RM)** consiste numa transformação mecânica sem alteração da estrutura química do polímero. A RM processa uma corrente de um único tipo de plástico, que foi previamente separado, e é seguidamente lavado e granulado para produzir reciclados que estão prontos para aplicações de moldagem. As diferentes fases do processo encontram-se esquematizadas na Figura 2.

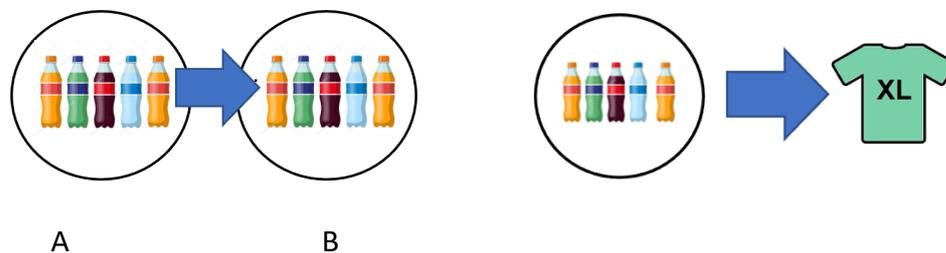


**Figura 2.** Fases da reciclagem mecânica.

Dependendo do tipo de resíduos a reciclar e do produto final obtido, podemos classificar a reciclagem mecânica em duas categorias (Figura 2):

*Reciclagem primária* - Utiliza resíduos não contaminados e produz polímeros de qualidade, usados para as mesmas aplicações que os originais.

*Reciclagem secundária* - Processa resíduos mistos e contaminados e produz polímeros de menor qualidade usados em aplicações menos exigentes.



**Figura 3.** Reciclagem primária (A) e reciclagem secundária (B).

Apesar de economicamente, a reciclagem mecânica ter custos globais limitados, gerar receitas significativas e reduzir a produção de CO<sub>2</sub>, apresenta também algumas limitações. A maior das quais é a degradação das cadeias do polímero após um certo número de ciclos de processamento, havendo um número de vezes limitado que um plástico pode ser submetido a processamento térmico.

A **reciclagem química (RQ)**, por seu lado, faz parte de um conjunto de tecnologias avançadas de conversão de RP e, recorre a processos químicos para quebrar as ligações entre os monómeros. Assim, o plástico é decomposto a nível molecular, originando novos produtos químicos de elevado valor acrescentado ou permitindo a recuperação

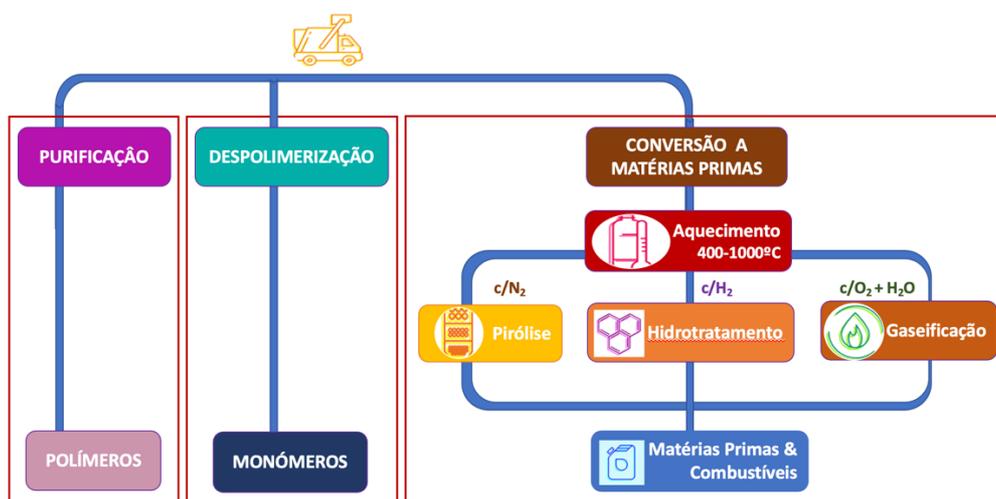
do monómero para fabrico de novos produtos plásticos [7,8]. A RQ permite reciclar RP que são difíceis ou não economicamente viáveis de reciclar mecanicamente. Desta forma, é possível aumentar as taxas de reciclagem e desviar os RP de outras práticas menos desejáveis dentro da hierarquia de gestão de resíduos tais como o aterro ou a incineração. De salientar também que a RQ fornece a cadeia de produção de plásticos com matérias-primas virgens, iguais às derivadas de reservas fósseis.

Com base no tipo de produto formado podemos distinguir 3 tipos diferentes de RQ:

*Purificação* – consiste na dissolução do plástico num solvente apropriado, de forma a remover aditivos e contaminantes sem alteração da estrutura molecular, e subsequente reprecipitação do plástico purificado.

*Despolimerização* – é a reacção inversa da polimerização, e dá origem a monómero e/ou oligómeros.

*Reciclagem à matéria-prima (feedstock)* – usa processos termoquímicos e catalíticos para converter os RP em hidrocarbonetos utilizados como matéria-prima na indústria petroquímicas. Alguns dos principais tipos de processos usados neste contexto encontram-se representados na Figura 4.



**Figura 4.** Categorias de reciclagem química, com base tipo de produto formado.

A RQ abrange uma vasta gama de processos para converter os RP em produtos valiosos. As vias mais investigadas são a pirólise ou craqueamento térmico e catalítico [9]. No entanto, o craqueamento térmico requer temperaturas elevadas para conseguir uma conversão elevada das matérias-primas e resulta em produtos com uma vasta gama de

distribuição de peso molecular. Estes problemas são minimizados quando um catalisador é adicionado ao sistema, observando-se uma redução da temperatura de processamento e um aumento da selectividade aos produtos desejados.

A RQ apresenta várias vantagens tais como: permite a reciclagem de misturas de plásticos diferentes, aceita um determinado grau de contaminantes e produz produtos novos com a mesma qualidade do original.

De notar, no entanto, que certos tipos de plástico, pelas características dos materiais que o compõem, não podem ser reciclados de forma sustentável. Nesses casos, a **recuperação energética (RE)** é uma alternativa valiosa e mais eficiente que a deposição em aterro. De facto, os resíduos plásticos apresentam um elevado poder calorífico fornecendo um substituto à combustão de combustíveis fósseis. A RE permite ainda reduzir o volume de RP e decompor resíduos tóxicos e contagioso, sendo assim ideal para a reciclagem de aplicações médicas e embalagem de produtos perigosos. No entanto, a nível ambiental apresenta vários problemas, contribuindo para a emissão de gases com efeito de estufa e para as alterações climáticas (1 ton de resíduos, liberta 1,1 ton CO<sub>2</sub> para a atmosfera) bem como originando uma variedade de poluentes (NO<sub>x</sub>, partículas em suspensão, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>).

Em conclusão, dado o uso diversificado de plástico pelas sociedades, uma solução única para todos os tipos de plástico não é viável e estratégias de reciclagem diversificadas e complementares são necessárias. Nesta perspetiva, espera-se que futuramente a reciclagem química constitua um valioso complemento à reciclagem mecânica, especialmente para materiais difíceis de reciclar.

Uma coisa é certa, com uma produção estimada em mais de um bilhão de toneladas até 2050, os plásticos vieram para ficar.

Assim, é imperioso **promover uma Economia Circular para o plástico**, para que este nunca se torna um desperdício ou poluição!...

## Referências

[1] PlasticsEurope. Plastics - the Facts 2019. 2019; Disponível em: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data>.

[2] Panel S and TA. Plastics and the circular economy. 2018.

- [3] M. A. Hazrat, M. G. Rasul, M. M. K. Khan, A. K. Azad, and M. M. K. Bhuiya, "Utilization of polymer wastes as transport fuel resources a recent development," *Energy Procedia*, 61, (2014) 1681–1685.
- [4] European Commission, 2018. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy COM/2018/028. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%253A2018%253A28%253AFIN>
- [5] C.-T. Li, H.-K. Zhuang, L.-T. Hsieh, W.-J. Lee, M.-C. Tsao, PAH emission from the incineration of three plastic wastes, *Environ. Int.* 27 (1) (2001) 61–67.
- [6] O. Eriksson, G. Finnveden, Plastic waste as a fuel - CO<sub>2</sub>-neutral or not? *Energy Environ. Sci.* 2 (9) (2009) 907–914.
- [7] Ragaert, K., Delva, L. & Van Geem, K. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Manag.* 69, 24–58 (2017).
- [8] Hamad, K., Kaseem, M. & Deri, F. Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works. *Polym. Degrad. Stab.* 98, 2801–2812 (2013)
- [9] Al-Salem, S. M., Lettieri, P. & Baeyens, J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Manag.* 29, 2625–2643 (2009).

## Catálise - A chave para a sustentabilidade

Luísa M.D.R.S. Martins

Centro de Química Estrutural, Institute of Molecular Sciences, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

A aceitação de que a indústria química não deve afetar negativamente o meio ambiente para as gerações futuras constitui a força motriz para o desenvolvimento da *química verde*, uma abordagem transversal a todos os estágios do desenvolvimento de um processo químico. Esta aspiração pode ser resumida numa única palavra: *sustentabilidade* (Figura 1).



**Figura 1.** Os três pilares da sustentabilidade: ambiental, económico e social.

O desenvolvimento e a produção sustentáveis atendem às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades. Os problemas que se pretende resolver são:

- o esgotamento dos recursos finitos de petróleo, gás e minerais;
- a produção de resíduos, alguns deles prejudiciais aos organismos vivos;
- a utilização de reagentes e processos que apresentam risco para a saúde humana e para o meio ambiente; e

- a utilização de produtos que ao serem descartados não se degradam facilmente.

Assim, é objetivo da *química sustentável* desenvolver tecnologias que utilizem menos matérias-primas e menos energia, que maximizem a utilização de fontes renováveis, e minimizem ou eliminem o uso de produtos químicos perigosos.

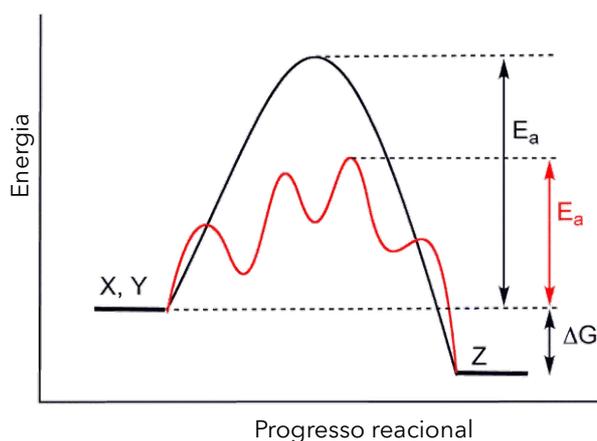


**Figura 2.** Os doze princípios da química verde [3].

No início da década de 1990, quando o termo *química verde* [1,2] foi introduzido, foi produzido um conjunto de 12 princípios para orientar a indústria química: os *princípios da química verde* (Figura 2). O princípio número 9 é a *catálise*.

A catálise é a ciência de acelerar reações químicas. Em geral, matérias-primas disponíveis são convertidas em moléculas mais complexas que permitem a criação de uma grande variedade de produtos para diversos sectores industriais.

Os catalisadores garantem que essas reações ocorrem de uma maneira eficiente, conduzem a rendimentos elevados e evitam subprodutos indesejados [4]. Isto é conseguido através da oferta de um (ou mais) novo(s) estado(s) de transição para a reação química, com menor energia de ativação, sem modificar a sua variação da energia de Gibbs padrão global (Figura 3).



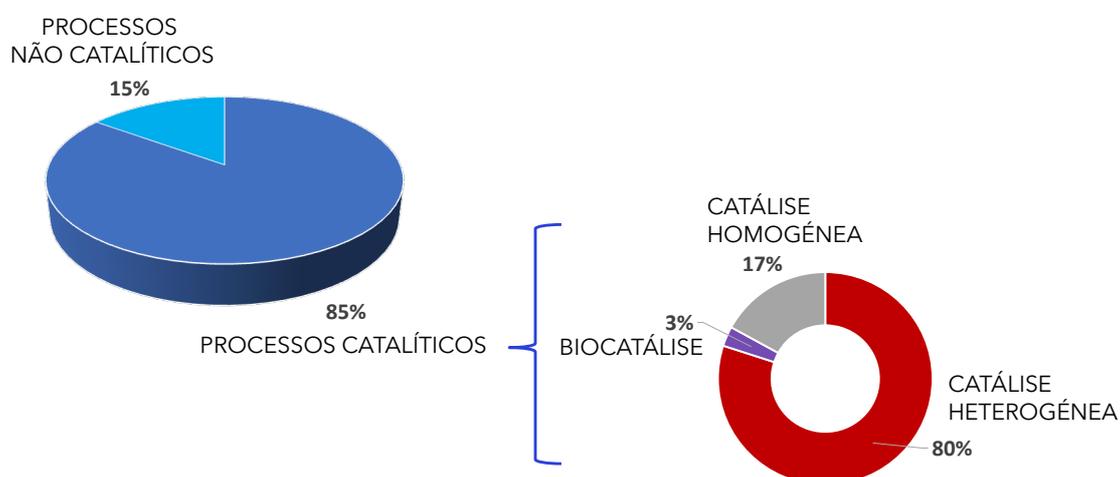
**Figura 3.** Comparação da energia de ativação de uma reação  $X + Y \rightarrow Z$  não catalisada (linha preta) e catalisada (linha vermelha).

Consequentemente, a catálise é um fator chave para o desenvolvimento sustentável da economia mundial [4]. Algumas das vantagens da utilização de catalisadores em processos químicos industriais são:

- eficiência atômica – permite a ocorrência de reações alternativas com melhor economia atômica e, assim, reduz o desperdício;
- eficiência energética – afeta as condições reacionais, reduzindo a energia requerida, ao diminuir a temperatura e/ou pressão usadas;
- eficiência económica – permite controlar os passos reacionais com maior precisão, reduzindo o seu tempo e a formação de produtos secundários, e tornando mais fácil separar e purificar o produto desejado.

Presentemente, a maioria dos processos químicos (85–90%), respeitantes a alimentação, saúde, combustíveis e energia, envolve pelo menos um passo catalítico (Figura 4), tornando os catalisadores indispensáveis às necessidades da sociedade atual. O valor económico da catálise é, portanto, imenso!

A catálise é geralmente classificada em subáreas de acordo com as características específicas dos materiais catalíticos. Os *catalisadores homogéneos* (mais frequentemente os pré-catalisadores) operam mais seletivamente e a temperaturas inferiores a 200 °C, enquanto os *catalisadores heterogéneos* são facilmente reciclados e permitem processos a temperaturas elevadas, sendo preferidos para a maioria dos processos industriais (Figura 4). Recentemente, uma nova área da catálise faz uso pleno da potencial sinergia dos tipos de catalisadores homo- e heterogéneos, a *catálise suportada*. Outras subáreas da catálise, recentes, mas muito promissoras são a *biocatálise*, a *fotocatálise* e a *electrocatalise*.



**Figura 4.** Processos catalíticos na indústria química (esquerda) e catálise heterogénea comparada com outros processos catalíticos industriais (direita).

Embora a maioria dos processos catalíticos industriais para a produção de *commodities* de valor acrescentado tenha sido descoberta e desenvolvida na segunda metade do século 20, é urgente o seu melhoramento com vista a um futuro sustentável, nomeadamente à premente descarbonização.

É necessário investir no *design* e implementação de novos processos catalíticos mais robustos, ativos, seletivos (100%) e energeticamente eficientes.

Assim, na transição para fontes de energia mais limpas, baseada em elementos simples presentes em grandes quantidades como a biomassa, a luz solar, o dióxido de carbono e a água, os maiores desafios para a catálise podem ser divididos em três áreas:

- separação eletrocatalítica de água para a produção de hidrogénio como transportador de energia,
- conversão de dióxido de carbono em produtos de valor acrescentado, e
- conversão de biomassa em produtos de valor acrescentado.

Relativamente ao potente gás de estufa dióxido de carbono, existem já várias formas de o converter, incluindo a síntese de compostos orgânicos por hidrogenação a, *e.g.*, ácido fórmico, metano, éter dimetílico, metanol (Figura 5) e outros produtos hidrocarbonetos tais como etileno e propileno. Estes produtos podem ser facilmente utilizados diretamente como combustíveis (ou componentes de combustível) pela tecnologia existente, ou inseridos nas cadeias de produção de *commodities* de valor acrescentado de vários sectores industriais.



**Figura 5.** Fábrica na Islândia de produção de metanol a partir de dióxido de carbono [5].

No entanto, o dióxido de carbono é inerte e termodinamicamente muito estável, pelo que a sua conversão requer o consumo elevado de energia e catalisadores altamente ativos. É, assim, urgente encontrar os catalisadores “ideais” capazes de operar sob condições reacionais moderadas.

Métodos de ativação baseados em irradiação de micro-ondas, mecanoquímica, sonoquímica, plasma, fotoquímica e electroquímica são consideradas abordagens sustentáveis para aumentar velocidades, reduzir tempos reacionais enquanto aumentam rendimentos e seletividades. A produção de catalisadores e as reações em

que irão ser aplicados deverão beneficiar da utilização destas tecnologias sustentáveis (Figura 6).

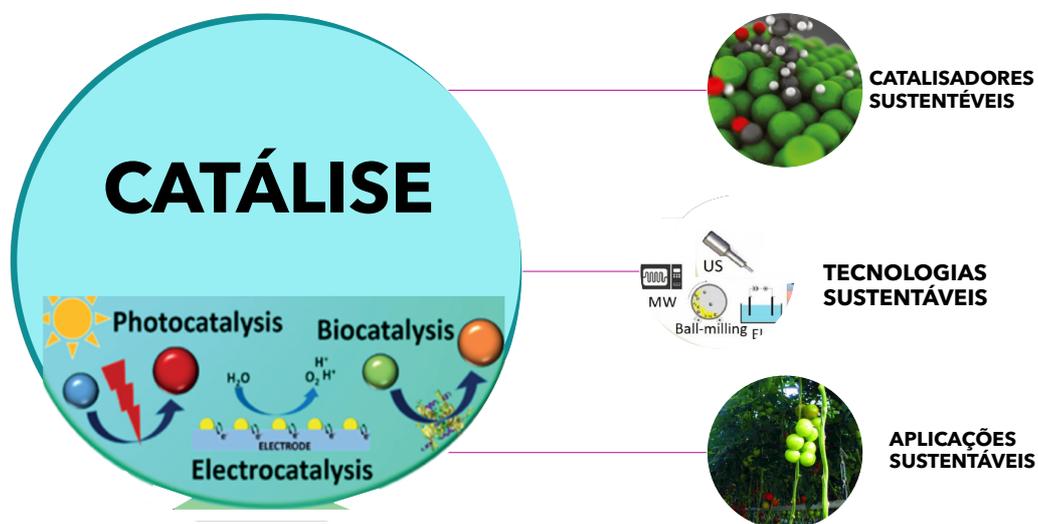


Figura 6. Catálise sustentável.

É ainda crucial avaliar a sustentabilidade dos novos processos catalíticos utilizando métricas bem definidas (*métricas da química verde*, Tabela 1) e uma abordagem multivariável que permita quantificar a eficiência ou sua performance ambiental [6,7]. Atualmente falta universalidade e concomitante aplicabilidade a estas métricas, sendo necessário continuar a investir no seu aperfeiçoamento.

**Tabela 1.** Exemplos de métricas da química verde [7].

<b>Parameter</b>	<b>Formula</b>
<b>E- Factor</b>	$E = \frac{\text{total weight of all waste generated in technological or industrial process (in kilogram)}}{\text{per kilogram of a product}}$
<b>Atom Economy (AE)</b>	$AE(\%) = \frac{\sum \text{Molecular Weigh of the products}}{\sum \text{Molecular Weigh of the reagents}} \times 100$
<b>Atom Efficiency (AEf)</b>	$AEf = AE(\%) \times \text{Yield}$
<b>Mass Intensity (MI)</b>	$MI = \frac{\text{Total mass used in a process (in kilogram)}}{\text{Mass of final product (in kilogram)}}$
<b>Mass productivity (MP)</b>	Mass productivity (%) = $MI \times 100$
<b>Reaction Mass Efficiency (RME)</b>	$RME = \frac{1}{1 + E_m}$ where $E_m$ is a value of E-factor based on mass
<b>Atom Utilization (AU)</b>	$MI = \frac{\text{mass of the final product}}{\text{total mass of all the substances produced}} \times 100$
<b>Solvent and catalyst environmental impact parameter (f)</b>	$f = \frac{\sum \text{mass of reaction and postreaction solvents and materials} + \text{mass of catalysts used}}{\text{mass of final product}}$

Nesta palestra serão discutidos os tópicos acima e apresentados exemplos da contribuição do Instituto Superior Técnico para o desenvolvimento da catálise sustentável.

## Referências

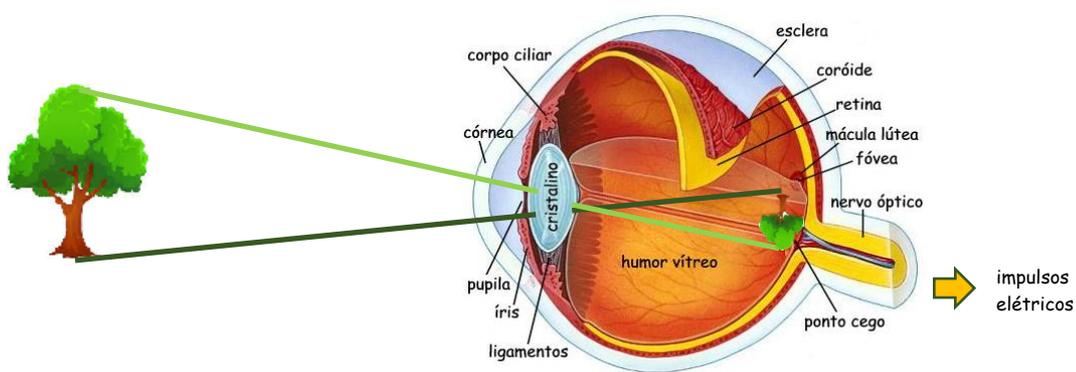
- [1] P.T. Anastas, J.C. Warner, Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press, 1998.
- [2] P.T. Anastas, J.B. Zimmerman., Green Chem. 2019, 21, 6545–6566.
- [3] [www.compoundchem.com](http://www.compoundchem.com) (acedido a 02.05.2022).
- [4] R.A. Sheldon, Engineering a more sustainable world through catalysis and green chemistry, J. R. Soc. Interface 13, 116, 2016.
- [5] <https://www.essentialchemicalindustry.org> (acedido a 02.05.2022).
- [6] R.A. Sheldon, Metrics of green chemistry and sustainability: past, present, and future, ACS Sustain. Chem. Eng. 2018, 6, 32–48.
- [7] P.T Anastas (ed.) Handbook of Gree Chemistry, Green Metrics, vol. 11, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2018.

## Lentes inteligentes

Ana Paula Serro

Centro de Química Estrutural, Institute of Molecular Sciences, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa

O olho é o segundo órgão mais complexo do corpo humano, depois do cérebro. É capaz de absorver e processar mais de dez milhões de informações por segundo e é através dele que apreendemos mais de 85% do conhecimento que adquirimos durante a vida. Quando olhamos para um objeto, a luz refletida por ele atravessa a córnea, chegando à íris (a parte colorida do olho). No centro desta, a pupila contrai ou dilata instantaneamente, controlando a quantidade de luz que entra no cristalino, a lente do olho. Este permite focar a imagem sobre a retina, na parte posterior do olho, onde células fotoreceptoras a convertem em impulsos elétricos que chegam ao cérebro através do nervo óptico. O processamento destes sinais no cérebro permite-nos ter a noção da intensidade da luz e da profundidade, bem como diferenciar milhares de cores/tonalidades, resultando no que chamamos de "visão" (Figura 1).

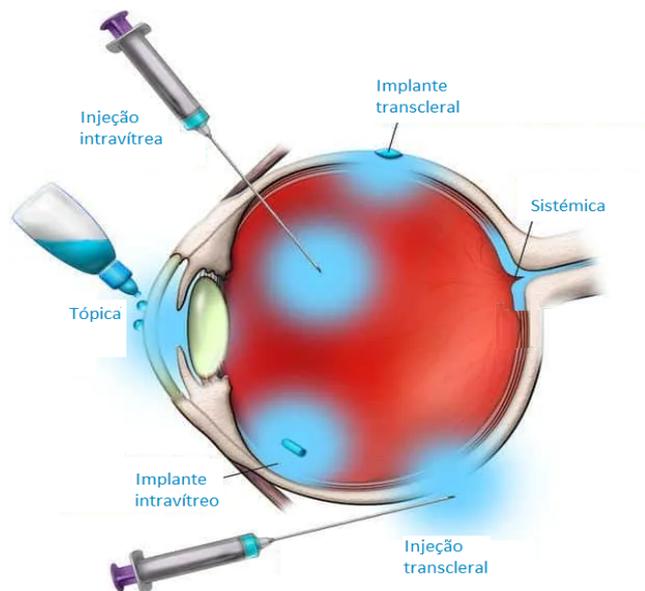


**Figura 1.** A anatomia do olho e o mecanismo da visão.

São inúmeros os problemas oculares que podem limitar a nossa percepção visual. Contudo, estima-se que mais de 80% possam ser evitados ou curados. Os erros refractivos encontram-se entre os mais comuns: a miopia (dificuldade em ver ao longe),

a hipermetropia (dificuldade em ver ao perto), o astigmatismo (visão distorcida a todas as distâncias) ou a presbiopia (perda da capacidade de focar ao perto, que ocorre depois dos 40-50 anos de idade), são em geral corrigidos usando óculos ou lentes de contacto. Já patologias crónicas relacionadas com o envelhecimento ou com doenças sistémicas como a diabetes, hipertensão, esclerose múltipla, ou artrite reumatoide, requerem procedimentos cirúrgicos e/ou tratamentos farmacológicos continuados. É o caso do glaucoma (dano do nervo ótico, em geral devido à elevada pressão intraocular), da degeneração macular (lesão progressiva da área central da retina), síndrome do olho seco, catarata (opacificação do cristalino) e retinopatia diabética. Finalmente, doenças agudas como a ceratite, conjuntivite ou uveíte (inflamações de diferentes tecidos oculares causadas em geral por agentes microbianos, mas que também podem ter origem alérgica ou imunitária) são tratadas através da aplicação tópica de medicamentos.

Nos últimos anos, o aparecimento de novos princípios ativos mais eficazes constituiu um avanço significativo para o prognóstico de muitas destas doenças. No entanto, limitações inerentes à forma de administração dos mesmos têm limitado o sucesso dos tratamentos (Figura 2).



**Figura 2.** Vias de administração dos fármacos ao olho.

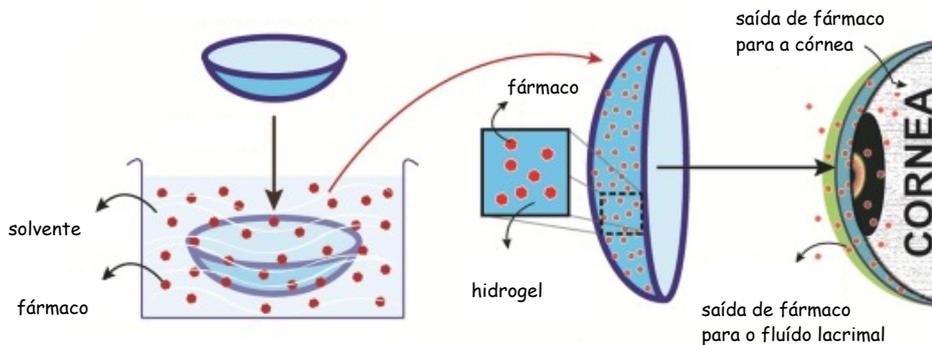
A veiculação de fármacos ao segmento posterior do olho é particularmente desafiante. De facto, a córnea, conjuntiva e esclera, juntamente com as barreiras hemato-oculares

que separam o sangue dos fluídos intraoculares, impedem que substâncias estranhas alcancem os tecidos mais internos do olho. Por esse motivo, a via tópica (por exemplo, gotas oculares) é geralmente utilizada para tratar doenças do segmento anterior, tais como o glaucoma, conjuntivite, ceratite e olho seco. A administração sistêmica é uma alternativa, mas são necessárias doses elevadas dos fármacos para atingir níveis terapêuticos nos tecidos alvo, o que pode levar a efeitos secundários indesejáveis. A via transcleral/periocular proporciona uma vasta área de administração e permite a penetração de moléculas relativamente grandes. No entanto, os mecanismos de eliminação de fármacos e as barreiras estáticas, dinâmicas e metabólicas, podem impedir que se alcancem as concentrações necessárias. As injeções/implantes intraviteos são a forma mais directa e eficaz de se fazer chegar os fármacos à parte de trás do olho, mas são invasivas e podem causar complicações sérias, como endoftalmite (infecção interna do olho), descolamento da retina, hemorragia intravitea ou catarata. Embora estudos recentes tenham comprovado o elevado potencial de novos sistemas transclerais/perioculares e intraviteos, a via tópica continua a ser a forma de tratamento mais atractiva tanto para os segmentos anterior do olho, como para o posterior, devido a uma série de razões relacionadas com a segurança, facilidade de utilização e controlo dos tratamentos.

A biodisponibilidade dos fármacos (i.e., a capacidade de serem absorvidos e atuarem nos tecidos alvo), quando administrados na forma de colírios, é em geral inferior a 5% [1], devido não só às barreiras naturais do olho, mas também aos mecanismos protetores, como o pestanejar e o lacrimejar, que fazem com que grande parte do líquido aplicado não entre no olho. Face à baixa taxa de penetrabilidade dos fármacos nos tecidos oculares e ao curto tempo de residência no olho, os colírios são formulados com elevadas concentrações dos fármacos e devem ser aplicados frequentemente. A absorção pela conjuntiva e a drenagem pelo ducto nasolacrimonial, faz com que quantidades significativas de fármaco possam alcançar, através da corrente sanguínea, outros órgãos importantes (como o coração ou os rins) e causar danos ou efeitos secundários indesejados. Por outro lado, a necessidade de aplicações frequentes pode conduzir a uma baixa adesão dos doentes à terapêutica e limitar a eficácia desta.

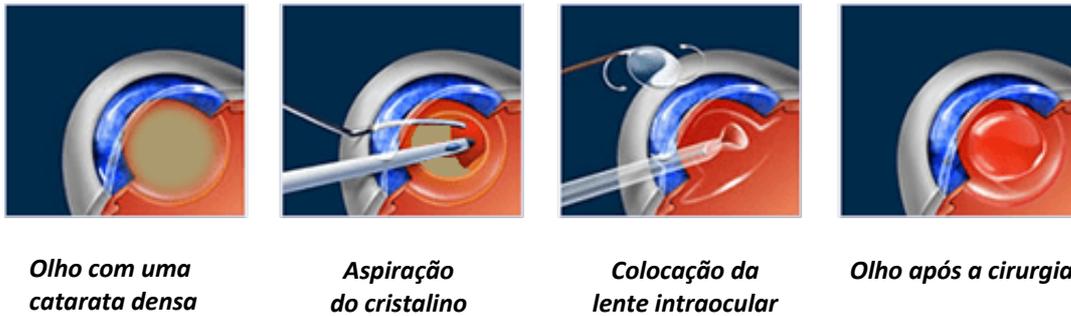
A fim de aumentar a biodisponibilidade dos fármacos no olho, têm sido estudadas diversas estratégias, por exemplo, o uso de espessantes nos colírios ou o recurso a micro

emulsões e a micro/nano partículas onde os fármacos são encapsulados. A utilização de lentes de contacto como plataformas para a veiculação dos fármacos, tem suscitado particular interesse devido à sua biocompatibilidade e ao contacto prolongado com o olho (Figura 3).



**Figura 3.** Lentes de contacto como dispositivos terapêuticos com ação farmacológica.

As lentes podem ser desenhadas de forma que a sua estrutura química permita controlar a libertação dos fármacos, assegurando que uma quantidade adequada dos mesmos é libertada durante o tempo necessário. A utilização destes dispositivos carregados com fármacos, requer quantidades muito mais baixas dos mesmos, comparativamente com os colírios convencionais, e evita aplicações repetidas, o que aumenta o conforto para os utilizadores e reduz as perdas de fármaco e os efeitos secundários. Estima-se que a biodisponibilidade dos fármacos administrados por esta via seja cerca de 10 vezes superior à dos colírios o que se traduz numa melhoria substancial da eficácia do tratamento [2]. As lentes intra-oculares, utilizadas para substituição do cristalino (por exemplo na cirurgia à catarata) também podem ser utilizadas para a veiculação de fármacos, mas, sendo dispositivos permanentes, apenas são úteis para se evitarem complicações pós-operatórias, já que perdem o seu efeito terapêutico quando a maior parte do fármaco é libertado (Figura 4).



**Figura 4.** Cirurgia à catarata (implantação de lente intraocular).

O grande desafio associado ao desenvolvimento destes dispositivos é garantir a sua eficácia e segurança. Se por um lado eles devem assegurar níveis terapêuticos de fármaco no olho durante o tempo desejado, por outro lado devem ser bem tolerados pelo olho e não induzir qualquer tipo de irritação ou resposta biológica adversa. Para assegurar os perfis de libertação dos fármacos pretendidos, podem seguir-se diversas estratégias: incorporar na matriz polimérica ligandos/monómeros funcionais com afinidade para os fármacos, encapsular os fármacos em nanopartículas que os protegem do meio exterior e também controlam a sua libertação e incorporá-las nas lentes ou criar barreiras externas (revestimentos) ou internas (inclusão de moléculas específicas que constituem obstáculos à difusão dos fármacos através da lente) que retardem a libertação dos mesmos [3]. Estas lentes tornam-se ainda mais “inteligentes” quando são constituídas por polímeros que são capazes de responder a estímulos como a temperatura, pH, luz ou presença de certas biomoléculas, sofrendo alterações estruturais que garantem uma libertação adequada do fármaco na situação requerida. Para terminar, não nos podemos esquecer que, uma vez que estes dispositivos são colocados em contacto direto com o olho (lentes de contacto) ou introduzidos dentro do mesmo (lentes intraculares), o passo final da sua produção deve ser a esterilização, por forma a garantir a sua segurança biológica. A escolha do método e condições a utilizar na esterilização é também um desafio, já que além de se ter que assegurar que se mantém a integridade e propriedades adequadas dos materiais (em geral hidrogéis, bastante sensíveis), deve-se garantir que os fármacos mantêm a sua atividade e que os perfis de libertação não são afetados negativamente.



**Figura 4.** (a) Desinfecção (redução do número de microrganismos nocivos) versus (b) esterilização terminal (completa remoção/inativação os microrganismos) no blister com radiação ou calor húmido.

## Referências

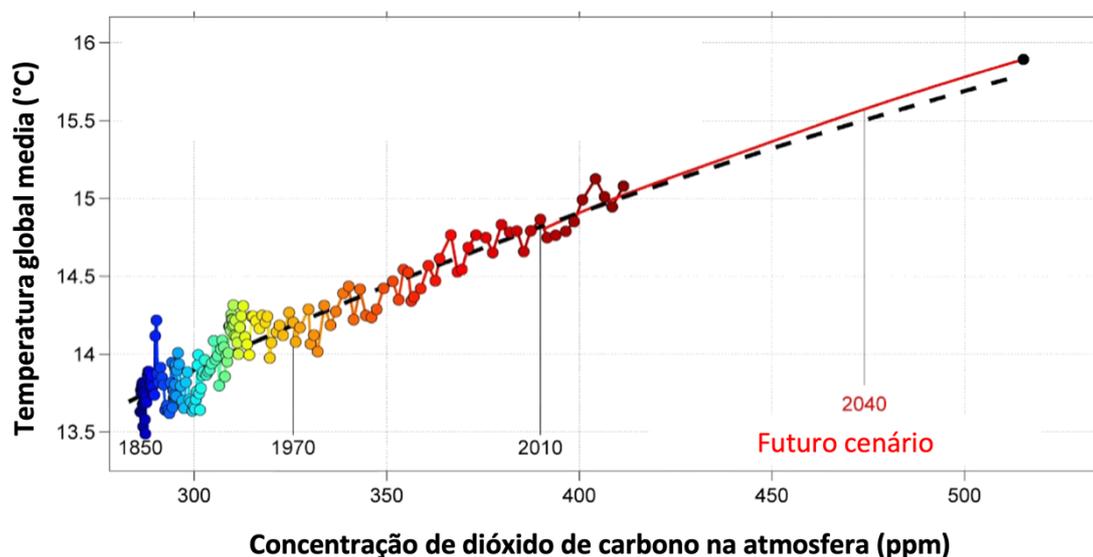
- [1] V.R. Kearns, R.L. Williams. Drug delivery systems for the eye. *Expert Review of Medical Devices* 6(3) (2009) 277-290.
- [2] J. Xu, Y. Xue, G. Hu, T. Lin, J. Gou, T. Yin, H. He, Y. Zhang, X. Tang. A comprehensive review on contact lens for ophthalmic drug delivery. *Journal of Controlled Release* 281(2018) 97-118.
- [3] H.P. Filipe, J. Henriques, P. Reis, P.C. Silva, M.J. Quadrado, A.P. Serro. Contact lenses as drug controlled release systems. A narrative review. *Revista Brasileira de Oftalmologia* 75(3) (2016) 241-247.
- [4] R. Galante, T.J.A. Pinto, R. Colaço, A.P. Serro. Sterilization of hydrogels for biomedical applications: a review. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials* 106B (2018) 2472–2492

## Carbono, o mau da fita?

Ana Paula Soares Dias

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

Desde a revolução industrial que se tem verificado um aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico devido a atividades desenvolvidas pelos seres humanos (carbono antropogénico). Muitos cientistas confirmam a correlação entre o aquecimento do planeta Terra e a crescente concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (Figura 1).



**Figura 1.** Correlação entre a temperatura média na Terra e a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera e extrapolação para cenários futuros. Adaptado de [1].

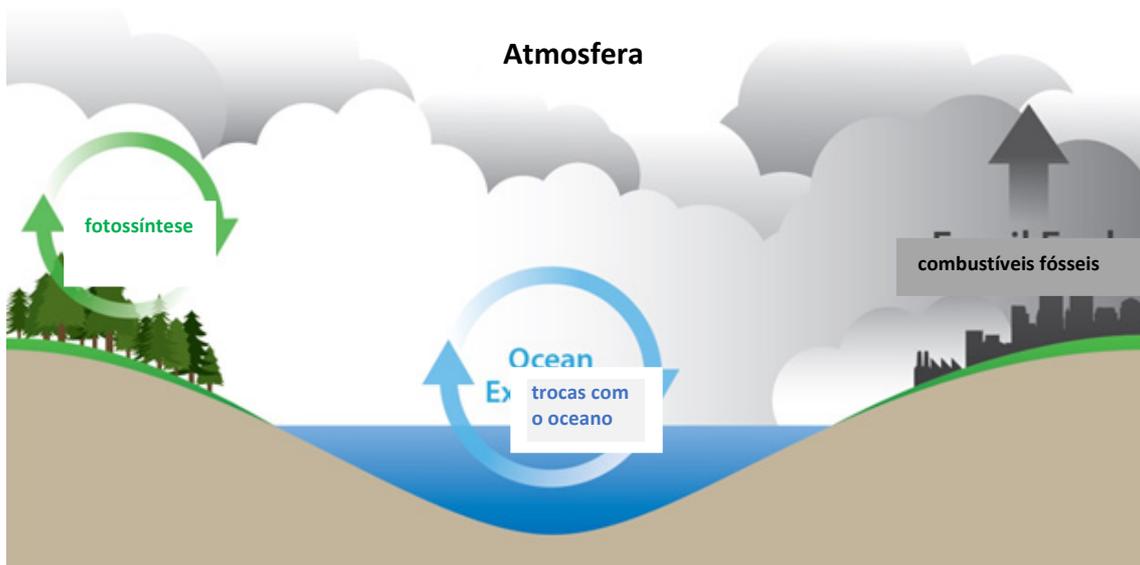
As consequências do aquecimento global são visíveis através de fenómenos atmosféricos extremos em todo o planeta Terra onde existem simultâneo inundações e situações de seca extrema. Estes fenómenos estão a agravar as condições de vida das populações mais desfavorecidas (Figura 2).

Há diferentes fluxos de carbono entre a crosta terrestre e a atmosfera e nem todos contribuem para o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (Figura 3). A

fotossíntese converte o CO<sub>2</sub> atmosférico, diminuindo a sua concentração, em biomassa muito útil para a humanidade.



**Figura 2.** Fenómenos atmosféricos extremos, devidos ao aquecimento global, e consequências imediatas para a humanidade (montagem de imagens retiradas da internet).



**Figura 3.** Fluxos naturais e antropogénicos de carbono para a atmosfera. Adaptado de <https://netl.doe.gov/coal/carbon-storage/faqs/carbon-dioxide-101>.

Os alimentos da base da pirâmide alimentar são produzidos por fotossíntese (Figura 4) o que torna o CO<sub>2</sub> atmosférico crucial para a humanidade. Este processo liberta oxigénio para a atmosfera, também ele crucial para a humanidade.

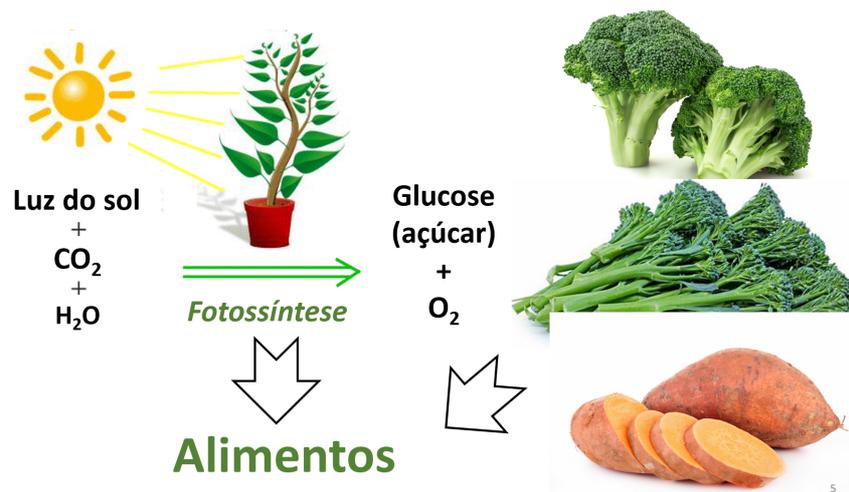
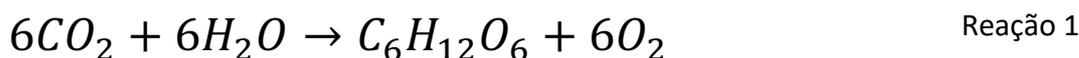


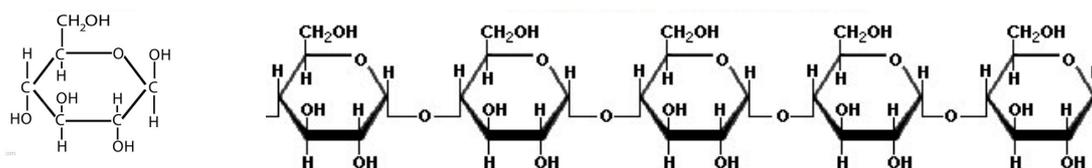
Figura 4. Papel crucial da fotossíntese na produção de alimentos.

A fotossíntese é uma máquina eficiente no abate do CO<sub>2</sub> atmosférico através da reação (Reação 1):



onde o CO<sub>2</sub> é convertido em glucose e oxigénio.

A glucose é o açúcar que se repete nos polímeros do amido de batata (Figura 5).



Glucose

Amido da batata

Figura 5. Moléculas da glucose e amido da batata.

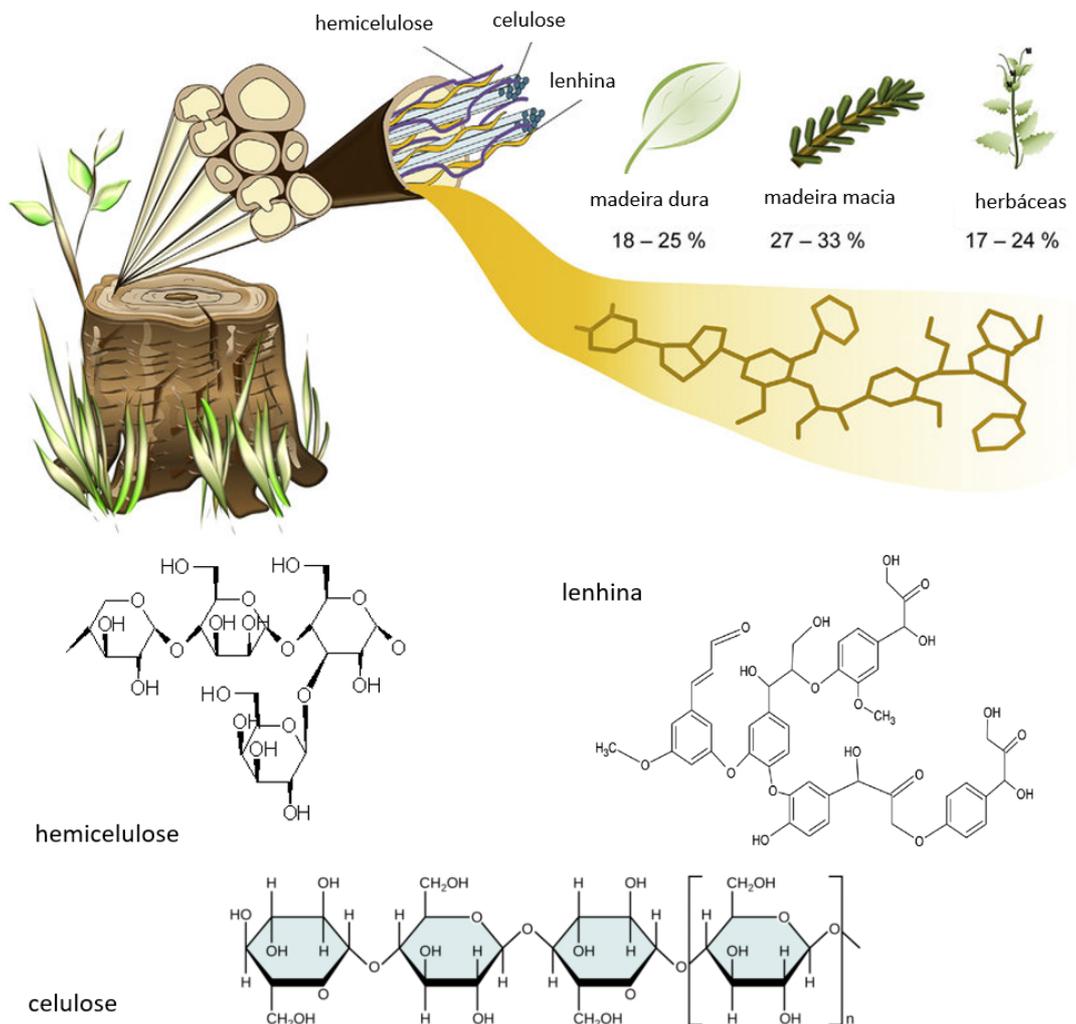
Os componentes das árvores (madeira), arbustos e herbáceas, celulose, hemicelulose e lenhina (Figura 6), também são produzidos a partir do dióxido de carbono atmosférico o que torna as árvores máquinas eficientes de captura de CO<sub>2</sub>.

A madeira, entre outras biomassas, pode ser convertida em calor através da combustão (Reação 2) evitando assim, parcialmente, o recurso a combustíveis fósseis. O CO<sub>2</sub> produzido na sua combustão não contribui para o aumento da concentração deste poluente na atmosfera porque ele foi anteriormente capturado durante o crescimento

da biomassa. O balanço de carbono desta combustão não é nulo porque temos de contabilizar as emissões no corte e transporte da biomassa.



Reação 2



**Figura 6.** Componente da madeira produzidos a partir do CO<sub>2</sub> atmosférico (celulose, hemicelulose e lenhina).

A combustão da biomassa também pode ser usada para produzir eletricidade nas chamadas centrais de cogeração (Figura 7). Este processo contribui para as energias renováveis produzidas em Portugal e ajuda na redução dos fogos florestais pois a recolha de biomassa reduz a sua incidência na época estival.

O sector dos transportes é o grande consumidor de combustíveis fósseis e como tal o que mais contribui para o CO<sub>2</sub> antropomórfico. Enquanto os motores de combustão interna não são substituídos pelos elétricos, menos poluentes (Figura 8), urge produzir combustíveis de baixo carbono para os transportes.

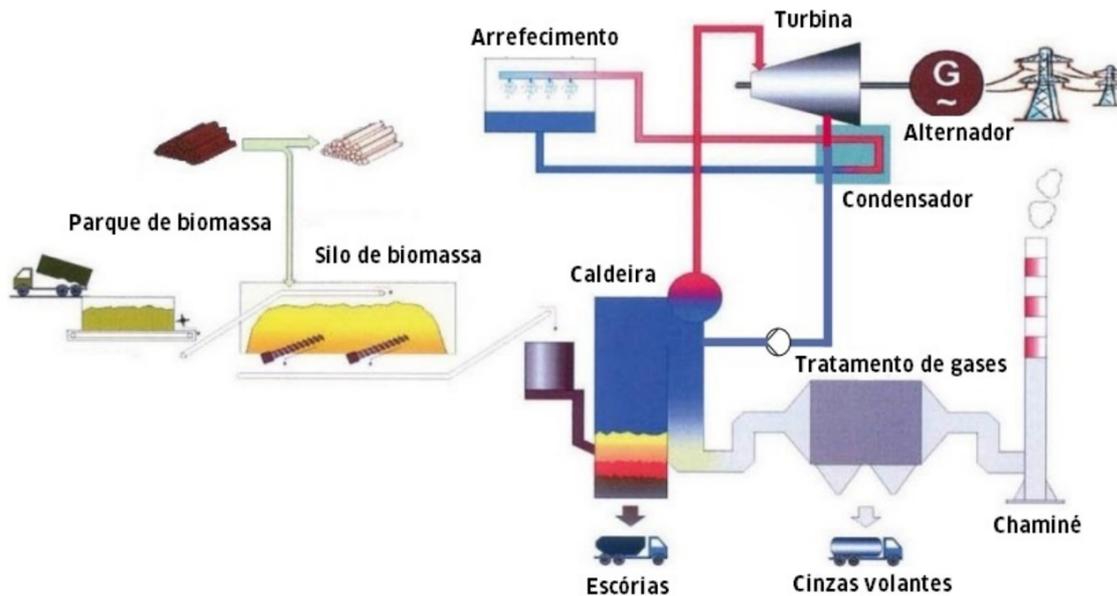


Figura 7. Diagrama duma central de cogeração a biomassa. Adaptado de [2].

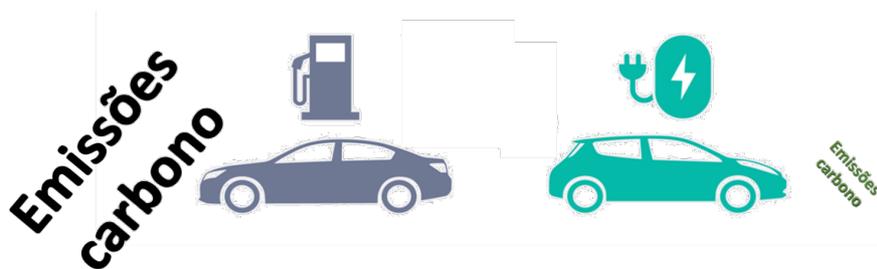
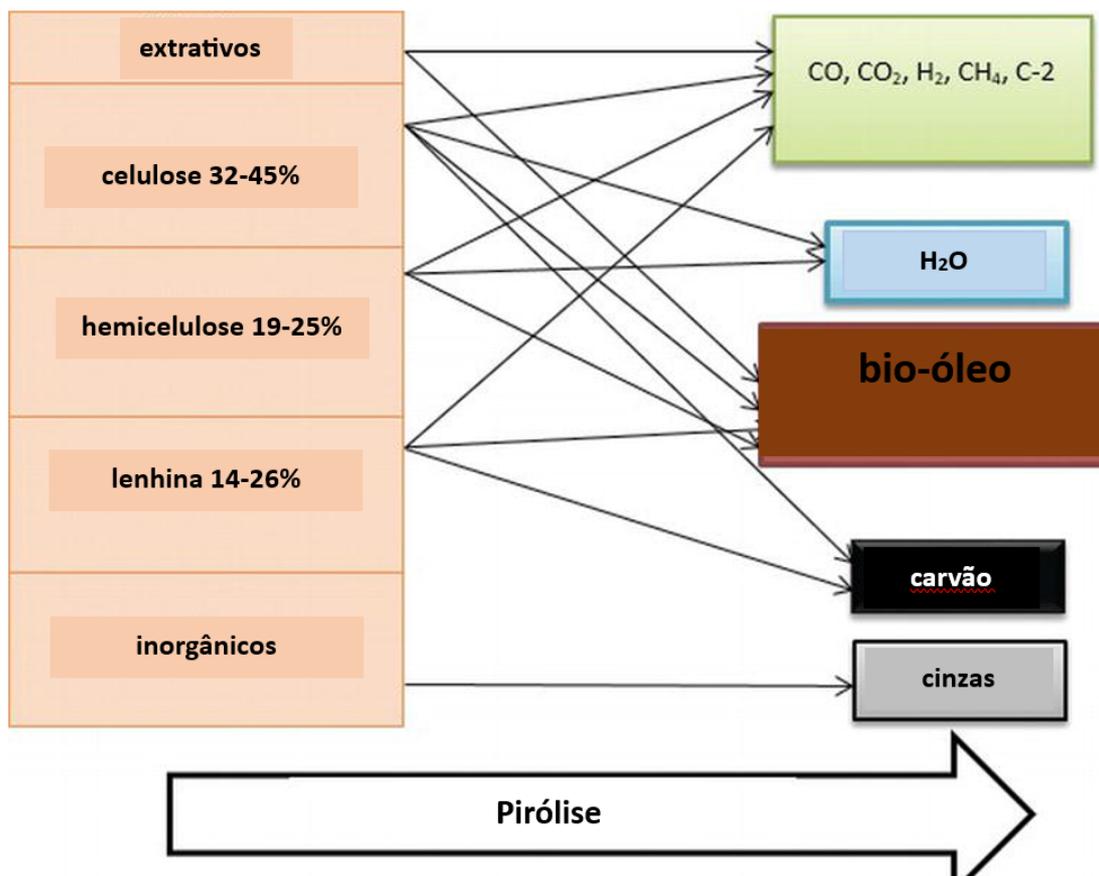


Figura 8. Emissões de carbono em veículos com motores a combustão e elétricos.

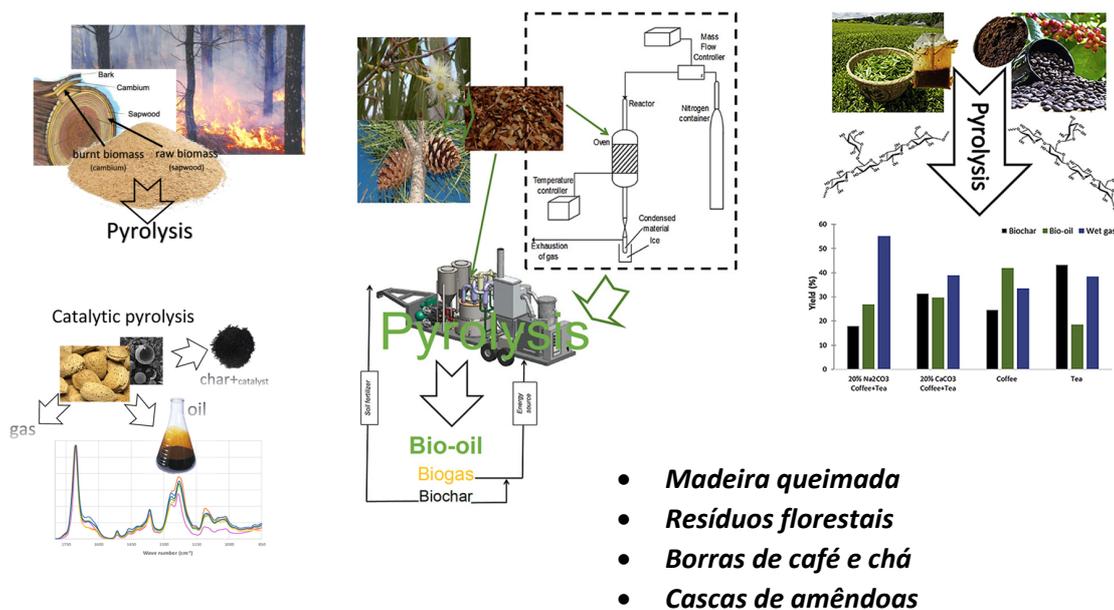
A biomassa florestal, entre outras, pode ser usada para a produção de combustíveis renováveis (baixa emissão de carbono, teoricamente nula). A pirólise, um processo a alta temperatura e na ausência de oxigénio, consegue converter biomassa em combustíveis líquidos (bio-óleo) com coprodução de gases (piro-gás) com valor térmico considerável e sólidos ricos em carbono (bio-carvão) (Figura 9).



**Figura 9.** Composição da biomassa e distribuição dos produtos de pirólise.

O bio-óleo, é um líquido viscoso, de cor castanha, com cheiro pungente, elevada acidez e elevado teor em compostos oxigenados. Na biorefinaria o bio-óleo pode ser convertido em combustíveis líquidos, renováveis, que após *upgrading* podem ser usados nos motores de combustão interna. O produto sólido da pirólise, bio-carvão ou carvão ativado, pode ser queimado para produzir energia, mas é demasiado valioso para tal. O bio carvão é considerado o diamante (carbono) da era moderna. Devido às suas características o bio-carvão tem uma diversidade enorme de possíveis aplicações. A literatura refere o seu uso na correção de solos, como absorvente para a remoção de poluentes em águas contaminadas, como catalisador em reações químicas e eletroquímicas, e como absorvente de CO<sub>2</sub> a baixa temperatura.

Toda a biomassa residual pode ser usada na pirólise o que contribui para a sustentabilidade do processo. No Departamento de Engenharia Química (DEQ) do Instituto Superior Técnico (IST) existem vários grupos a investigarem a pirólise de variadas biomassas (Figura 10) com o objetivo de contribuírem para o *know-how* na área da produção de combustíveis renováveis.



**Figura 10.** Algumas biomassas residuais investigadas em processos de pirólise no DEQ do IST.

## Conclusão

O CO<sub>2</sub> antropogénico é responsável pelas nefastas alterações climáticas, mas é uma molécula fundamental para a vida na Terra. Sem CO<sub>2</sub> não haverá fotossíntese. A biomassa, e os processos para a sua conversão em energia renovável, é uma ferramenta que pode ser usada pelo humano na gestão dos fluxos de carbono.

## Referências

[1] Temperature change vs. carbon dioxide concentration - Berkeley Earth. <https://berkeleyearth.org/dv/temperature-change-vs-carbon-dioxide-concentration/>. (acedido em 03/04/2023).

[2] Projeto da Central a biomassa de 10 MW, em Corga de Fradelos, Vila Nova de Famalicão, Estudo de impacte ambiental, Volume II-Relatório (2016); [https://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA2934/r\\_eia\\_central\\_biomassa\\_fradelos\\_10mw201731695931.pdf](https://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA2934/r_eia_central_biomassa_fradelos_10mw201731695931.pdf)

# Corrosão – Materiais e Ambiente

João Salvador Fernandes

Centro de Química Estrutural, Institute of Molecular Sciences, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1049 001 Lisboa

## O QUE É A CORROSÃO

A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material por acção do meio envolvente, aliada ou não a esforços mecânicos. No caso dos metais, a corrosão consiste geralmente na sua oxidação, pelo que se trata de um fenómeno de natureza electroquímica. No entanto, a definição de corrosão abrange outros casos, como a deterioração da pedra, da madeira ou dos plásticos, que não envolvem processos electroquímicos.



**Figura 1.** Posição de alguns metais quanto à energia necessária para a sua produção

A corrosão metálica é uma consequência da tendência da matéria em evoluir para o seu estado de menor energia. Para produzir um metal a partir do seu minério, ou seja, a

partir da forma em que ocorre na natureza, é necessário fornecer-lhe energia. Durante a sua vida útil o metal tenderá a oxidar-se, regressando à sua forma primitiva. Quanto maior for a energia necessária para a produção do metal, maior será a sua tendência para se corroer. Esta energia depende de metal para metal, sendo muito elevada para metais como o magnésio e muito baixa para metais como a prata ou o cobre (o ouro ocorre na natureza sob a forma metálica, pelo que não tem tendência a corroer-se). Na Figura 1 são apresentados alguns metais comuns, ordenados segundo a energia necessária para a sua produção e, conseqüentemente, segundo a sua tendência para se corroerem.

### IMPORTÂNCIA E CUSTOS DA CORROSÃO

A corrosão pode causar grandes estragos em praticamente todos os materiais, desde os electrodomésticos ou os automóveis até aos grandes sistemas de abastecimento de água ou gás, às pontes e outras estruturas, navios, etc.

Os custos directos da corrosão podem dever-se à necessidade de substituição de peças danificadas (incluindo o seu custo, bem como a energia e mão-de-obra necessárias à sua substituição) ou à criação e manutenção de sistemas de protecção (revestimentos, protecção catódica, etc.). Por outro lado, definem-se como custos indirectos da corrosão os que se devem a paralisações de unidades industriais (para limpeza, reparações ou substituição de componentes corroídos), perda ou contaminação de produtos, perdas de eficiência (como, por exemplo, na transferência de calor em permutadores) ou ainda custos mais difíceis de quantificar, como os que estão relacionados com a segurança de instalações, cuja falha pode resultar em perdas humanas (automóveis, aviões, pontes, tubagens, tanques, etc.), com a interrupção de comunicações (corrosão em cabos telefónicos enterrados) ou com a perda de património artístico (degradação de monumentos).

Num estudo recente efectuado nos Estados Unidos da América, concluiu-se que os custos anuais devidos à corrosão nesse país atingiram, no ano de 2013, os 451 mil milhões de dólares, ou seja, 2,7% do seu produto nacional bruto (a título de comparação, a média anual de custos com desastres naturais nos EUA, como furacões, inundações, secas, fogos, etc., foi de 119 mil milhões de dólares). Na Europa os custos anuais da corrosão deverão atingir os 3,8% do PNB. Em Portugal não se conhece

qualquer estudo deste tipo, mas, admitindo uma percentagem do PNB semelhante à da Europa, os custos nacionais com a corrosão teriam, no mesmo ano, atingido os 8000 milhões de euros, ou seja, mais do que o Orçamento de Estado para a Educação (7 051 milhões de euros).

## FUNDAMENTOS DA CORROSÃO

Praticamente todos os processos de corrosão metálica envolvem a transferência de carga electrónica em meio aquoso. Considere-se a reacção de corrosão do zinco em meio ácido, representada pela seguinte reacção global:



Esta reacção pode ser decomposta em dois processos, um envolvendo o zinco, e outro, os protões  $\text{H}^+$  da solução ácida:

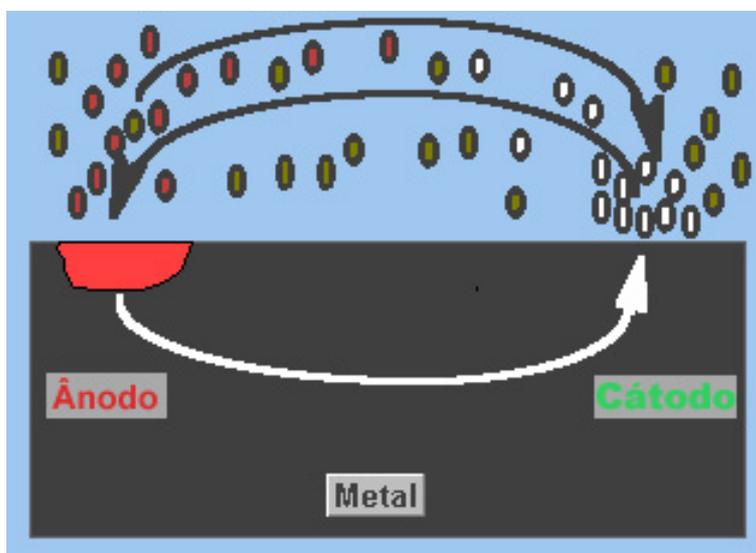


A primeira equação corresponde à reacção de oxidação do zinco, enquanto a segunda traduz a reacção de redução dos protões  $\text{H}^+$ , com formação de hidrogénio molecular, gasoso.

Uma reacção de **oxidação** caracteriza-se pela perda de electrões ou, o que geralmente é equivalente, pelo aumento do número de oxidação de uma dada espécie (neste caso, o zinco). O eléctrodo onde ocorre uma oxidação designa-se por *ânodo*, pelo que a oxidação pode também ser chamada de *reacção anódica*. Pelo contrário, uma reacção de **redução** caracteriza-se pelo ganho de electrões por uma dada espécie química ou pela diminuição do seu número de oxidação. O eléctrodo onde ocorre uma redução designa-se por *cátodo*, pelo que a redução pode também ser chamada de *reacção catódica*.

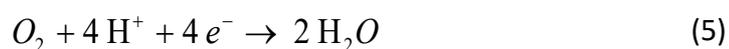
Pode, assim, decompor-se um processo de corrosão electroquímica em quatro processos parciais: a reacção anódica, correspondendo à oxidação do metal, originando iões que passam para o meio corrosivo e electrões que se acumulam no metal; o transporte de electrões através de um condutor electrónico (metal), desde o ânodo até ao cátodo; o transporte de iões através de um condutor iónico (meio corrosivo); a

reação catódica, correspondendo à redução de espécies em solução (no meio corrosivo) à custa dos electrões entretanto chegados ao cátodo e originando geralmente gases ou depósitos metálicos (Figura 2).



**Figura 2.** Diagrama esquemático dos processos envolvidos na corrosão electroquímica dos metais.

As reacções anódicas normalmente envolvidas na corrosão metálica são invariavelmente da forma  $Me \rightarrow Me^{n+} + n e^-$ , como acontece com a oxidação da prata ( $Ag \rightarrow Ag^+ + e^-$ ), do ferro ( $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2 e^-$ ) ou do alumínio ( $Al \rightarrow Al^{3+} + 3 e^-$ ). As reacções catódicas com interesse em corrosão são muito menos abundantes. A mais simples e mais comum é a redução dos protões  $H^+$  a hidrogénio gasoso, em meio ácido (Equação 3). A redução do oxigénio molecular dissolvido é também comum quando se trabalha em meios expostos ao ar, podendo traduzir-se através das Equações 4 e 5, respectivamente para reacções em meios neutros ou alcalinos e para reacções em meios ácidos:



## O ESTUDO DA CORROSÃO NO TÉCNICO

O grupo de estudos de Ciências da Corrosão e Engenharia de Superfícies do Centro de Química Estrutural tem vindo há décadas a dedicar-se ao estudo da problemática da Corrosão e Protecção. Os processos de corrosão são estudados primeiro de um ponto de vista fundamental, para os perceber e saber como os combater, e depois desenvolvendo soluções.

Na apresentação oral são dados dois exemplos de trabalhos realizados pelo Grupo, propondo-se métodos de evitar ou controlar a corrosão:

- em ligas reabsorvíveis de magnésio para implantes ortopédicos, desenvolvidas para permitir a sua conservação durante o tempo de reparação de uma fractura, seguindo-se a sua lenta dissolução;
- na indústria aeronáutica, com o desenvolvimento de sensores que permitam detetar os processos de corrosão na sua fase inicial.

## Como regar uma horta com água do mar?

Vítor Geraldés

CeFEMA – Center of Physics and Engineering of Advanced Materials, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1049 001 Lisboa

O aquecimento global tem causado grandes problemas para a agricultura, com a falta de água para rega a tornar-se cada vez mais comum [1]. Os Engenheiros Químicos têm desempenhado um papel crucial no desenvolvimento de soluções para este problema, usando a água do mar como fonte de água doce através da osmose inversa. No entanto, a água dessalinizada tem um teor de boro que pode ser prejudicial para muitas culturas agrícolas, apesar de estar dentro dos limites regulamentados para consumo humano [2]. Nesta apresentação analisamos a principal estratégia usada para reduzir a concentração de boro na água dessalinizada e apresentamos um caso de estudo de uma estação dessalinizadora no sul de Espanha.

A osmose inversa é um processo de dessalinização que envolve a separação de sais dissolvidos e outras impurezas da água do mar através de uma membrana semipermeável. A história da produção de água potável por osmose inversa remonta à década de 60 do século passado, com os primeiros ensaios realizados por Loeb e Sourirajan [3]. Desde então, a tecnologia tem evoluído muito, com o desenvolvimento de membranas mais eficientes e de menor custo.

Apesar da osmose inversa produzir água potável adequada para consumo humano, a água resultante ainda contém uma concentração de boro que pode ser prejudicial para muitas culturas agrícolas [4]. O boro é um elemento essencial para o crescimento das plantas, mas em excesso pode causar toxicidade e reduzir a produtividade. Estudos têm mostrado que a água dessalinizada por osmose inversa pode conter boro em concentrações superiores ao limiar aceitável para culturas sensíveis.

Os Engenheiros Químicos têm desenvolvido várias estratégias para reduzir a concentração de boro na água dessalinizada, incluindo a adsorção, resinas de permuta iónica, e osmose inversa em duas etapas. Dentro destas tecnologias, a osmose inversa em duas etapas [5] tem sido a tecnologia mais usada em larga escala. A tecnologia é

baseada no facto de que quando se aumenta o pH da água, o ácido bórico (que é um ácido fraco) dissocia-se e é retido mais facilmente pela membrana de osmose inversa, devido a efeitos electrostáticos. Por isso, a água produzida numa primeira etapa de osmose inversa é processada numa segunda etapa, depois de se aumentar o pH para 10. Nestas condições a água produzida pelas membranas na segunda etapa já apresenta teores de boro suficientemente baixos para a água poder ser usada para rega.

No sul de Espanha está instalada uma das maiores dessalinizadoras da Europa (Figura 1) que produz 100.000 m<sup>3</sup> de água por dia, adequada tanto para consumo humano como para rega [6]. Esta instalação utiliza um processo de osmose inversa em duas etapas para reduzir a concentração de boro na água dessalinizada. A implementação desta tecnologia tem permitido a produção de água adequada para a rega de culturas sensíveis ao boro, como legumes e citrinos, e tem contribuído significativamente para a sustentabilidade da agricultura no sul de Espanha.



**Figura 1.** Vista aérea de uma estação dessalinizadora de osmose inversa em duas etapas para produção de água para consumo humano e rega, localizada no sul de Espanha [6].

## Referências

- [1] Field, Christopher B., and Vicente R. Barros, eds. *Climate change 2014—Impacts, adaptation and vulnerability: Regional aspects*. Cambridge University Press, 2014.
- [2] "Guidelines for drinking-water quality." *WHO chronicle* 38, no. 4 (2011): 104-8.

- [3] S. Loeb and S. Sourirajan, Sea water demineralization by means of a semipermeable membrane. UCLA engineering report 60-60, University of California, Los Angeles, LA, 1960.
- [4] De Pascale, Stefania, Francesco Orsini, and Alberto Pardossi. "Irrigation water quality for greenhouse horticulture." *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops* 169 (2013).
- [5] Tu, Kha L., Long D. Nghiem, and Allan R. Chivas. "Boron removal by reverse osmosis membranes in seawater desalination applications." *Separation and Purification Technology* 75, no. 2 (2010): 87-101.
- [6] <https://www.veoliawatertechnologies.es/casos-estudio/desaladora-agua-mar-campo-dalias-almeria>

## Cor estrutural: Como obter cor sem usar corantes?

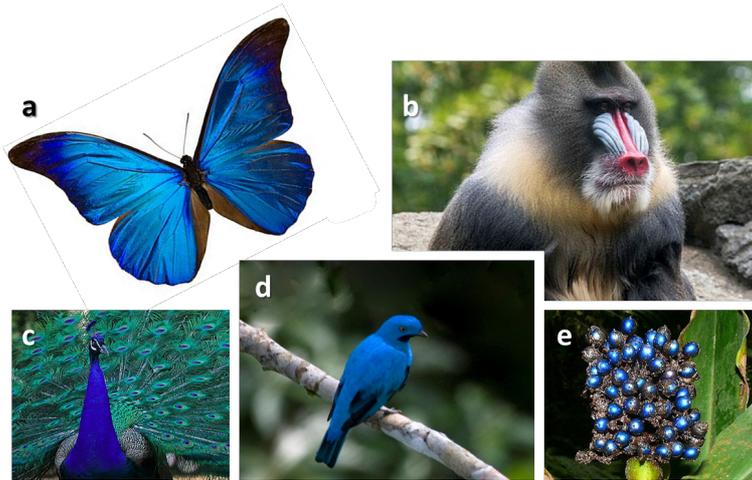
José Paulo Farinha

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

As cores que vemos à nossa volta resultam da absorção selectiva da luz pelos materiais, certo? Sim, mas não só. Existe um tipo de cor que não implica absorção de luz, chamada cor estrutural. O nome vem do facto de este tipo de cor depender da estrutura dos materiais, não da sua composição. A cor estrutural resulta da dispersão selectiva da luz em materiais com uma nanoestrutura em que o índice de refração varia periodicamente numa escala próxima do comprimento de onda da luz visível. Estes materiais são conhecidos como *materiais fotónicos*.

Uma vez que a cor estrutural não envolve absorção de luz, os materiais fotónicos não sofrem fotodegradação como os corantes e pigmentos convencionais. Nestes últimos, o facto de os materiais passarem ao estado excitado por absorção de luz (onde são mais reactivos), leva a que a sua cor vá desaparecendo com o tempo. A cor estrutural é, pois, muito mais resistente, havendo até fósseis com muitos milhões de anos em que ainda é possível observar cor.

Existem muitos exemplos de cor estrutural na Natureza, em animais e mesmo plantas (Figura 1). Por exemplo, as penas azuis e verdes dos pavões macho devem-se a nanoestruturas nas suas penas, que são constituídas por materiais castanhos.



**Figura 1.** Cor estrutural na Natureza: (a) Borboleta azul, *Morpho rhetenor*; (b) Mandril, *Mandrillus sphinx*; (c) Pavão azul, *Pavo cristatus*; (d) Cotinga azul, *Cotinga maynana*; (e) Bagas de *Pollia condensata*. Adaptado de wikipedia.org.

Uma vez que a cor estrutural depende essencialmente da estrutura do material, não da sua composição, pode em princípio ser obtida usando qualquer tipo de material, em particular, a partir de materiais sustentáveis. São, pois, uma boa alternativa para substituir corantes e pigmentos convencionais, muitos dos quais são tóxicos e produzidos por processos muito pouco amigos do ambiente.

### Como podemos então produzir materiais fotónicos?

Uma hipótese é construir estruturas ordenadas de nanopartículas poliméricas com dimensões da ordem de grandeza do comprimento de onda correspondente à cor desejada. Estas estruturas são conhecidas como cristais coloidais fotónicos (CCF), e dispersam a luz de acordo com a equação de Bragg-Snell [1]:

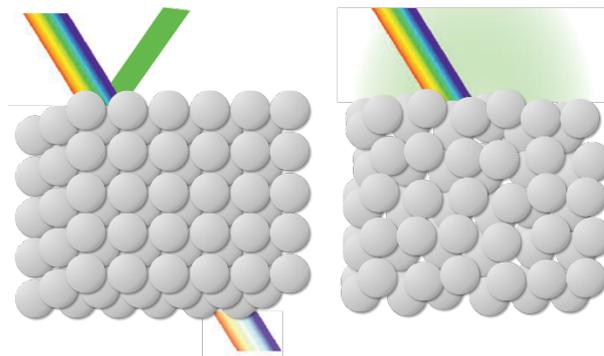
$$\lambda = 2 d \sqrt{n_{\text{eff}}^2 - \sin^2 \theta} \quad (1)$$

Nesta equação,  $\lambda$  é o comprimento de onda da luz reflectida,  $n_{\text{eff}}$  é o índice de refração médio da estrutura,  $\theta$  é o ângulo de observação (relativo à direcção da iluminação), e  $d$  é o espaçamento da estrutura, que está relacionado com o raio das nanopartículas por  $d = (2\sqrt{6}/3) r$ . A cor reflectida depende pois directamente do tamanho da nanopartículas

$r$ , de forma que, produzindo os CCFs a partir de nanopartículas de diferentes tamanhos, é possível obter todas as cores sem mudar a composição do material.

O comprimento de onda previsto pela equação de Bragg-Snell depende também do ângulo de observação  $\theta$ , o que significa que a cor muda com a orientação dos CCF, ou seja, estes são iridescentes (como a face gravada de um CD). Para que os CCF não sejam iridescentes, apresentando antes uma cor bem definida, basta que se introduza na sua estrutura alguma desordem (tal como se observa por microscopia electrónica nas penas de alguns animais, como por exemplo no macho da Cotinga Azul – Figura 1).

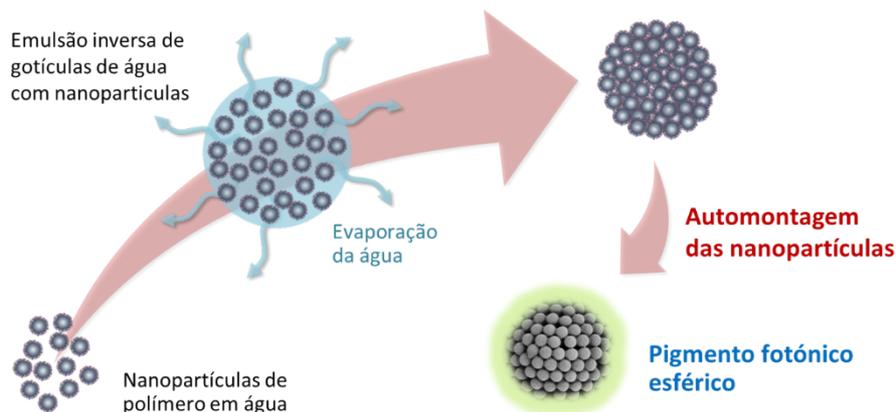
Ao contrário dos materiais com ordem de longo alcance (mais cristalinos), os materiais fotónicos que têm apenas ordem de curto alcance ao longo da estrutura apresentam uma cor estrutural independente do ângulo de observação. Isso acontece porque nesse caso a cor resulta da dispersão de luz coerente, que ocorre em todas as direcções (Figura 2) [2].



**Figura 2.** Os cristais coloidais fotónicos (CCF) têm uma estrutura ordenada de nanopartículas, que origina cor estrutural iridescente (*esquerda*). Nos vidros coloidais fotónicos (VCF), o arranjo das nanopartículas tem apenas ordem de curto alcance, que resulta em cor estrutural com baixa dependência no ângulo de observação (*direita*).

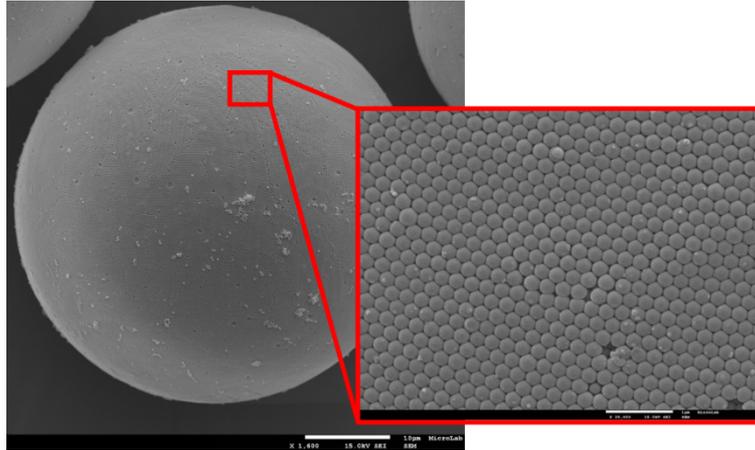
Os cristais coloidais sintéticos com cores independentes do ângulo de observação, também chamados vidros coloidais fotónico (VCF), inspiram-se precisamente nos sistemas biológicos não iridescentes.[3] Os VCFs podem ser usados em muitas aplicações em que a iridescência não é desejável, como em tintas e revestimentos [4,5] sensores [6], ou écrans reflectivos a cores [7].

No Instituto Superior Técnico estão a ser desenvolvidos VCFs esféricos, por automontagem de nanopartículas poliméricas [2,4,5,8]. A sua forma esférica melhora a independência da cor relativamente ao ângulo, uma vez que a superfície da esfera não está orientada apenas numa direcção. O processo envolve a dispersão num óleo, de gotículas de água contendo as nanopartículas, formando o que se designa uma emulsão inversa. Ao aquecer esta emulsão a cerca de 50°C, a água evapora e as nanopartículas auto-organizam-se em pigmentos fotónicos esféricos (Figura 3) [8].



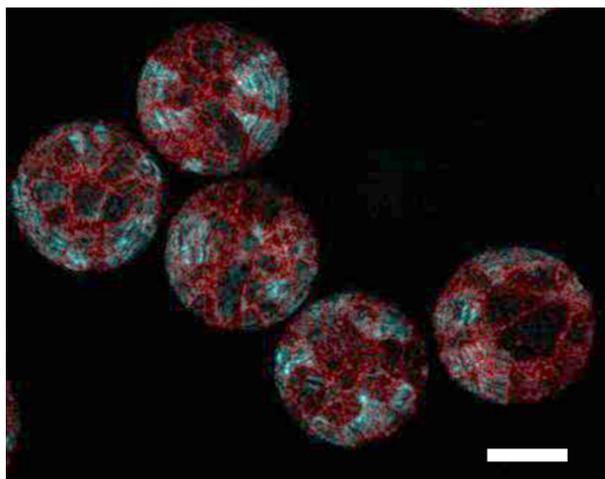
**Figura 3.** Processo de automontagem de pigmentos fotónicos esféricos desenvolvidos no Instituto Superior Técnico. Gotículas de água contendo nanopartículas de polímero são dispersas num óleo para formar uma emulsão inversa. Evaporação da água promove a auto-organização das nanopartículas, formando pigmentos fotónicos esféricos.

Quando toda a água das gotículas evapora, obtém-se uma “suprapartícula” constituída por nanopartículas de polímero organizadas, em que as cadeias de polímero da superfície de cada nanopartícula se entrelaçam com as das suas vizinhas, resultando numa estrutura resistente, que pode ser seca e dispersa em diversos solventes (Figura 4). O grau de ordem nestes pigmentos fotónicos esféricos pode ser ajustado, alterando o equilíbrio entre as interacções atractivas (de van der Waals) e as repulsivas (electrostáticas) entre as nanopartículas (alterando o pH por exemplo), ou alterando a velocidade do processo de secagem de forma a impedir que as nanopartículas se organizem por completo.



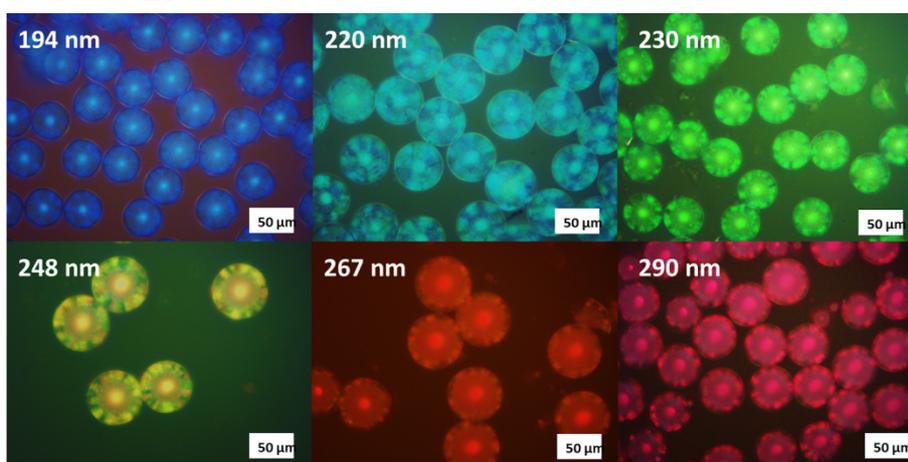
**Figura 4.** Imagem de microscopia electrónica de varrimento de uma “suprapartícula” de pigmento fotónico esférico, com ampliação da superfície, onde se observam as nanopartículas de polímero organizadas.

Para perceber a relação entre as propriedades ópticas dos pigmentos fotónicos esféricos e a sua ordem interna, foi desenvolvida uma nova técnica de caracterização destes materiais [2], baseada na microscopia de varrimento laser, que faz “cortes ópticos” da amostra, permitindo reconstituir a imagem do seu interior em 3 dimensões. Nesta técnica, chamada microscopia confocal de reflectância, a imagem do pigmento fotónico é obtida ponto por ponto, varrendo toda a amostra com laser, plano a plano, para obter a imagem 3D do pigmento. São utilizados dois lasers de cores diferente, um que corresponde à cor do pigmento fotónico (que mostra a imagem de dispersão de luz coerente), e o outro com uma cor diferente desta (que mostra a imagem de dispersão de luz incoerente). A primeira imagem mostra apenas os planos de nanopartículas organizadas no interior do pigmento, enquanto a segunda mostra as zonas em que as nanopartículas não estão organizadas, como por exemplo, em defeitos da estrutura, nas fronteiras entre diferentes planos cristalinos, etc. (Figura 5) [2]. Com esta técnica é possível otimizar a arquitectura dos pigmentos, ajustando as suas propriedades ópticas de acordo com o resultado desejado.



**Figura 5.** Sobreposição das imagens de microscopia confocal de reflectância obtidas com dois lasers diferentes. Na imagem obtida utilizando um laser com a cor do pigmento fotônico (corresponde à dispersão de luz coerente), são visíveis os planos cristalinos de nanopartículas (*azul*). A imagem obtida com um laser de cor diferente da do pigmento (que corresponde à dispersão de luz incoerente), mostra as zonas em que as nanopartículas estão desorganizadas (*vermelho*). A imagem da figura foi obtida no plano central do pigmento (a uma profundidade de 25  $\mu\text{m}$ ). A escala é de 50  $\mu\text{m}$ .

O processo desenvolvido permite obter cores cobrindo todo o espectro do visível, simplesmente variando o diâmetro das nanopartículas de polímero utilizadas na montagem do pigmento fotônico (de acordo com o previsto pela Equação 1). Para isso foram preparadas nanopartículas de polímero com diâmetros de cerca de 200 a 300 nanômetros, que após automontagem resultam em pigmentos fotônicos com cores brilhantes e saturadas, entre o azul e o vermelho (Figura 6) [4,5].



**Figura 6.** Imagens de microscopia óptica de reflectância de pigmentos fotônicos de cores desde o azul ao vermelho, automontados utilizando nanopartículas de polímero de diferentes diâmetros (indicados em cada imagem). A escala da imagem é de 50  $\mu\text{m}$ .

## Conclusões

A utilização de cor estrutural, inspirada na que encontramos na Natureza, tem grandes vantagens face aos corantes e pigmentos convencionais, tanto a nível de durabilidade e sustentabilidade, como de custo, permitindo obter todas as cores sem mudar a composição do material. Os pigmentos fotónicos obtidos por automontagem controlada de nanopartículas de polímero têm enorme potencial para o desenvolvimento de um grande leque de aplicações, desde a coloração de tintas e revestimentos, até aos écrans reflexivos a cores, sensores ópticos, etc.

## Referências

- [1] Kinoshita, S.; Yoshioka, S.; Miyazaki, J. *Physics of Structural Colors*. Rep. Prog. Phys. 2008, 71, 076401.
- [2] Areias, L.; Mariz, I.; Maçoas, E.; Farinha, J.P.S., *Reflectance Confocal Microscopy: A Powerful Tool for Large Scale Characterization of Ordered/Disordered Morphology in Colloidal Photonic Structures*, ACS Nano 2021, 15, 11779.
- [3] Jacucci, G.; Vignolini, S.; Schertel, L. *The Limitations of Extending Nature's Color Palette in Correlated, Disordered Systems*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2020, 117, 23345.
- [4] Areias, L.; Farinha, J.P.S., *Spherical Colloidal Photonic Pigments with Saturated Structural Colors Through Temperature-Controlled Polymer Nanoparticle Assembly*, Dyes and Pigments 2022, 200, 110153.
- [5] Areias, L.; Farinha, J.P.S., *Polymer Nanoparticle-Based Spherical Photonic Pigments for Dye-Free Non-Iridescent Bright Coloring*, ACS Applied Nano Materials 2021, 4, 13185.
- [6] Yang, D; Ouyang, C; Zhang, Y; Ma, D; Huang, S; *Rapid Fabrication of Alcohol Responsive Photonic Prints with Changeable Color Contrasts for Anti-Counterfeiting Application*, Adv. Mater. Interfaces 2021, 8, 2001905.
- [7] Wang, W; Guan, Z; Xu, H; *A high speed electrically switching reflective structural color display with large color gamut*, Nanoscale, 2021, 13, 1164.
- [8] Areias, L.; Farinha, J.P.S., *pedidos de patente internacional PCT/PT2021/050037* 2022.

# Plásticos: Resíduos indesejáveis ou uma fonte valiosa de matéria-prima?

Ana Cristina Fernandes

Centro de Química Estrutural, Institute of Molecular Sciences, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

A sociedade moderna tornou-se fortemente dependente dos plásticos de alto desempenho e baixo custo que contribuíram para melhorar as nossas vidas. Devido à sua facilidade de produção, baixo custo, impermeabilidade e resistência a produtos químicos, temperatura e luz, os plásticos são utilizados numa ampla gama de produtos e têm substituído muitos materiais, como a madeira, o papel, a pedra, o couro, o metal, o vidro e a cerâmica. Por exemplo, os plásticos são muito utilizados em embalagens, brinquedos, móveis, calçados, vestuário, eletrodomésticos, equipamentos eletroeletrônicos, produção de automóveis, construção, agricultura e medicina (Figura 1).



**Figura 1.** Objetos de plástico.

Como resultado, a sociedade tornou-se completamente dependente do plástico. Em 2019, a produção global de plástico atingiu quase 370 milhões de toneladas e na Europa 58 milhões de toneladas [1]. A indústria dos plásticos contribui também para a economia dando emprego

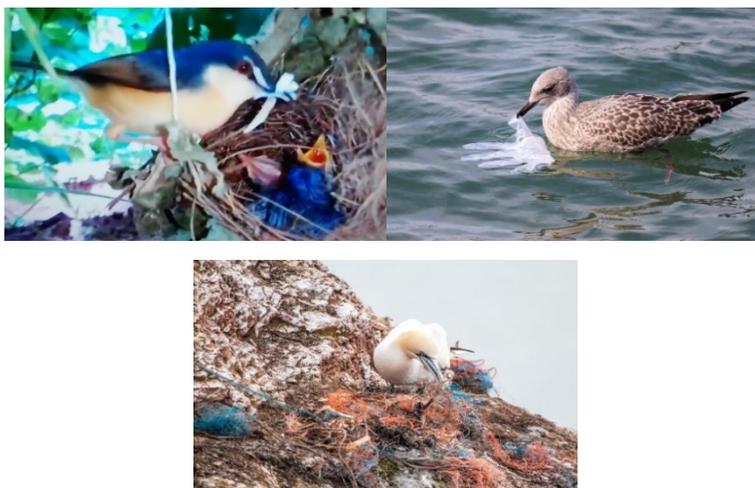
direto a mais de 1,56 milhão de pessoas na Europa [1]. Um mundo sem plástico é atualmente utópico.

O enorme consumo de plástico levou à produção de grandes quantidades de resíduos de plástico. Mais de 8 bilhões de toneladas de resíduos de plástico foram-se acumulando em todo o mundo nos últimos 50 anos (Figura 2).[2] Por exemplo, em 2015, aproximadamente 6.300 Mt de resíduos de plástico foram produzidos, dos quais apenas 9% foram reciclados, 12% foram incinerados e 79% foram acumulados em aterros ou no meio ambiente.[2] A este ritmo, até 2050 existirá mais plástico do que peixes no oceano.



**Figura 2.** Poluição causada pelos resíduos de plástico no ambiente.

Devido à contaminação dos oceanos e do meio ambiente com resíduos de plástico, muitos animais morrem enforcados ou ficam presos em redes de pesca (Figura 3). Os animais confundem muitas vezes o plástico com comida, e como consequência, o plástico acaba por bloquear o trato digestivo ou perfurar órgãos, causando a morte. A ingestão de plástico promove também o enchimento do estômago, reduzindo a fome e causando a morte dos animais devido à falsa sensação de estarem alimentados.



**Figura 3.** Os animais confundem o plástico com comida ou podem ficar presos em redes de pesca.

As mesmas propriedades que tornam os plásticos tão úteis como a sua durabilidade e resistência à degradação, também os tornam quase impossíveis de serem completamente destruídos pela natureza. A degradação natural ou decomposição dos plásticos no ambiente é muito lenta e leva centenas de anos. O tempo médio para uma garrafa de plástico descartável se degradar completamente no ambiente é de pelo menos 450 anos e algumas garrafas podem até levar 1000 anos.

A degradação lenta dos plásticos no meio ambiente liberta fragmentos de microplásticos e produtos químicos tóxicos que são perigosos para a saúde pública. Os microplásticos foram identificados em todo o mundo, inclusive em locais remotos, do Ártico à Antártida e em toda a coluna de água, da superfície às profundezas, em rios e lagos, e mesmo em água potável, tanto engarrafada como água da torneira. Foram também encontrados em solos agrícolas, sedimentos e até na atmosfera, tanto em ambientes internos quanto externos. Além disso, os microplásticos foram também detetados em mais de 100 espécies aquáticas, incluindo peixes, camarões e mexilhões destinados à nossa alimentação.

As principais vias de exposição aos microplásticos são a alimentação, a inalação ou a exposição dérmica através de produtos de higiene pessoal. Foram publicados estudos que revelaram a presença de microplásticos nos pulmões, na corrente sanguínea e em fezes humanas demonstrando que estamos a ingerir e a respirar microplásticos [3-5].

Os plásticos tradicionais são derivados de matéria-prima fóssil e são difíceis de serem degradados naturalmente. Os polímeros biodegradáveis são vistos como uma

alternativa adequada aos plásticos de origem fóssil. A forma mais comum dos bioplásticos é o ácido polilático (PLA), obtido a partir do milho. Infelizmente, a biodegradação do PLA requer um certo tipo de bactéria e uma determinada temperatura (60 °C) [6]. Essas condições não são encontradas em aterros sanitários, onde a maioria dos plásticos acaba. Sob boas condições, o PLA mostrará sinais de biodegradação após 6 meses. Noutras condições, prevê-se que o PLA levará centenas de anos a degradar-se e é praticamente não degradável na água do mar. Além disso, a degradação de resíduos de plástico em aterros normalmente não conduz à recuperação do valor dos materiais.

Embora os plásticos biodegradáveis tenham algumas aplicações, como em embalagens ou na saúde, e possam ser considerados uma opção promissora e atraente com benefícios económicos, ambientais e de saúde pública, a produção desses plásticos é atualmente muito baixa, estimada em cerca de 4 milhões de toneladas por ano, que é pouco mais de 1% da produção global de plástico.

Numa sociedade sustentável e com zero desperdício, o que hoje é considerado como resíduo ou subproduto de um processo pode ser considerado uma fonte de matéria-prima alternativa para a indústria no futuro. Nesse contexto, os resíduos de plástico representam não apenas um problema de poluição global, mas também uma matéria-prima rica em carbono, de baixo custo e globalmente disponível.

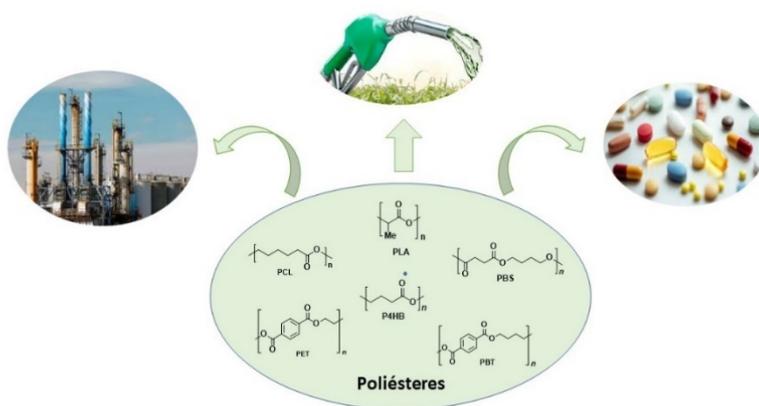
Uma estratégia para superar o problema da poluição causada pelos resíduos de plástico, preservando também os recursos de carbono, é usar estes resíduos como matéria-prima, promovendo a economia circular. Os resíduos plásticos estão entre os resíduos mais valiosos e podem ser considerados como uma fonte potencialmente barata para a produção de produtos de valor acrescentado ou matérias-primas para a indústria química. Neste contexto, o desenvolvimento de métodos de despolimerização que possam ser usados para decompor resíduos de plástico nos monómeros correspondentes ou produtos químicos valiosos surge como uma estratégia promissora para a valorização dos resíduos de plástico.

Assim, paralelamente à mudança comportamental/consciencialização do consumidor relativamente ao uso do plástico, é também urgente desenvolver novas metodologias para a valorização dos resíduos de plástico em compostos de valor acrescentado.

Nos últimos anos, têm sido realizados grandes esforços para desenvolver metodologias eficientes de reciclagem de resíduos de plástico em compostos de valor acrescentado. A maioria dessas metodologias têm sido direcionadas para a produção dos monómeros correspondentes e de combustíveis.

Muito recentemente, o nosso grupo de investigação sintetizou, pela primeira, vez um fármaco, o anticancerígeno Bussulfano, a partir de resíduos de plástico [7]. Este trabalho demonstrou que os resíduos de plástico podem ser considerados como uma fonte barata de matéria-prima para a produção de compostos biologicamente ativos e fármacos e certamente irá inspirar a comunidade científica a desenvolver outras aplicações fascinantes a partir destes resíduos.

Nesta apresentação serão abordados alguns exemplos da conversão de resíduos de plástico, nomeadamente poliésteres, em produtos de valor acrescentado demonstrando que estes resíduos podem ser considerados uma fonte valiosa de matéria-prima para a indústria química e farmacêutica (Figura 4). Desta forma, a conversão de resíduos de plástico pode contribuir para melhorar a sustentabilidade da indústria, promover a economia circular e reduzir o impacto negativo da poluição no ambiente e na saúde dos seres vivos.



**Figura 4.** Resíduos de plástico como uma fonte valiosa de matéria-prima.

## Referências

[1] [https://issuu.com/plasticseuropeebook/docs/plastics\\_the\\_facts-web-dec2020](https://issuu.com/plasticseuropeebook/docs/plastics_the_facts-web-dec2020)

[2] R. Geyer, J. R. Jambeck, K. L. Law, *Sci. Adv.* 3 (2017) e1700782.

- [3] L. C. Jenner, J. M. Rotchell, R. T. Bennett, M. Cowen, V. Tentzeris, L. R. Sadofsky, *Sci. Total Environ* 831 (2022) 154907.
- [4] H. A. Leslie, M. J. M. van Velzen, S. H. Brandsma, A. D. Vethaak, J. J. Garcia-Vallejo, M. H. Lamoree, *Environ. Int.* 163 (2022) 107199.
- [5] P. Schwabl, S. Köppel, Dipl-Ing, P. Königshofer, T. Bucsics, M. Trauner, T. Reiberger, B. Liebmann, *Ann Inter Med* 171 (2019) 453-457.
- [6] J. J. Kolstad, E. T. H. Vink, B. De Wilde, L. Debeer, *Polym. Degrad. Stab.* 97 (2012) 1131-1141.
- [7] D. L. Lourenço, A. C. Fernandes, *Catalysts* 12 (2022) 381.

## Materiais com Memória

Amélia Almeida

CeFEMA - Centro de Física e Engenharia de Materiais Avançados, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Os materiais com Memória de Forma apresentam a capacidade de recuperar uma dada forma original após deformação, quando submetidos a um estímulo, normalmente, por variação de temperatura (memória de forma térmica) ou aplicação de uma tensão (superelasticidade ou pseudoelasticidade).

Esta capacidade está associada a uma transformação de fase reversível, isto é, a uma mudança de estrutura cristalina (arranjo atómico) que ocorre por efeito desse estímulo. Estes materiais apresentam “memória” da sua forma original e são geralmente considerados Materiais Inteligentes (*Smart Materials*).

Esta característica é apresentada por diversos materiais metálicos (ligas com memória de forma), existindo também alguns materiais poliméricos com comportamento semelhante, ainda que por mecanismos de natureza distinta [1].

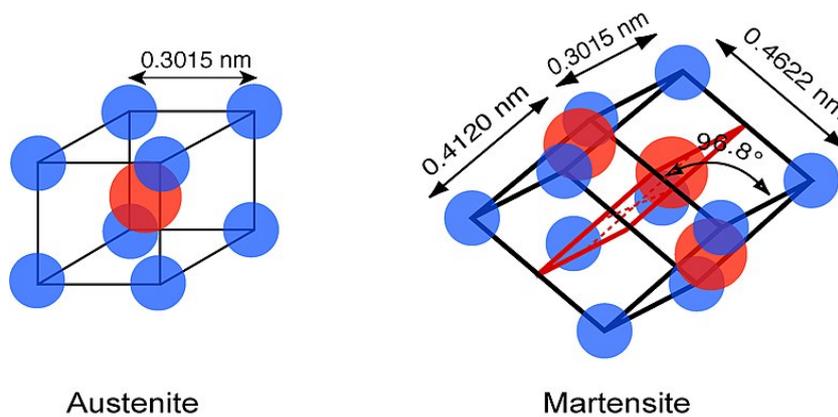
O efeito de memória de forma foi descoberto em 1932 em ligas Au-Cd, mas apenas nos anos 1970 viria a atrair atenção significativa, quando detectado em ligas Ni-Ti. Em 1959, William J. Buehler investigador do Naval Ordnance laboratory (EUA), desenvolveu uma liga Ni-Ti de composição aproximadamente equiatómica (NiTi), com propriedades únicas. Este material, designado Nitinol, foi a primeira liga com memória de forma a ser comercializada [2]. Desde então, foram descobertas diversas ligas metálicas que apresentam memória de forma para composições específicas nos sistemas Ag-Cd, Cu-Sn, Cu-Zn-Al, Cu-Al-Ni, etc. No entanto, o Nitinol continua a ser das ligas com memória de forma de maior aplicação em diversas áreas de engenharia e medicina.

## Efeito de memória de forma – mecanismo

O efeito de memória de forma baseia-se na transição entre fases sólidas com estruturas cristalinas distintas: uma fase de alta temperatura (austenite) e outra de baixa temperatura (martensite) que se transformam reversivelmente uma na outra, por efeito da temperatura.

No Nitinol, a fase de alta temperatura (austenite) apresenta uma estrutura cúbica, enquanto a fase de baixa temperatura tem estrutura monoclinica (Figura 1).

A fase de baixa temperatura é dúctil, podendo ser facilmente deformada, enquanto a fase de alta temperatura é muito mais rígida, sendo mais difícil deformá-la de forma permanente.

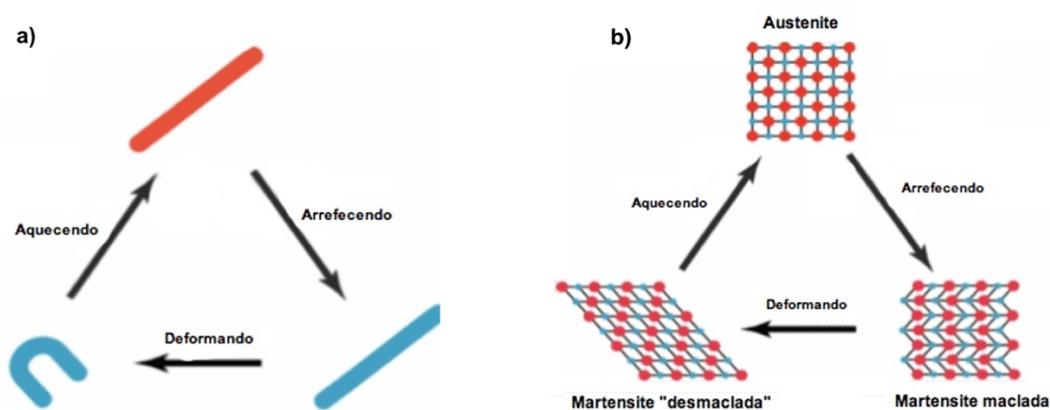


**Figura 1.** Estrutura cristalina das fases de alta (austenite – estrutura cúbica) e baixa temperatura (martensite – estrutura cristalina monoclinica) do NiTi (Nitinol).

O mecanismo de recuperação da forma ocorre por efeito da temperatura, como ilustrado na Figura 2. O ciclo termomecânico envolvido na transformação austenite $\leftrightarrow$ martensite consiste em deformar-se o material no estado martensítico (fase de baixa temperatura). Ao aquecer a liga acima da temperatura de transformação, ela transforma-se em austenite (fase de alta temperatura) e, à medida que se transforma, vai adoptando a forma que tinha inicialmente, antes de ser deformada. Ao arrefecer, volta à fase martensítica, sem ocorrer qualquer mudança de forma (Figura 2a).

A nível microscópico as transformações estruturais do mecanismo do efeito de memória de forma podem ser esquematizadas como na figura 2b. A fase de baixa temperatura

(martensite) apresenta-se maclada (defeitos estruturais). Após deformação (aparentemente plástica), as maclas são eliminadas (a estrutura é “desmaclada”), ocorrendo a mudança de forma. A martensite desmaclada apresenta agora um arranjo cristalino relativamente próximo do da fase de alta temperatura (austenite). Assim, o aquecimento acima da temperatura de transformação irá promover pequenos deslizamentos atômicos que farão a estrutura martensítica desmaclada evoluir para a fase austenítica – é nesta etapa que ocorre a recuperação da forma original. Por arrefecimento, a fase austenítica transforma-se novamente na fase martensítica maclada, sem ocorrer qualquer alteração de forma. Este ciclo pode repetir-se.



**Figura 2.** Mecanismo do efeito de memória de forma térmica.

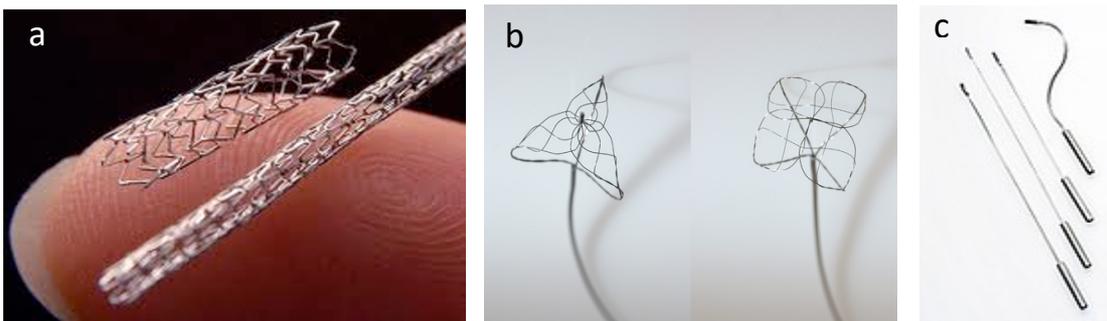
A temperatura a que a transformação ocorre pode ser controlada através de pequenas variações da composição química. No Nitinol, a liga com 55,3%at Ni tem a sua temperatura de transformação  $\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , enquanto na liga com 56%at Ni a temperatura de transformação é  $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2].

Por tratamento térmico, é possível “treinar” as ligas de modo a adquirirem uma forma determinada no estado martensítico, a baixa temperatura, e outra no estado austenítico, acima da temperatura de transformação. Este efeito designa-se Dupla Memória de Forma.

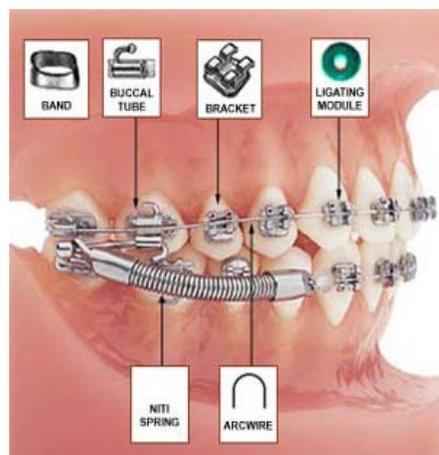
## Aplicações

Apesar de terem sido, durante algumas décadas, apenas uma curiosidade laboratorial, as ligas com memória de forma encontram atualmente um vasto leque de aplicações em diversas áreas da engenharia (mecânica, electrónica, aeroespacial, aeronáutica, têxtil, ambiente, etc) bem como em diversos dispositivos médicos (stents, suturas, aparelhos dentários, instrumentos cirúrgicos).

Devido às suas propriedades, as ligas do sistema Ni-Ti são hoje incontornáveis como biomateriais para aplicações em medicina (Figura 3) e ortodontia (Figura 4), devido também à sua elevada biocompatibilidade. Estes materiais encontram também aplicação crescente em dispositivos termo e electromecânicos para sensores e atuadores (aplicações em aeronáutica (Figura 5), aeroespacial, dispositivos micro e nano electrónicos) ou indústria têxtil (tecidos inteligentes, Figura 6).



**Figura 3.** Cateteres vasculares (*stents*) para desobstrução de artéria ou veia (a). Extractores de cálculos (b). Intrumentos para cirurgia cardíaca (c).



**Figura 4.** Aparelho ortodôntico sem necessidade de ajustes regulares.



**Figura 5.** Nova liga desenvolvida pela NASA permite ajustar a forma das asas do avião durante o voo, otimizando a aerodinâmica e adaptando-a aos variados regimes de voo [4].



**Figura 6.** Tecidos sensorizados com fibras em ligas com memória de forma que permitem transformar a peça de roupa por aquecimento com secador de cabelo (*Oricalco textile*) [5].

A descoberta recente de polímeros e compósitos com propriedades de memória de forma abre também inúmeras perspectivas ao desenvolvimento de novas aplicações futuras em sectores como a indústria automóvel (veículos *self-healing* com materiais com memória de forma embebidos na estrutura), indústria têxtil (tecidos inteligentes com incorporação de sensores) e medicina (*stents* e outros dispositivos médicos biodegradáveis e com libertação controlada de fármacos) [3].

## Referências

- [1] W. Rottiers, L. Van den Broeck, C. Peeters, P. Arras, *Shape Memory Materials and their applications*, Korolev's readings: conference proceedings, 2011, 250-251.
- [2] H. Funakubo, *Shape Memory Alloys*, 1987, Gordon and Breach Science Publishers.
- [3] W. M. Huang, Z. Ding, C. C. Wang, J. Wei, Y. Zhao, H. Purnawali, *Shape memory materials*, *Materials Today*, 13, 7-8, 2010, 54-61.

[4] Machine Design, Endeavor Business Media, <https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21836511/new-memory-metal-allows-wings-to-take-shape-in-flight> (acedido em 27/3/2023).

[5] Grado Zero Espace, <https://www.gzespace.com> (acedido em 27/3/2023).

# Experiências Laboratoriais

Uma das grandes atrações dos laboratórios abertos é realização de experiências laboratoriais. Estas experiências desvendam uma pequena parte do vasto mundo da química, de forma divertida e interativa, incluindo experiências que são realizadas nas aulas e nos laboratórios de investigação do IST.

Após as palestras os alunos visitaram os laboratórios, e em grupo, à volta das bancadas, observaram e participaram nas demonstrações, distribuídas por quatro módulos experimentais, realizadas e explicadas por alunos, investigadores, técnicos de laboratório e docentes.

## A -196 °C e não só!

Dulce Simão<sup>a</sup>, Vasco D.B. Bonifácio<sup>b</sup>

<sup>a</sup>CQE, DEQ, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

<sup>b</sup>iBB, DBE, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

### A -196 °C!

O nitrogénio líquido tem algo de misterioso. A sua baixa temperatura, uns incríveis -196 °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).

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.

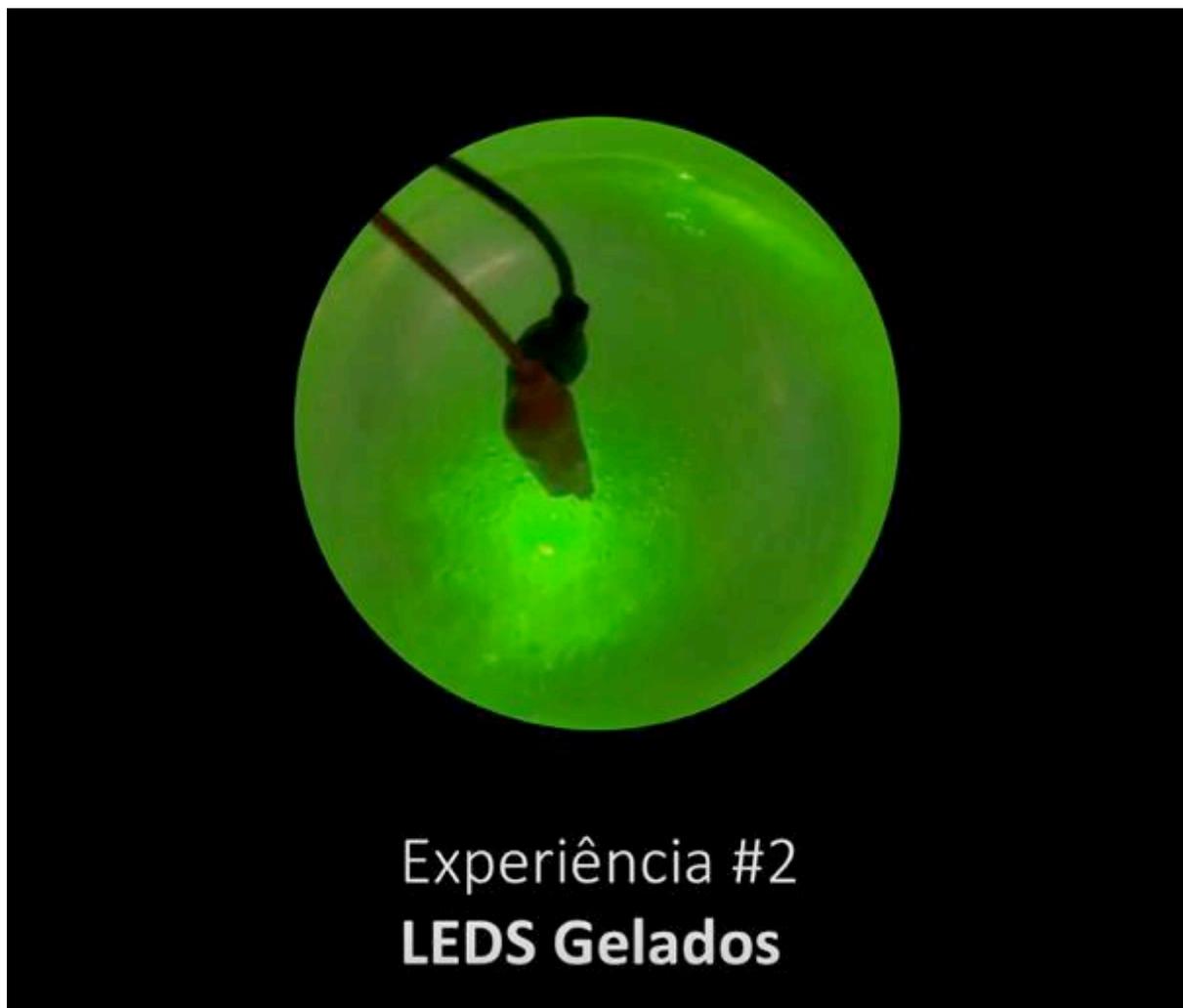
As “Bolas de cristal” são bolas de sabão que se transformam em “cristal fino” quando tocadas pela bruma mágica do nitrogénio. Só visto! Mas se ainda não viram podem ficar descandados, nós mostramos [5].

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”.

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 ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 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.



**Figura 3.** Experiência “LEDS Gelados”.

A mudança da cor laranja (maior comprimento de onda, menor energia) está relacionada com este aumento de energia, que conduz a a uma emissão na região do verde (menor comprimento de onda, maior energia).

### 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.

## 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.

## Experiências luminosas à temperatura ambiente

### Fluorescência

A fluorescência é um fenómeno observado quando certas substâncias são expostas à radiação ultravioleta, verificando-se emissão de luz. A absorção da radiação (energia) origina transições eletrónicas do estado fundamental para níveis de energia superiores (estados excitados). Quando os eletrões 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 tónica, a fluoresceína (Figura 4) muito utilizada para detecção de águas subterrâneas, exames oftalmológicos (angiogramas) e como marcador biológico, como por exemplo em química forense.



**Figura 4.** Água tónica, solução de eosina e de fluoresceína sob luz ultravioleta.

Existem também compostos fluorescentes em notas, cartas de condução e outro tipo de documentos (Figura 5). Este tipo de análise é de igual modo usado em investigação criminal para verificação da validade de papel-moeda e de diversos documentos.



**Figura 5.** 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).<sup>1</sup> 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 6).



**Figura 6.** 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.

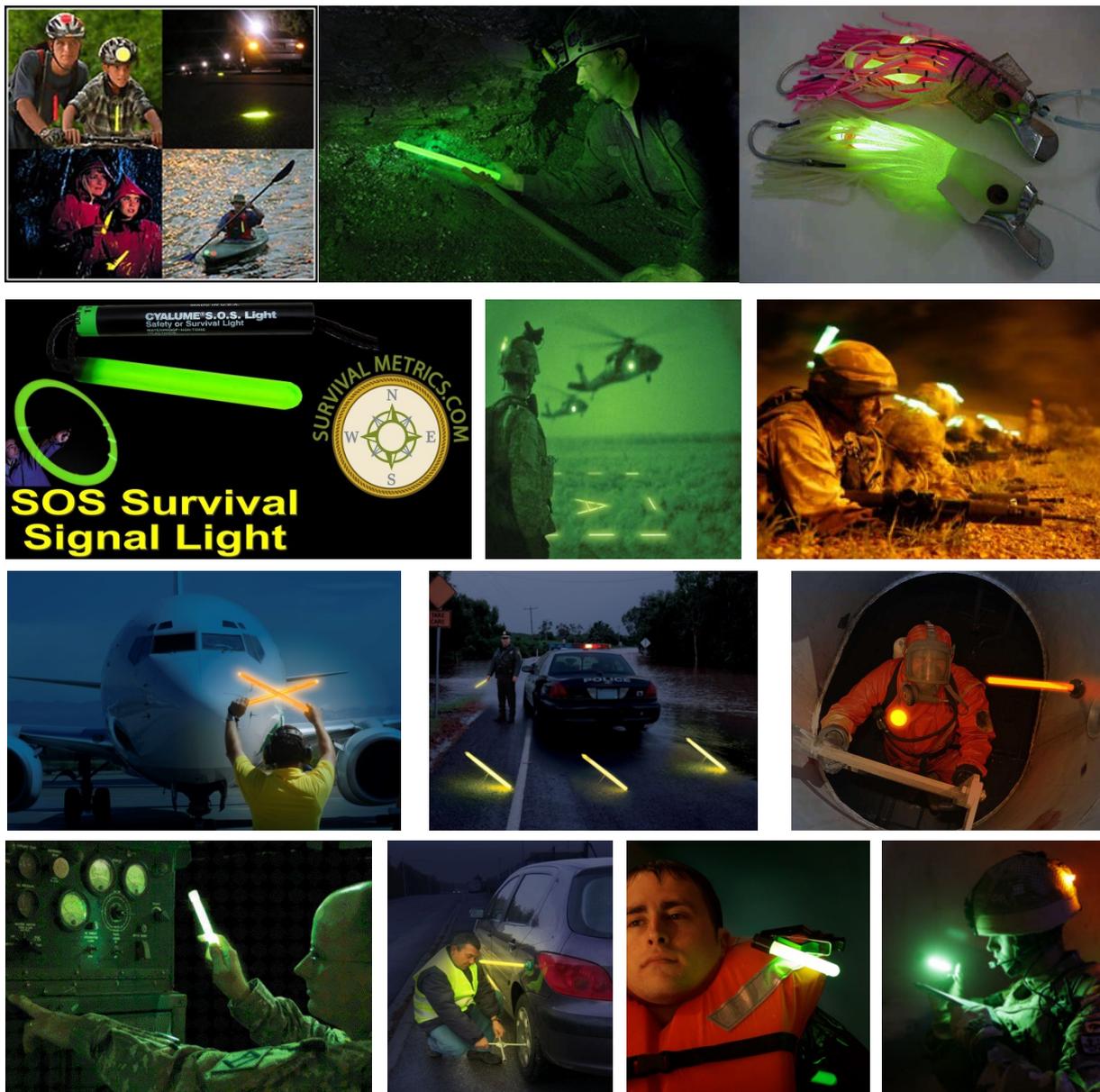
### Quimiluminescência

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 horas<sup>2</sup> (Figura 7).



Figura 7. "Glow Party"

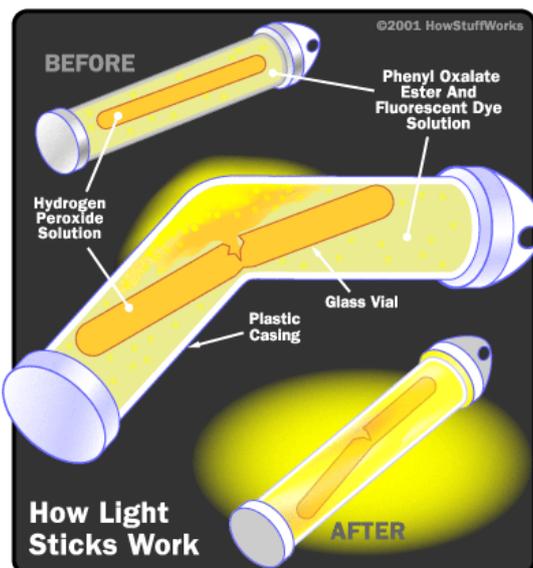
Quando surgiram os primeiros produtos deste gênero, nos anos 70, os chamados "glow sticks" ou "cylume" tinham como principal função servir de luz de emergência. Atualmente são utilizados nas mais variadas situações uma vez que são à prova de água, toleram altas pressões, não necessitam de baterias ou pilhas, não geram calor e são muito baratos. São por isso muito utilizados pelas forças militares, campismo, mergulho, pesca, etc (Figura 8).



**Figura 8.** 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 química<sup>3</sup>.

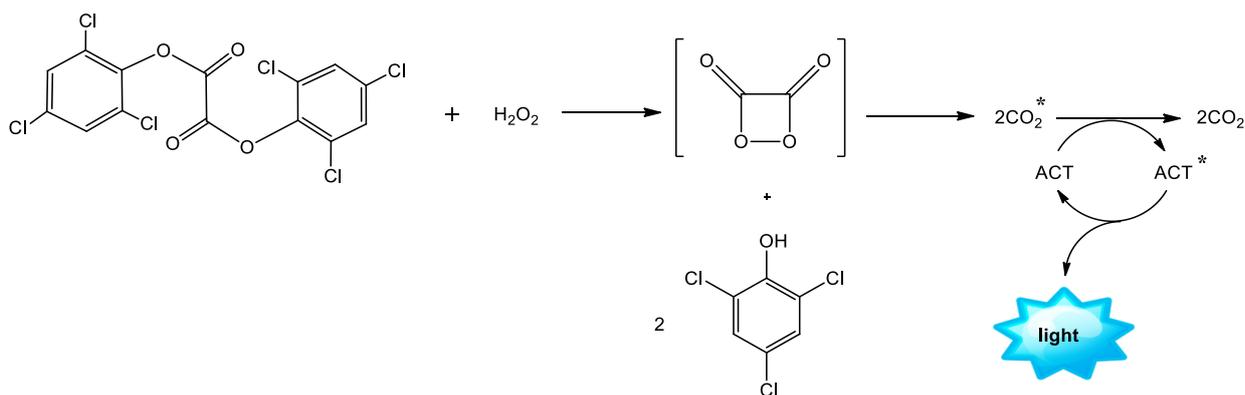
Quando se juntam determinados reagentes, uma das moléculas, (ativador - ACT), é eletronicamente excitada devido à reação, regressando depois ao seu estado fundamental emitindo nessa altura luz fluorescente. Nos “glow sticks”, os reagentes estão em 2 compartimentos separados. Quando se dobra, quebra-se um dos compartimentos, originando a reação com a consequente emissão de luz que dura várias horas (Figura 9)<sup>4</sup>.



**Figura 9.** Como funciona um “Glow stick”.

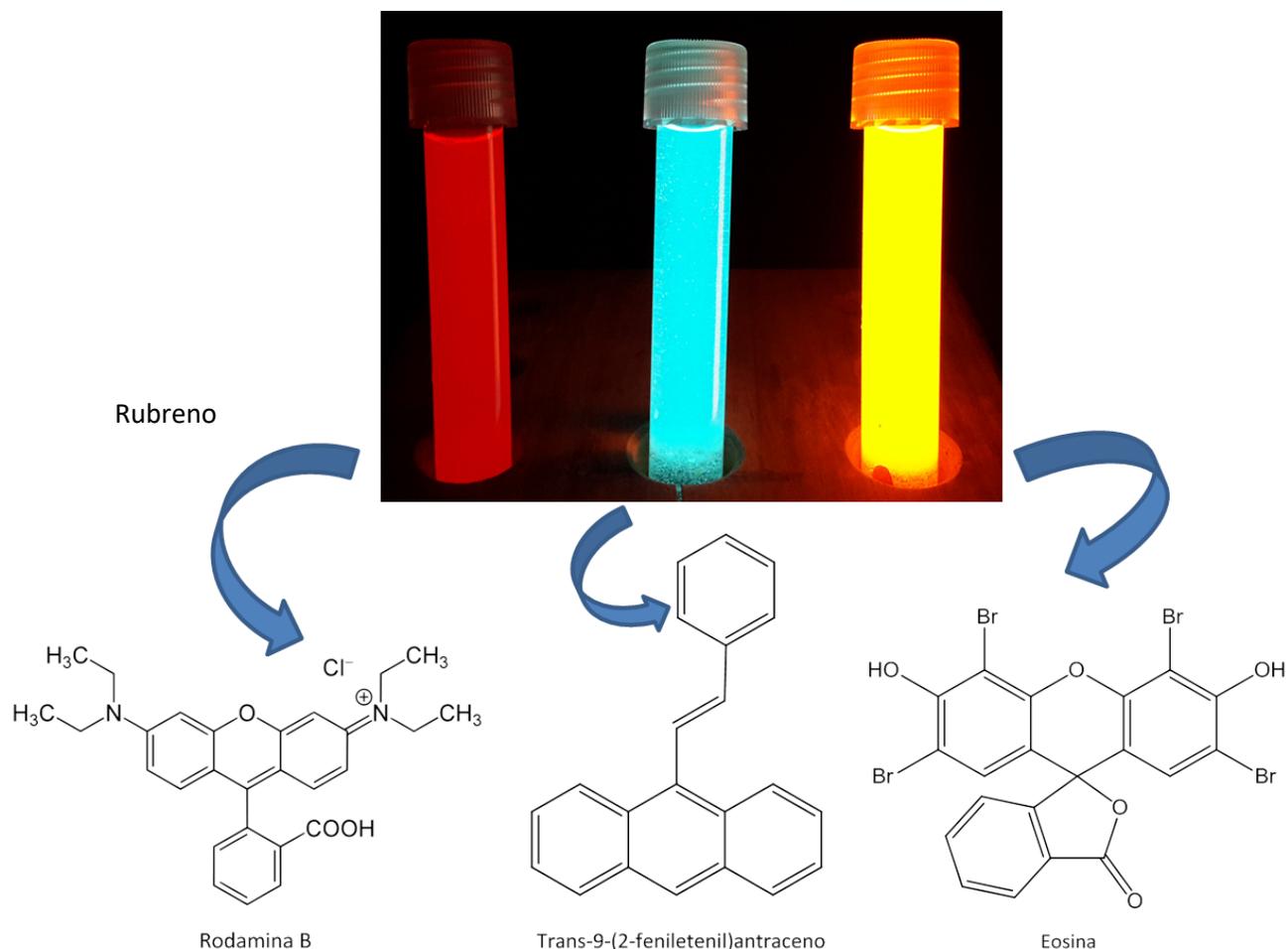
<http://science.howstuffworks.com/innovation/everyday-innovations/light-stick2.htm>

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 10). Verifica-se também a liberação de dióxido de carbono<sup>5</sup>.



**Figura 10.** Reação de quimiluminescência com um ativador (ACT).

A cor emitida dependerá do ativador utilizado<sup>5</sup>. Por exemplo com a rodamina a luz emitida é vermelha, com o trans-9-(2-feniletetil)antraceno<sup>7</sup> é azul, com a eosina é laranja e com o rubreno é amarela (Figura 11).



**Figura 11.** 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.

## Agradecimento

Agradeço à Técnica de Laboratório Carla Salvador, a sua colaboração na preparação das experiências deste módulo.

# Da Química à Engenharia Química

## Os Metais: essenciais ou tóxicos?

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

Sílvia Chaves

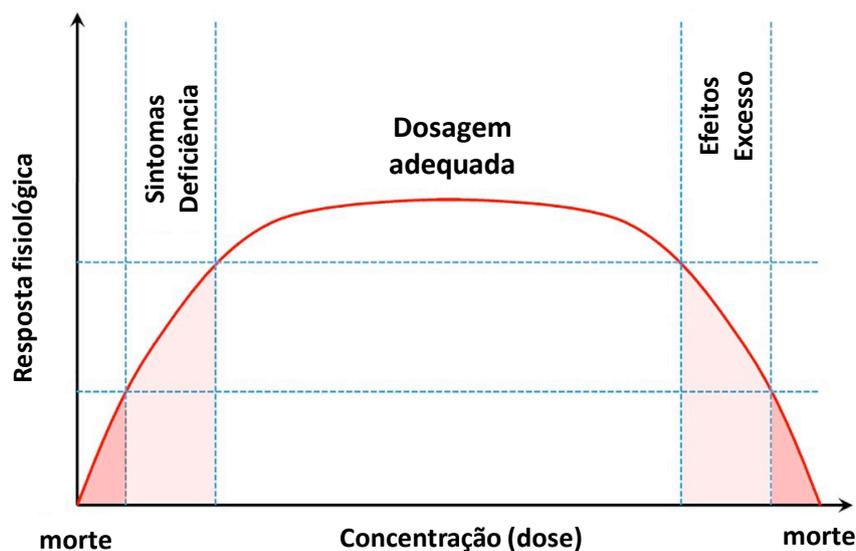
Centro de Química Estrutural, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.



O corpo humano necessita de cerca de 20 elementos para funcionar de modo adequado, sendo que 10 deles correspondem a metais (Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Co, Cu, Zn, Mo) que devem existir em quantidades apropriadas [1]. Claro que a atribuição exata dos elementos vitais pode variar de algum modo de organismo para organismo. Pensa-se que quantidades vestigiárias de elementos como Mn, Fe, Cu, Zn, Se, Co, Mo e I são essenciais tanto para animais como plantas, enquanto a importância de outros, como V, Ni, Br, Si e Sn, ainda se encontra em discussão.

A deficiência em iões metálicos essenciais provoca diversas perturbações: sódio, potássio (menor resistência a excessos térmicos e desidratação, fraqueza muscular), cálcio (má formação óssea), magnésio (cãibras musculares), ferro (anemia, desordens no sistema imunitário), manganês (infertilidade, desequilíbrios no crescimento ósseo), cobalto (anemia perniciosa), cobre (debilidade arterial, doenças de fígado), zinco (atraso no crescimento infantil, doenças de pele), molibdénio (menor crescimento celular, aparecimento de cáries).

Porém, os iões metálicos têm uma importância bivalente na vida: tanto são essenciais como tóxicos. De facto, um diagrama dose-resposta (ver Figura 1) mostra que qualquer elemento essencial à vida pode ser tóxico se a dose for muito elevada, de acordo com o princípio de Paracelsus “a dose faz o veneno”.



**Figura 1.** Diagrama dose-resposta para um elemento. Adaptado de [1].

Relativamente aos elementos tóxicos, podem definir-se dois grupos: aqueles para os quais a reduzida abundância e baixa biodisponibilidade os torna não essenciais à vida e outros elementos para os quais só efeitos negativos são atribuídos, como é o caso de metais/metalóides como o chumbo, o cádmio, o mercúrio ou o antimónio.

Este módulo de experiências foi organizado de modo a apresentar testes de análise qualitativa e quantitativa, envolvendo diferentes metais/metalóide, e baseia-se em reacções colorimétricas, sem recorrer a equipamento laboratorial sofisticado.

As experiências incorporadas neste tópico correspondem a:

- Determinação da dureza da água da torneira (teor em cálcio e magnésio)
- Detecção de cobre numa água contaminada
- Presença de ferro num leite enriquecido
- Identificação de antimónio num preparado gástrico.

## Determinação da dureza da água da torneira

A dureza de uma água corresponde a um parâmetro de avaliação da sua qualidade e reflete a presença na água de sais de metais alcalino-terrosos (cálcio, magnésio e estrôncio) mas também de sais de

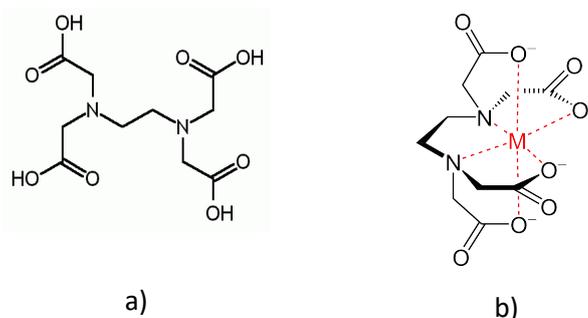
metais pesados (ferro, alumínio e manganês) [2]. A solubilidade dos metais pesados é reduzida e, portanto, o seu contributo para a dureza não é significativo, sendo a dureza maioritariamente traduzida pela soma das concentrações dos iões  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , sendo normalmente expressa em unidades de mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . Ambos estes elementos metálicos são essenciais à vida e existem nas águas naturais como macroconstituintes.

Se uma água for dura, o seu uso obriga a um consumo de mais sabão nas lavagens (“dureza da lavagem com essa água”), devido à formação de sais insolúveis de cálcio e de magnésio com os ácidos gordos dos sabões, ficando a água com uma cor leitosa. Apesar de uma água dura ser potencialmente mais nutritiva e agradável de beber, o seu uso conduz a outros inconvenientes tais como maior tempo de cozedura dos alimentos, endurecimento de alguns alimentos durante a cozedura e possibilidade de conduzir a incrustações nas canalizações de águas de caldeiras. A legislação portuguesa (DL 236/98 [3]) estipula um valor máximo aceitável (VMA) de dureza de 500 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  relativo a água para consumo humano.

A dureza de uma água é determinada a pH = 10, por titulação com um ligando (EDTA), formando-se complexos de cálcio e de magnésio. 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):



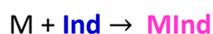
Os ligandos são compostos que contêm átomos doadores de electrões que se ligam aos iões metálicos, deste modo formando complexos. Um complexante largamente utilizado, tanto em análise química como bioquímica, medicina, diversas indústrias e tratamento de efluentes, é o EDTA, visto ser um composto fácil de obter puro e formar complexos de elevada estabilidade com a maior parte dos metais, entre os quais o cálcio e o magnésio. O EDTA (abreviatura de ácido etilendiamino 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.



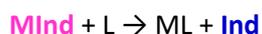
**Figura 2.** Estrutura do a) EDTA e de um seu b) complexo metálico.

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).

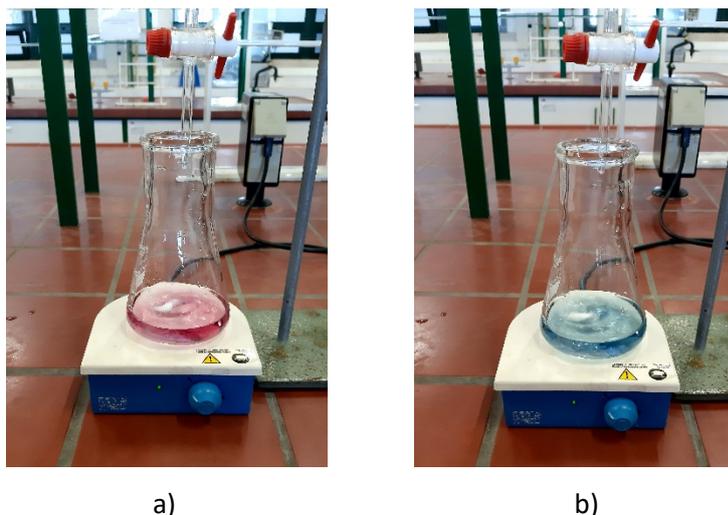
Em geral, numa titulação complexométrica directa, tem-se na bureta a solução de complexante e no copo de titulação a solução a titular, com o ião metálico em causa. No entanto, para detectar o ponto de equivalência da titulação, em que o complexo está completamente formado, ou seja, o ponto em que a 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 é apresentada uma titulação complexométrica com EDTA para determinar a dureza da água da torneira, usando como indicador metalocrómico o negro de eriocromo T (NET), verificando-se uma mudança de cor-de-rosa para azul quando é atingido o ponto de equivalência.

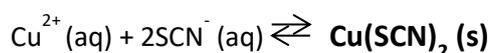


**Figura 3.** Titulação complexométrica da água da torneira com EDTA (pH = 10) para determinação da sua dureza: a) antes do ponto de equivalência, b) depois do ponto de equivalência.

### Deteção de cobre numa água contaminada

O cobre pode aparecer como contaminante em águas naturais uma vez que é utilizado em diversas aplicações, tais como em tintas, em conservantes para madeira em navios (evitando o desenvolvimento de fungos e bicho da madeira) ou em fertilizantes (suplementados com cobre), pesticidas, algicidas e fungicidas sob a forma de óxidos e sulfatos de cobre. Este elemento é essencial para o desenvolvimento das plantas, desempenhando um papel importante na síntese da clorofila, o que faz com que solos deficientes em cobre provoquem o amarelecimento das folhas das plantas (clorose). Além de ser importante no sistema circulatório dos invertebrados, é também essencial no desenvolvimento das crianças (0,1 mg/dia) e saúde dos adultos (2 mg/dia). Valores de cobre acima de 1mg/L podem conferir algum sabor à água pelo que se recomenda que o teor em cobre não ultrapasse este valor. Porém, devido a diversas atividades antropogénicas (mineração, fabrico de artigos eléctricos, latão e bronze), as águas naturais podem aparecer contaminadas com cobre em teores bem acima de 1mg/L.

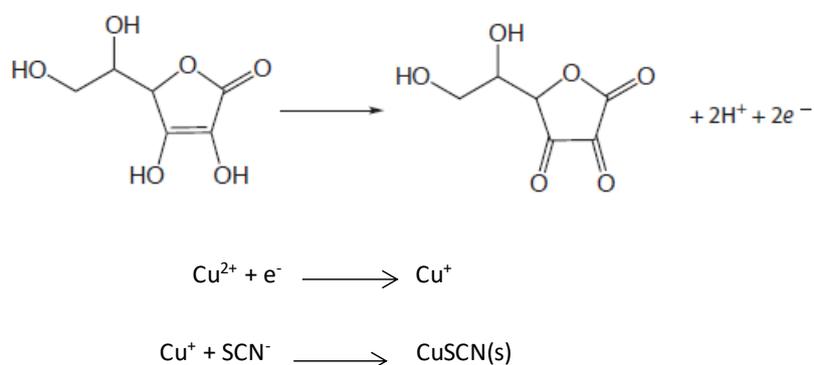
Para identificar, de forma rápida, a presença de cobre numa amostra, pode ser adicionada uma solução de um sal de tiocianato e verificar o aparecimento de um precipitado **preto** de tiocianato de cobre (II):



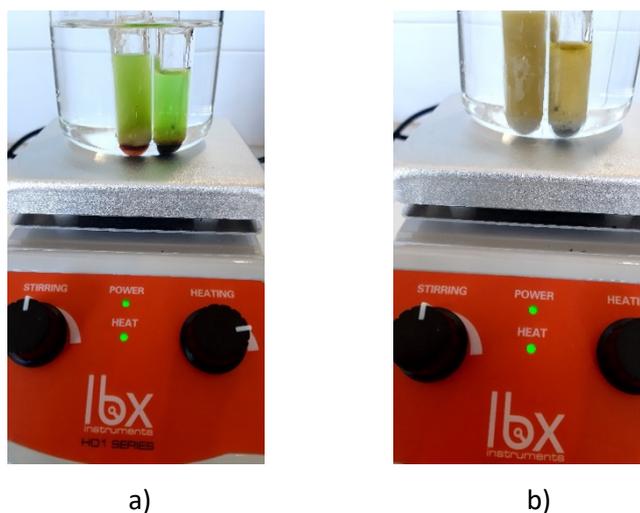
No entanto, este precipitado torna-se instável [4] por aquecimento, ou na presença de um redutor (que reduz Cu(II) a Cu(I)), decompondo-se para dar um precipitado branco de tiocianato cuproso

(CuSCN<sub>(s)</sub>) com possível libertação de ácido cianídrico (HCN<sub>(g)</sub>). O redutor pode já estar presente na amostra ou ser adicionado no laboratório. Exemplos de redutores são o ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>), o sulfito de sódio (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>), o hidrogenossulfito de sódio (NaHSO<sub>3</sub>), o cloreto de hidroxilamónio (NH<sub>3</sub>OHCl) ou o ácido ascórbico (vitamina C) [5].

Neste teste vai observar-se a formação de um precipitado preto de Cu(SCN)<sub>2</sub>, por adição de tiocianato de potássio a uma amostra de água contaminada com cobre (Cu<sup>2+</sup>), bem como o seu desaparecimento, para dar origem a um precipitado branco de CuSCN, após adição de umas gotas de limão (ácido ascórbico como redutor, ver Figuras 4 e 5) e aquecimento num banho de água.



**Figura 4.** Formação de tiocianato cuproso na presença de ácido ascórbico.



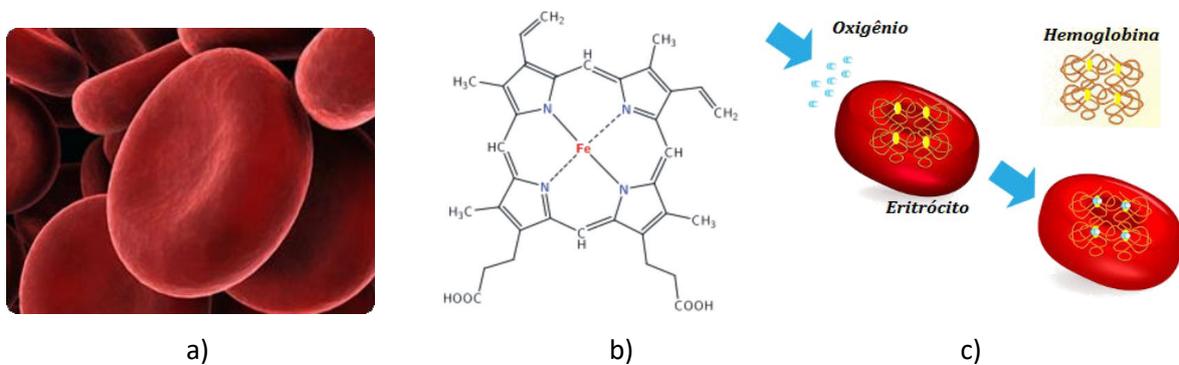
**Figura 5.** Teste da presença de Cu<sup>2+</sup> numa água contaminada, por adição de uma solução de tiocianato de potássio na presença (tubo da esquerda) e na ausência (tubo da direita) de sumo de limão, a) antes e b) após aquecimento.

## Presença de ferro num leite enriquecido

O leite corresponde a uma emulsão de gorduras em água contendo proteínas, sais minerais e vitaminas a um pH de 6,5 - 6,7. O leite é uma fonte de cálcio e de vitamina A, sendo também encontrados na sua constituição outros elementos relacionados com problemas de deficiência em recém-nascidos tais como fósforo, zinco, ferro e cobre.

Este alimento é o mais comum na dieta das crianças durante os seus dois primeiros anos de vida e mantém-se um alimento muito frequente até aos cinco anos. Desta forma, os programas de combate à desnutrição em crianças incluem o leite enriquecido de forma quase compulsiva, assim tentando eliminar deficiências em ferro e em vitamina A, existentes no grupo de maior vulnerabilidade (crianças de 6 a 23 meses).

O ferro é um elemento metálico vital, já que está presente nalgumas proteínas, mas a sua principal função está relacionada com o transporte, armazenamento e utilização do oxigénio molecular. Ele encontra-se nas hemácias, transmitindo a estas o tom colorido característico dos glóbulos vermelhos do sangue. A hemoglobina das hemácias contém ião ferro na sua estrutura e serve como transportadora, sob a forma de oxihemoglobina, do oxigénio proveniente da respiração.



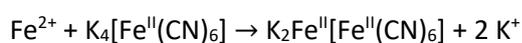
**Figura 6.** Hemácias (a), estrutura da hemoglobina (b) e transporte de oxigénio (c).

O ião ferro é ingerido pelo organismo e, após absorção intestinal, atinge a circulação. Através da glicoproteína transferrina, ele é transportado para a medula óssea e a porção não utilizada imediatamente é armazenada sob a forma de ferritina. A quantidade de ferro necessária a um adulto é de cerca de 12 mg/dia.

São aqui apresentados dois testes qualitativos de identificação do ferro numa amostra de leite enriquecido. Em qualquer destes testes é adicionado ácido clorídrico (HCl) ao leite, o que permite a desnaturação das proteínas, tornando possível que o ferro passe para o seio da solução por hidrólise.

#### Teste A – Reacção com hexacianoferrato(II) de potássio

Na presença de hexacianoferrato(II) de potássio, obtém-se um precipitado, ou seja um produto sólido, de coloração azul intenso (**azul da Prússia**), devido à oxidação parcial do hexacianoferrato(II) de ferro e potássio ( $K_2Fe^{II}[Fe^{II}(CN)_6]$ ) a hexacianoferrato(II) de ferro(III) ( $Fe^{III}_4[Fe^{II}(CN)_6]_3$ ).



#### Teste B – Reacção com tiocianato de amónio

Na presença do anião tiocianato ( $SCN^-$ ) obtém-se uma coloração vermelha devido ao complexo hexatiocianoferrato(III) ( $Fe[Fe(SCN)_6]$ ).



**Figura 7.** Testes de identificação de ferro numa amostra de leite enriquecido por adição de hexacianoferrato(II) de potássio (esquerda) ou de tiocianato (direita).

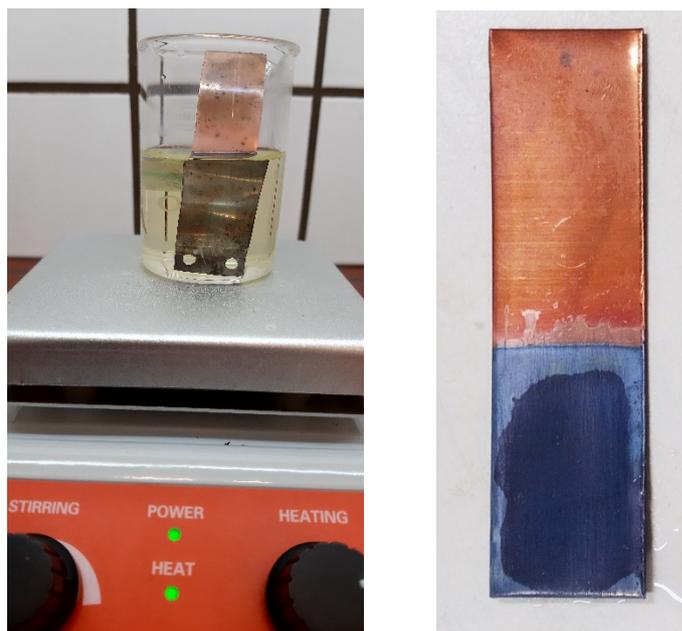
## Identificação de antimónio num preparado gástrico

O antimónio é um elemento tóxico do grupo dos metalóides, ou seja, apresenta um comportamento intermédio entre os metais e os não metais, nomeadamente no que diz respeito a questões de ionização e de propriedades de ligação. Os metalóides encontram-se distribuídos em diagonal descendente, do boro ao astato (não incluindo este último) dividindo assim a Tabela Periódica em duas zonas: para a esquerda, os elementos metálicos e para a direita, os não metálicos.

Uma pessoa pode estar exposta ao elemento antimónio por via ocupacional (industrial), através de vapores e poeiras, ou através da ingestão de água ou alimentos contaminados. Uma exposição aguda a antimónio ou compostos antimoniais pode causar alterações gastrointestinais (vómitos ou diarreia), dificuldades respiratórias ou mesmo morte, enquanto exposições crónicas são responsáveis por alterações em parâmetros hematológicos [6]. Apesar do antimónio ser fracamente absorvido por via gastrointestinal, ao entrar na corrente sanguínea, onde coexiste nos eritrócitos e no plasma em função do seu estado de valência, pode provocar lesões hepáticas e pulmonares. O antimónio é transportado no sangue sem ser metabolizado, fixando-se em macromoléculas e reagindo de forma covalente com grupos fosfato e sulfidrilo.

O teste de Reinsch é um teste qualitativo, extremamente sensível e rápido, muito útil numa primeira fase de despiste da existência de intoxicação por metalóides, tais como arsénio e antimónio, ou de metais, tais como bismuto e mercúrio, que possam estar presentes em fluidos biológicos (ex. urina, preparados gástricos). Neste teste, basta introduzir na amostra uma placa de cobre, acidificar e verificar a cor do depósito formado sobre o cobre (preto para arsénio, preto brilhante para bismuto, cor de prata para mercúrio e púrpura escuro para antimónio).

Na experiência aqui proposta verifica-se o aparecimento de um depósito de antimónio (cor roxa) sobre uma placa de cobre mergulhada num preparado gástrico artificial, através de uma reacção redox em meio ácido em que se dá a solubilização do cobre por oxidação do mesmo.



**Figura 8.** Teste de Reinsch para despiste da presença de antimónio num preparado gástrico artificial.

## Referências

- [1] – M.A. Zoroddu, J. Aaseth, G. Crisponi, S. Medici, M. Peana, V.M. Nurchi, The essential metals for humans: a brief overview, *J. Inorg. Biochem.* 195 (2019) 120-129.
- [2] - B. Mendes, J.F.S. Oliveira, *Qualidade da Água para consumo humano*, Lidel Ed. Técnicas, 2004.
- [3] – Diário da República, Nº 176-1-8-1998, Decreto Lei Nº 236/98.
- [4] - D. Tudela, The reaction of copper(II) with thiocyanate ions, *J. Chem Ed.* 70(2) (1993) 174.
- [5] - W.P Hayes, A.H. Sasa, V.S. Fareed, D.T. Burns, Some observations on the determination of copper with thiocyanate, *Anal. Chim. Acta* 71 (1974) 210-214.
- [6] – A.M. Félix, *Fichas Toxicológicas*, Departamento de Saúde Pública e Planeamento, Administração Regional de Saúde do Centro.

## Agradecimento

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

## Aplicações da Engenharia Química

Fátima Rosa, Rosinda Ismael

Centro Cerena - Centro de Recursos Naturais e Ambiente, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

O que nos vem à ideia quando ouvimos as palavras Engenharia Química? Provavelmente uma profissão que envolveu o estudo de disciplinas como Química, Matemática, Cálculo... Assim é, de facto, mas não só. Haverá que acrescentar também Física, Biologia, Informática,... entre outras.

A Engenharia Química é um ramo da Engenharia que apresenta inúmeras aplicações e está presente em muitos sectores que, muitas vezes, nem imaginamos.

Ela contribui para o desenvolvimento da sociedade em geral, não apenas nas suas aplicações mais imediatas, mas também com impacto decisivo por exemplo na área económica, nomeadamente a partir do início da chamada Era Industrial até ao recente e actual conceito de Economia Circular\*.

O objectivo deste módulo é apresentar e descrever aplicações industriais da Engenharia Química, de modo a proporcionar uma visão de possíveis utilizações com impacto ambiental reduzido.

### Torre de arrefecimento

É água, neste caso chamada água de arrefecimento, que a indústria utiliza para dissipar o calor produzido por diversos equipamentos industriais, devido às suas propriedades físicas e ao baixo custo. Apesar deste último aspecto, tratando-se de um bem essencial, um recurso finito e tendo também em conta naturais preocupações de natureza ambiental, convirá não ser desperdiçada.

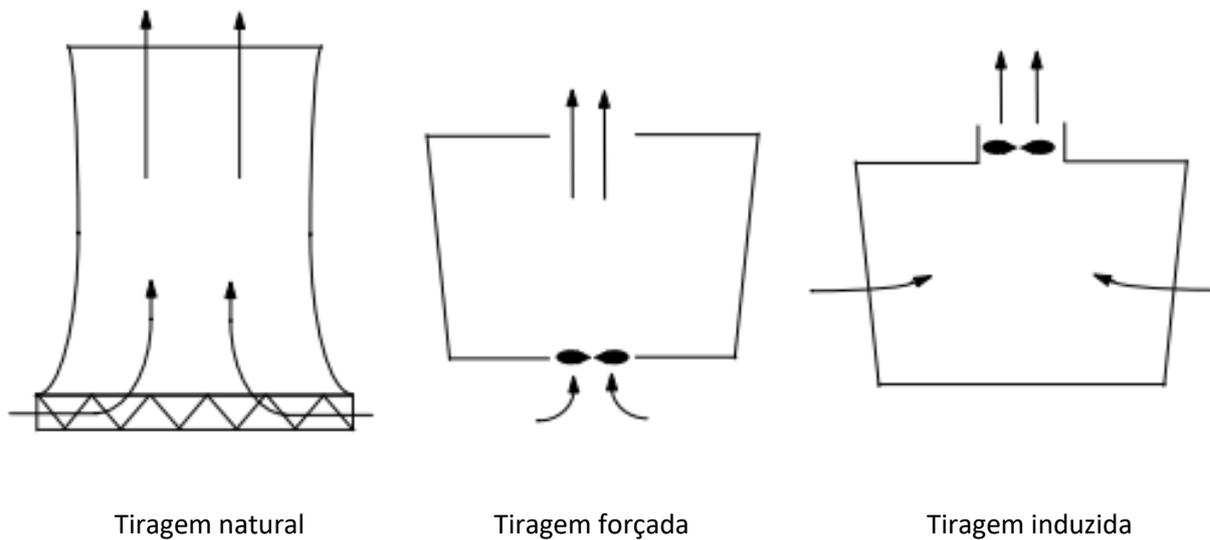
No processo de arrefecimento de um qualquer equipamento ou produto, a água ficará logicamente mais quente. Para voltar a ser (re)utilizada como fluido de arrefecimento, terá ela própria de sofrer um processo semelhante, que a devolva à temperatura original. Com esse objectivo, as fábricas utilizam normalmente as chamadas torres de arrefecimento que lhes permitem arrefecer a água e voltar a utilizá-la como fluido térmico.

As torres de arrefecimento podem classificar-se conforme a forma de contacto entre a corrente de ar e água (direto ou indirecto), pelo tipo de ventilação (natural, forçada ou induzida) ou pela direcção do fluxo de ar em relação ao escoamento de água (cruzado ou contracorrente).

Na Figura 1 mostram-se esquemas dos diferentes tipos de tiragem. [1]

Na tiragem natural o movimento do ar na torre baseia-se na diferença de densidades entre o ar quente (menos denso) dentro da torre e o ar frio, exterior, (mais denso).

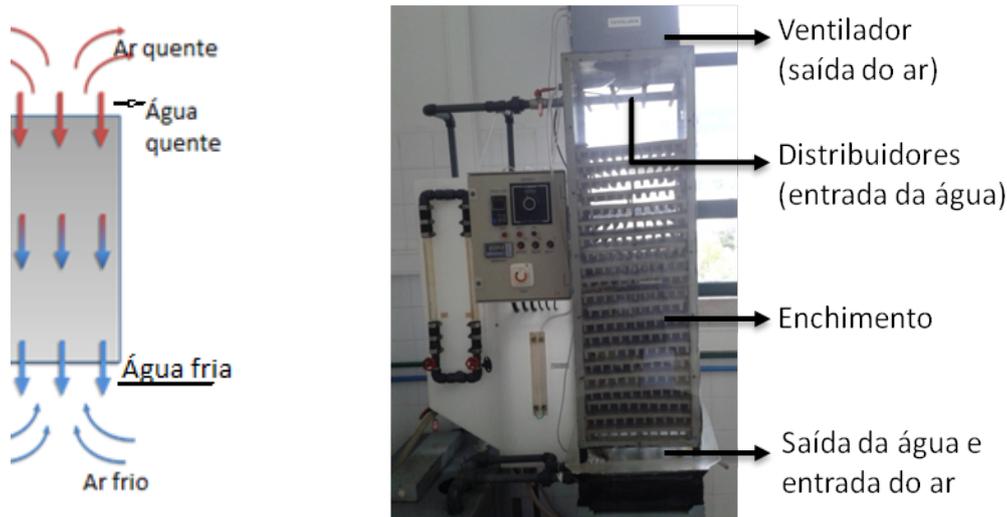
Na tiragem forçada e induzida utilizam-se ventiladores para forçar por insuflação ou extração respectivamente, a passagem de ar pela água circulante.



**Figura 1.** Esquema de tipos de tiragem [1]

A torre de arrefecimento disponível no laboratório (Figura 2) é uma coluna vertical que opera em contracorrente, ou seja, a água desce pela torre (e vai arrefecendo) enquanto o ar sobe. É uma torre de tiragem induzida, pois o ventilador encontra-se localizado na saída do ar.

Se a água entra na torre com uma determinada temperatura e sai com uma temperatura mais baixa, significa que cedeu calor ao ar do meio ambiente, que fica naturalmente mais quente e húmido. De modo a garantir que a passagem do ar no interior da torre é adequada e suficiente, instalam-se ventiladores (geralmente no seu topo) para que o ar seja forçado a entrar. Note-se que uma pequena parte da água em circulação no sistema de arrefecimento é evaporada, pelo que é necessária a injeção de água no sistema, operação chamada de *make-up*.



**Figura 2.** Esquema de uma torre de arrefecimento e instalação piloto.

Para melhor compreensão do funcionamento do sistema, imaginemos um copo com água quente que queremos arrefecer. Uma forma de o fazer rapidamente seria distribuir a água por outros copos ou mesmo em pequenas gotas. A torre de arrefecimento de água funciona com uma lógica semelhante. O seu topo funciona como uma espécie de chuveiro, que distribui a água a partir daí. Por forma a aumentar a transferência de calor da água para o ar geralmente as torres têm o chamado enchimento, que é um material (por exemplo placas de madeira ou plástico) que permite maximizar a distribuição da água ao longo da coluna e dividi-la ainda mais em pequenas gotas, aumentando o seu contacto com o ar.

O fenómeno do arrefecimento por evaporação acontece quando um gás circula sobre um líquido. A evaporação ocorre a partir da superfície do líquido e a energia associada com a mudança de fase é o calor latente de vaporização do líquido. A evaporação dá-se quando as moléculas do líquido perto da superfície sofrem colisões que aumentam a sua energia acima da necessária para sobrepôr a energia de ligação das moléculas. A energia necessária para promover a evaporação é proveniente da energia interna do líquido (que não evapora) que, por sua vez, arrefece ao cedê-la.

A temperatura mínima num sistema de arrefecimento a água pode até ser menor que a temperatura ambiente, dependendo da humidade relativa do ar e da eficiência do equipamento. No entanto, existe um valor mínimo ao qual a temperatura deste processo pode chegar, que é a chamada Temperatura de termómetro húmido. O desempenho de uma torre de arrefecimento varia, entre outros factores, conforme a temperatura do ar ambiente, humidade do ar, temperatura de termómetro húmido.

Nem todas as torres de arrefecimento têm de ter um ventilador em que o ar é “forçado” a entrar. As torres de arrefecimento de circulação natural do ar são imagens típicas das centrais termoelétricas

(Figura 3), como por exemplo a do Carregado. São geralmente reconhecidas pela saída característica do vapor de água e pela sua grande altura, necessária para que haja um efeito de chaminé.



**Figura 3.** Torres de arrefecimento com circulação natural do ar.

A formação de neblina ocorre quando parte do vapor de água que sai da torre condensa em pequenas gotas devido ao contato com o ar ambiente mais frio, tornando-se o ar supersaturado. A sua ocorrência verifica-se com mais frequência no inverno, dificultando a dispersão do ar quente que sai da torre.

As condições de operação de uma torre de arrefecimento como a temperatura da água, os seus nutrientes, contacto com a atmosfera, a possível estagnação e a ausência de tratamento de água podem originar a formação de depósitos, incrustações, formação de algas, fungos ou bactérias, condições ótimas para o desenvolvimento, por exemplo, da *Legionella pneumophila*, como aconteceu recentemente, com os resultados que se conhecem.

Todos estes fenómenos podem traduzir-se em degradação das superfícies, entupimentos e riscos para a saúde pública. A torre de refrigeração apresenta um risco elevado porque a água é projectada na forma de aerossóis e estes podem ser facilmente inalados.

### Transporte Pneumático

O transporte pneumático é uma operação muito utilizada no transporte de sólidos em diversos processos industriais e químicos [2,3]. Entre os muitos materiais sólidos que são normalmente transportados por este sistema podemos ter produtos alimentares como o grão, milho, café, bem como pellets de polímero ou algodão. Desde que as partículas sólidas tenham um baixo teor de humidade, é um dos métodos mais utilizados de transporte.



Com as preocupações ambientais cada vez mais presentes nos distintos universos industriais, é cada vez maior a procura de sistemas de transporte limpos, com menos desperdício, menos partículas em suspensão, minimização de riscos de contaminação cruzada, como é o caso do transporte pneumático. O transporte pneumático pode ser classificado em relação ao modo como é efectuado, como sendo de fase densa ou diluída. No transporte em fase diluída, as partículas permanecem suspensas durante o trajecto, tendo como característica a baixa concentração volumétrica de sólidos. Na fase densa baseia-se num impulso de gás para obrigar a movimentação do sólido em carga, não se verificando suspensão das partículas ao longo da tubagem.

A instalação laboratorial Figura 4, é de transporte vertical em fase diluída.



**Figura 4.** Instalação de transporte pneumático - Fluidização de partículas de polímero.

No transporte pneumático o princípio básico utilizado é o da fluidização das partículas sólidas com ar ou gás inerte, seguida do respectivo escoamento em fase diluída juntamente com o gás.

Num leito fixo de partículas atravessado por uma corrente de ar no sentido ascendente, o primeiro efeito da força de atrito exercida pelo ar é uma reorientação das partículas no sentido da diminuição da sua resistência à passagem do ar. Com o aumento do caudal, o leito vai-se progressivamente expandindo devido ao aumento da força de atrito, o que tem como contrapartida o aumento da perda de pressão no fluido.

Atinge-se assim uma porosidade limite para a qual as partículas estão já separadas umas das outras. Nesse estado a força de atrito exercida sobre elas iguala o seu peso aparente, passando estas a mover-se em leito fluidizado suportadas pelo fluido.

Continuando a aumentar o caudal de ar a turbulência do leito aumenta, assim como a sua altura e porosidade. Quando a velocidade intersticial do ar atingir o valor correspondente à velocidade terminal de queda livre das partículas, a velocidade relativa ar-sólido anula-se e dá-se o arrastamento do sólido pelo fluido. Neste ponto pode considerar-se em primeira aproximação que a porosidade atinge o valor limite 1 e entra-se no regime de transporte pneumático.

## Referências

[1] <https://paginas.fe.up.pt/~jfacao/MasterThesis.pdf> consultado em 8 Fevereiro 2021

[2] G.E. Klinzing, F. Rizk, R. Marcus, L.S. Leung, Pneumatic Conveying of Solids A theoretical and practical approach Series: Particle Technology Series, Vol. 8 3rd ed. 2010, -SPRINGER

[3] A. Levy, The influence of a bend on the flow characteristics in pneumatic conveying systems, handbook of powder technology, vol 10, pag. 403-409, 2001

\*Por Economia Circular entende-se um recentemente desenvolvido conceito estratégico, que tem como filosofia de base a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia. Ao contrário do conceito de fim-de-vida da economia linear e movida por novos fluxos de reutilização, restauração e renovação, num processo integrado, a economia circular é actualmente entendida como um elemento chave para eliminar a tradicional oposição entre crescimento económico e aumento no consumo de recursos, relação tradicionalmente considerada inevitável.

## Agradecimento

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

# Escala piloto: Do laboratório para o processo industrial

Remígio de Matos Machado, Pedro Freitas Mendes

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

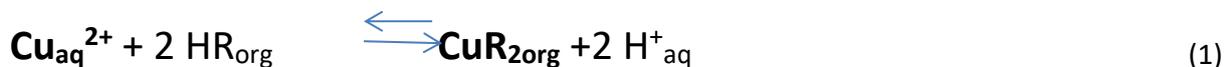
## Extracção Líquido-Líquido: recuperação de metais

A extracção líquido-líquido é uma tecnologia de separação que permite recuperar e concentrar um elemento valioso dissolvido numa fase aquosa (sais de ouro por exemplo) ou eliminar para efeitos de tratamento da fase aquosa um elemento ou compostos tóxicos e poluentes (por exemplo o crómio da Indústria dos curtumes ou compostos orgânicos como os polifenóis das águas ruças).

### A extracção líquido-líquido do cobre

No caso particular em demonstração, a solução aquosa submetida à extracção líquido-líquido contém o ião  $\text{Cu}_{\text{aq}}^{2+}$  com uma concentração de **1g/L**.

O solvente de extracção tem como componentes principais um diluente de nome comercial **Shel Sol D70** e um composto extractante (**HR**) com o nome comercial **Acorga P50**. O extractante é um composto químico da família das **oximas**. As oximas têm a 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. O extractante (**HR**) tem grande afinidade para formar complexos moleculares com o ião  $\text{Cu}_{\text{aq}}^{2+}$  através da reacção química:



A qual se representa na Figura 1:

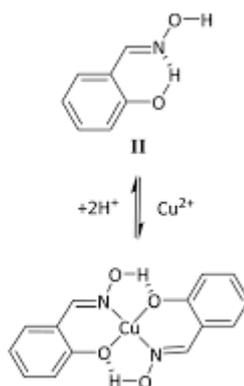
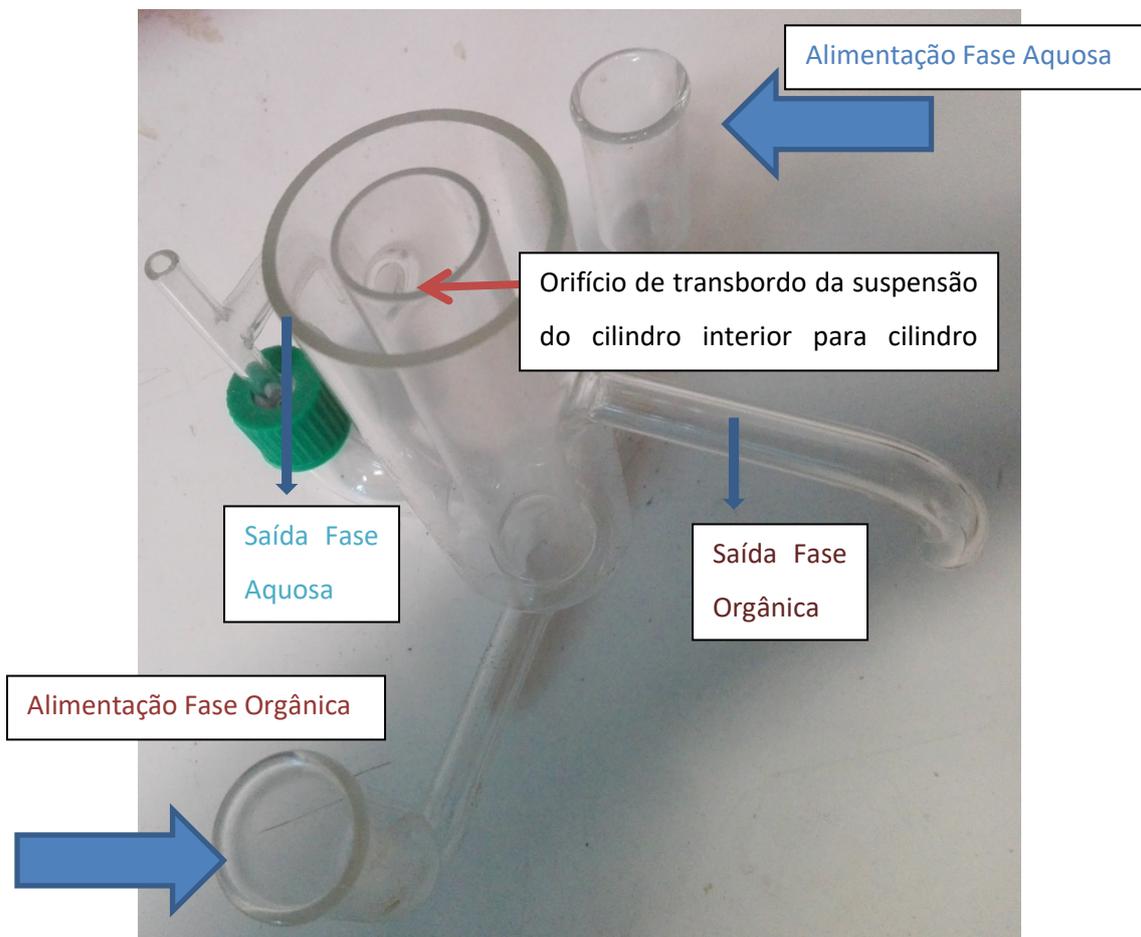


Figura 1. Reacção do Acorga P50 com o ião  $\text{Cu}_{\text{aq}}^{2+}$ . Adaptada de [2].

O solvente tem também na sua composição um modificador orgânico, o **triisobutanol**, que confere estabilidade ao solvente evitando separação dos componentes em fases distintas nas condições operacionais de extracção.

### Escala laboratorial: bateria de cinco misturadores decantadores em contracorrente

A Figura 2 mostra uma imagem de um dos misturadores decantadores utilizados na montagem experimental:

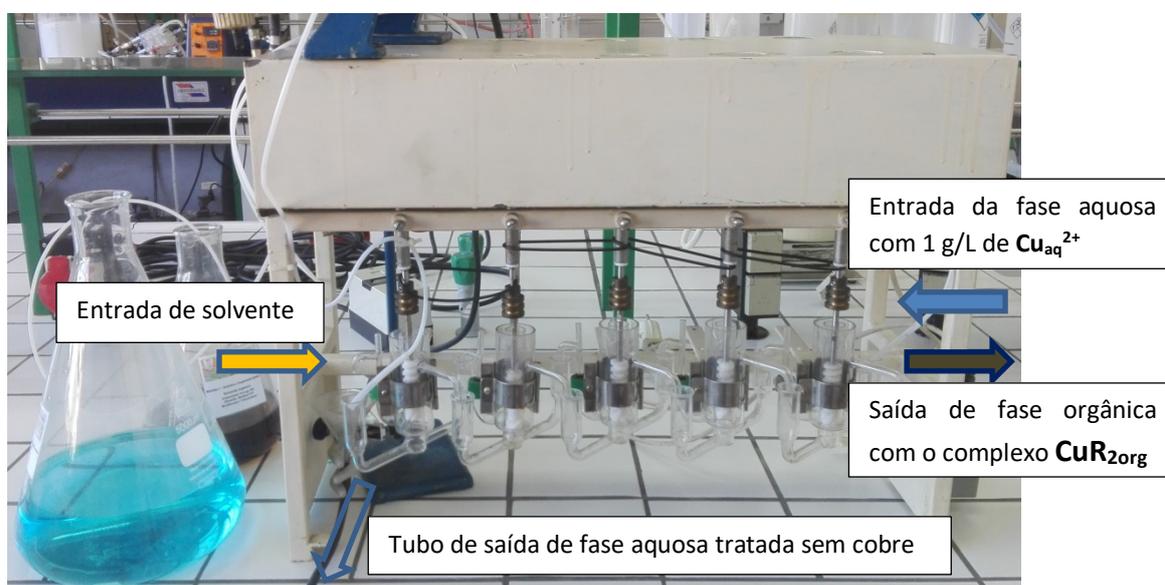


**Figura 2.** Misturador decantador.

Os misturadores decantadores são constituídos por dois cilindros concêntricos. O cilindro interior é alimentado de fase aquosa e de fase orgânica por duas tubuladuras de base assinaladas na Figura 2 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 a cinética da reacção de extracção

[1]. 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 2) onde por transbordo escoar para o cilindro exterior maior. 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 à 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 2. As fases aquosas e orgânicas 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 5 misturadores decantadores presentes na montagem da Figura 3.

Nesta instalação a alimentação das fases aquosa e orgânica são nos extremos opostos da montagem o que implica que o sentido do transporte activo da fase aquosa é em contra corrente 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.



**Figura 3.** Cinco misturadores decantadores. Fase aquosa no Erlenmeyer maior com uma solução com 1 g/L de  $\text{Cu}_{\text{aq}}^{2+}$  de cor azul. A fase orgânica no Erlenmeyer menor com o solvente contendo o extractante Acorga P50 de cor castanha. As fases aquosa e orgânica são alimentados em contra corrente.

## Observações

Observa-se uma diminuição acentuada da intensidade da cor azul na fase aquosa de saída de cada misturador decantador. Tal facto deve-se a que a solução aquosa de saída de cada andar (refinado) tem **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 o produto da reacção de extracção: o complexo de cobre com a molécula orgânica oxima tem uma cor castanha-escura.

## Escala piloto: coluna de pulso e pratos perfurados

### Especificações:

A coluna em operação representada na Figura 4 tem um diâmetro interno de 25 mm e 12 m de altura.

O pulso é gerado por injeção de ar comprimido no topo de um tubo paralelo que acompanha toda a extensão da coluna e que está ligado à base da coluna. A frequência e amplitude do pulso de ar comprimido são controladas através de electroválvulas e de um temporizador. O pulso neste tipo de coluna obriga a que as gotículas ascendentes do solvente de extracção (de menor densidade que a fase aquosa) atravessem repetidamente os orifícios dos pratos perfurados proporcionando um fraccionamento das gotas do solvente em gotículas menores com um aumento significativo da área superficial onde ocorre a transferência de massa. Desta forma o pulso numa coluna líquido-líquido de extracção constitui uma forma alternativa e eficiente de realizar a agitação mecânica. A coluna dispõe de rotâmetros que permitem a leitura independente dos caudais de entrada da fase aquosa e da fase orgânica.



**Figura 4.** Troço de coluna de pulso e pratos perfurado.

## Modo operacional

A alimentação da coluna é feita em contra-corrente. A fase contínua que enche a coluna é a aquosa e é alimentada no topo da coluna. A fase dispersa alimentada sob a forma de gotículas na base da coluna é constituída pelo solvente de extracção acima referido. Ambas as fases líquidas são alimentadas à coluna através de bombas de deslocamento positivo de lóbulos rotativos\*. A velocidade de rotação das bombas é controlada por variadores de frequência que estão montados no quadro de comando situado no Piso -2). Cada bomba tem montado entre a saída e a entrada um circuito hidráulico de *bypass* controlado através de válvula manual de globo que permite controlar manual e localmente o caudal debitado pela bomba. (Uma forma alternativa é alterar manualmente a frequência de alimentação eléctrica da bomba através do variador de frequência.)

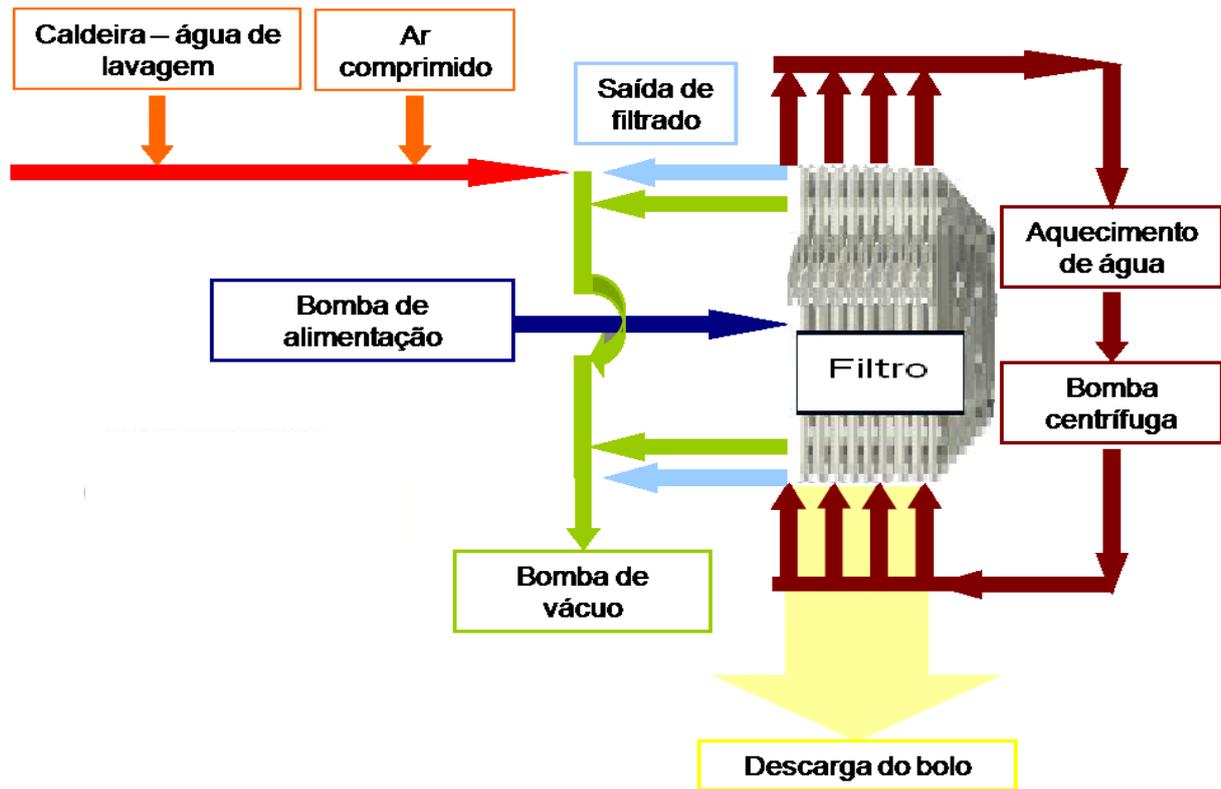
## Separação Sólido-Líquido em Filtro Prensa de Membranas

Os filtros prensa permitem a separação dos sólidos das suspensões permitindo a obtenção de bolos com uma concentração de sólidos mais elevada por comparação com outros equipamentos de desidratação mecânica.

Os filtros-prensa são utilizados em diversos contextos industriais nomeadamente no tratamento de águas residuais e desidratação de Lamas de ETAR, na valorização dos sólidos e ou da fase líquida de suspensões da indústria alimentar; da indústria química, farmacêutica e cosmética. Como se encontra representado no diagrama da Figura 5, o equipamento disponível nas instalações piloto realiza, para além da filtração clássica e de uma forma integrada, uma desidratação térmica assistida por vácuo de baixo custo energético que permite o aproveitamento de fontes de energia secundárias (água quente) habitualmente disponíveis e não utilizadas nas indústrias agro-alimentares.

---

\* As bombas de lóbulos têm um princípio de funcionamento semelhante ao das bombas de carretos, sendo os carretos substituídos por estruturas lobadas rotativas. Estas bombas têm melhor desempenho que as bombas de carretos tradicionais pois conseguem bombear suspensões com elevada percentagem de sólidos e de granulometria variável bem como tem uma melhor capacidade de sucção que facilita a instalação e arranque em situações de baixo NPSH.



**Figura 5.** Diagrama de funcionamento do filtro prensa com placas de membranas e capacidade de desidratação térmica assistida por vácuo.



**Figura 6.** Filtro prensa piloto com placas de membrana e equipamento de desidratação térmica sob vácuo.

## Projectos e resultados experimentais observáveis

O equipamento de filtração foi utilizado nos projectos de investigação e desenvolvimento conforme abaixo indicados.

1. **REPIISO** – Este projecto teve por objectivo valorizar o repiso de tomate através de:
  - a) Recuperação de sumo e polpa de tomate do repiso por filtração e compressão dos bolos.
  - b) Estabilização e valorização do repiso de tomate por desidratação a 15% para alimentação animal.
2. **S2E (Sludge to Energy)** – Desidratação e valorização energética das lamas da indústria da celulose.
3. **MATUTANO** – Estudo técnico e económico de valorização das lamas primárias e secundárias da Matutano.
4. **DRECHE** – Estabilização por desidratação mecânica e térmica de baixo custo deste subproduto da indústria cervejeira de forma a impedir a fermentação butíricas do mesmo e permitir a sua valorização por incorporação com segurança nas farinhas para alimentação animal.



**Figura 7.** Bolo de filtração de dreche com 15% de humidade obtido no filtro prensa com possibilidade de desidratação térmica assistida por vácuo.

## Produção de solução alcoólica desinfectante a 70%

Com o objectivo de minimizar o risco de contágio pelo coronavírus da síndrome respiratória aguda grave 2 (SARS-CoV-2, Covid 19), o Instituto Superior Técnico disponibilizou para toda a sua comunidade académica solução alcoólica desinfectante a 70% a qual é produzida nas instalações piloto.

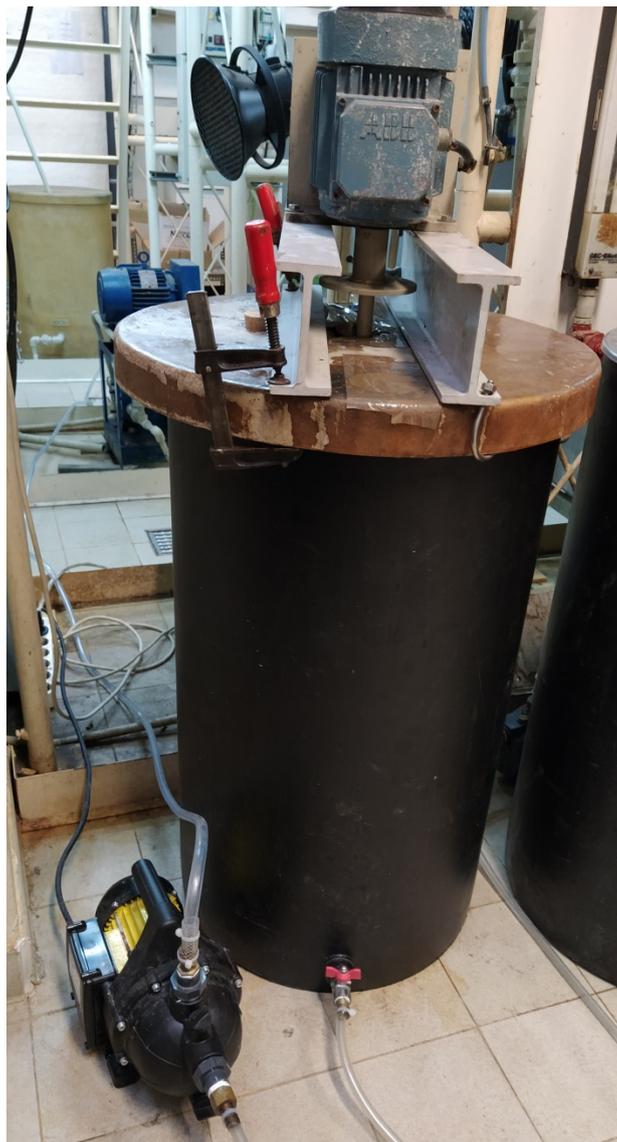
### Processo implementado

Cada batch de 72 L de solução alcoólica desinfectante é preparada utilizando como matérias-primas 60 litros de etanol comercial a 96% e 12 litros de água desionizada obtida através de osmose inversa

produzida na unidade representada na Figura 8. A homogeneização da mistura realiza-se num tanque com agitação que se mostra na Figura 9. Os valores indicados foram calculados com base nas recomendações do guia de produção de gel antisséptico da Organização Mundial de Saúde [3].



**Figura 8.** Unidade piloto de produção de água desionizada por osmose inversa.



**Figura 9.** Tanque misturador de produção de solução alccolica desinfectante a 70%.

## Referências

- [1] J.C. Godfrey, M.J. Slater, *Liquid-Liquid Extraction Equipment*, John Wiley & Sons 1994.
- [2] M.R. Healy, J.W. Roebuck, E.D. Doidge, L.C. Emeleus, P.J. Bailey, J. Campbell, A.J. Fischmann, J.B Love, C.A. Morrison, T. Sassi, D.J. White, P.A Tasker, Contributions of inner and outer coordination sphere bonding in determining the strength of substituted phenolic pyrazoles as copper extractants, *Dalton Transactions*, 2016, 45(7), 3055-62. DOI: 10.1039/c5dt04055h.
- [3] Guia de Produção Local: Formulações de gel antisséptico recomendadas pela OMS, Organização Mundial de Saúde, Abril de 2010.

# Cristais Químicos, do Real ao Virtual

Clementina Teixeira<sup>a</sup>, Carla Rocha<sup>b</sup>, Dulce Simão<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Centro de Química Estrutural, Institute of Molecular Sciences, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

<sup>b</sup>Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

<sup>c</sup>CQE, DEQ, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.



## 1. Cristais Químicos: a Química ligada ao Design e à Arte

Os cristais sejam eles da Terra, da Lua ou de Marte, são dos mais importantes legados que poderemos deixar às gerações futuras. De uma beleza incomparável, embora por vezes escondida e perecível, são transversais a várias áreas do conhecimento. São estudados na Cristalografia, a Ciência Central que estende os seus tentáculos para os vários domínios do saber: Geologia, Química, Física, Ciência dos Materiais, Biologia, Matemática, Esoterismo e Arte.

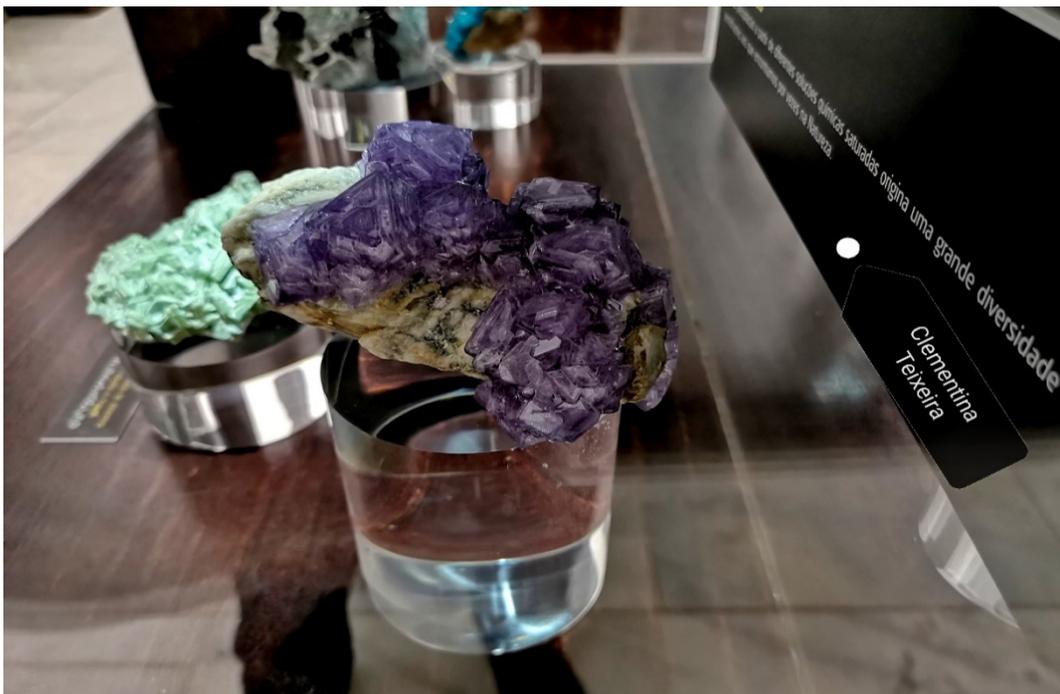
O crescimento de cristais por nucleação heterogénea, *Cristais On the Rocks* [1], Figs.1-9, nasceu no Instituto Superior Técnico em 1993, dirigido sobretudo aos cristais de sais iónicos de elementos metálicos. Continuou com uma componente de microscopia química aplicada ao estudo da sua caracterização Figs.4,7,8, reactividade (ao microscópio e/ou lupa estereoscópica) incluindo as suas reações de formação em solução aquosa e outras, como, por exemplo, as reações de oxidação-redução (árvores metálicas, etc.), os processos de cristalização em placas de Petri e cristalizadores e muitas outras reações importantes, Fig.10, nomeadamente para a interpretação da sua estabilidade. Atualmente este projecto estende-se pela Arte, Artesanato, Fotografia Científica, Termomicroscopia de Luz Polarizada, realçando a sua componente estética a par da componente científica. O projecto STEAMD (S=Science; T=Technology; E=Engineering; A=Art; M=Mathematics; D= Design), recentemente apresentado numa Escola (Agrupamento de Escolas de Ribeiro Sanches, Penamacor) inclui algumas dessas componentes [2].

O impacto da divulgação do projeto nas redes sociais, em particular no *Facebook* [3] permitiu colaborar com artistas de renome internacional, como é o caso dos pintores holandeses do realismo contemporâneo **Poen de Wijs** e **Jantina Peperkamp**, bem como muitos outros de diferentes nacionalidades (Duma Arantes, DDiArte, Cohen Fusé, Cristina Rodrigues, Umbrella Sky Project, Claude

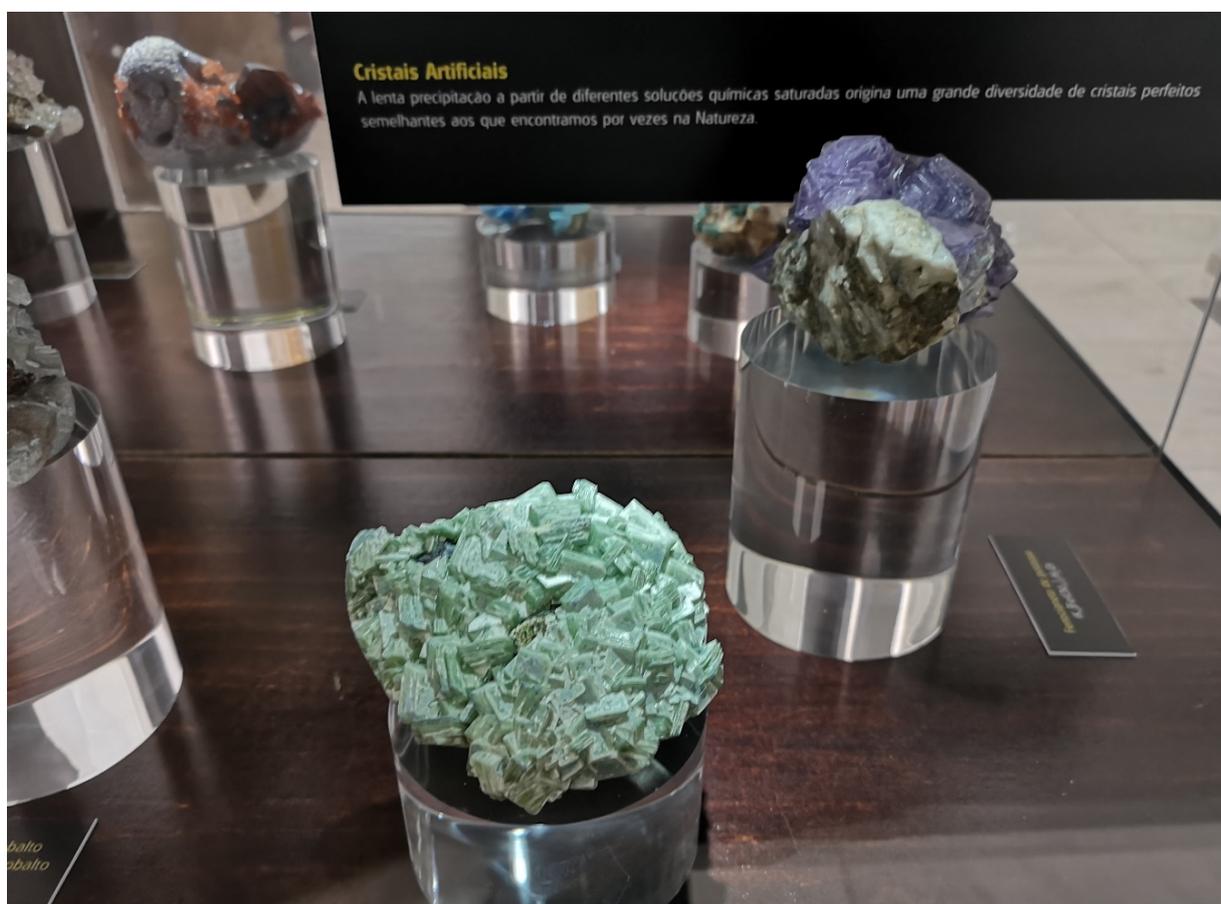
Theberge, Dino Valls, Alex Alemani, Adam Martinakis). A pesquisa da Arte dos dois primeiros, com “clementina Teixeira” conduzirá o leitor a alguns trabalhos (sugestão: procurar imagens no *Google*).



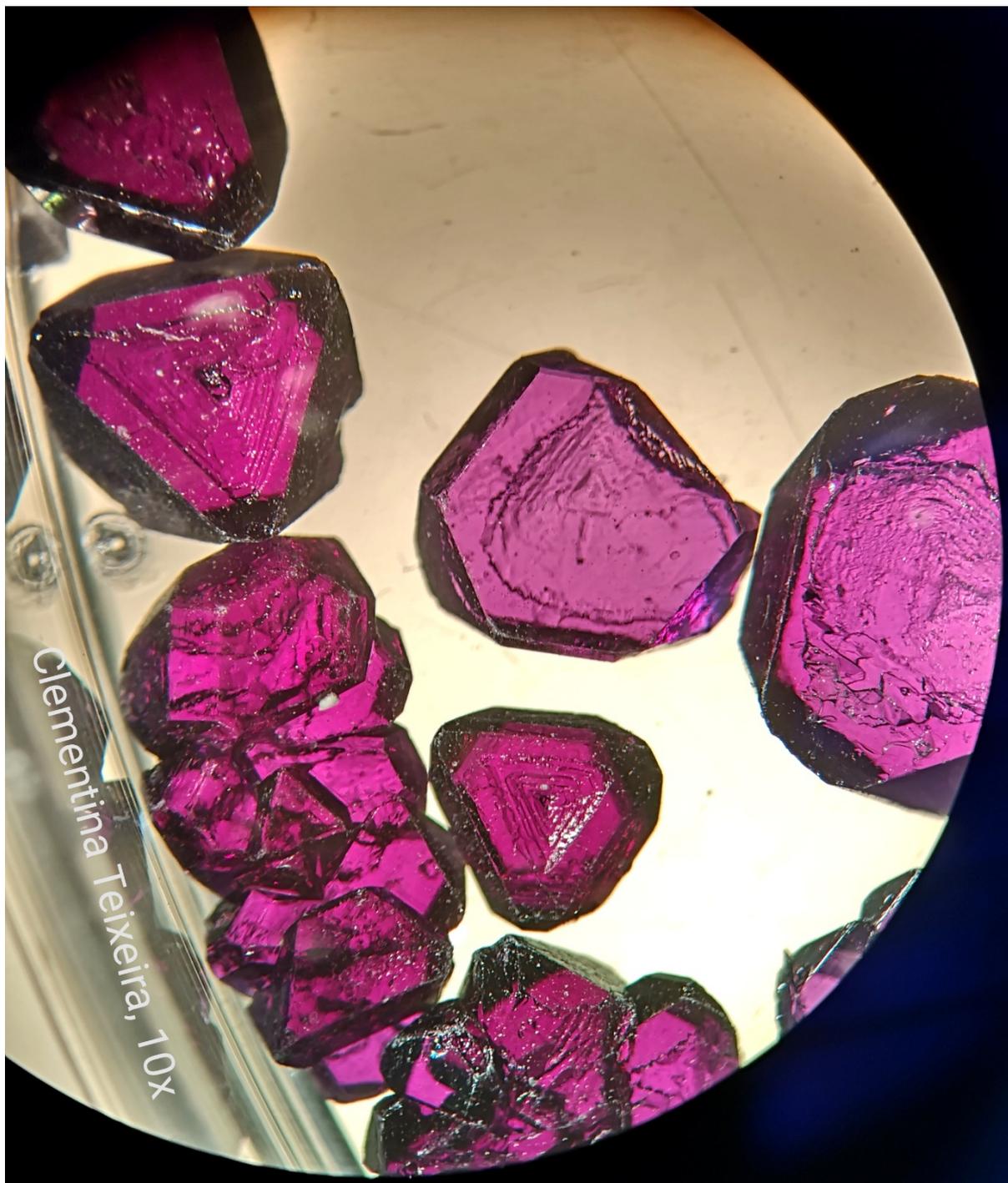
**Figura 1.** Cristais “On the Rocks” no Centro Ciência Viva de Estremoz (cristais artificiais), coleção oferecida em 2003 e preparada no CQE/DEQ. A designação de cristais artificiais deve ser substituída por cristais químicos ou cristais de cultura, dado que se formam por si próprios, a partir das condições impostas em Laboratório. O termo artificial costuma usar-se quando há uma imitação, com composição química diversa, como é o caso da bijuteria em vidro ou plástico acrílico, a imitar brilhantes, rubis e outras pedras preciosas. Em baixo, cristais de sulfato de cobre (II) penta-hidratado com perda de águas de hidratação (azul), sistema triclinico; sulfato duplo de cobalto (II) e amónio hexa-hidratado, vermelho acastanhado, sistema monoclinico. A maior parte das amostras foram preparadas por Maria José Rodrigues.



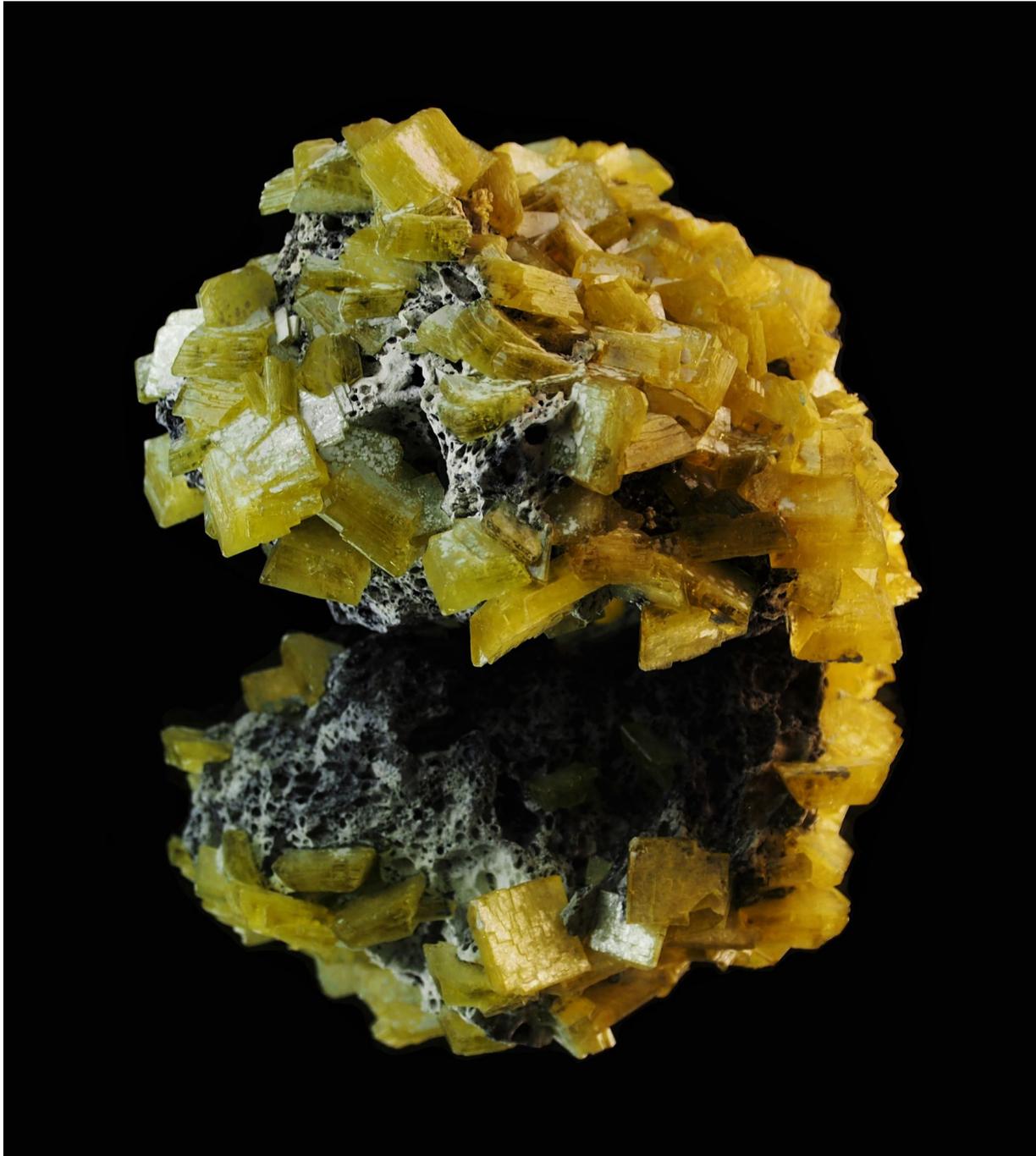
**Figura 2.** Cristais “On the Rocks” no Centro Ciência Viva de Estremoz (cristais artificiais), coleção oferecida em 2003. Em baixo, em destaque, cristais violeta imitando as ametistas. Trata-se de uma solução sólida de alúmenes de potássio (incolor) e de alúmen de cromo, isoestruturais (sistema cúbico).



**Figura 3.** Cristais “On the Rocks”. Em cima: de novo as soluções sólidas de alúmenes de cromo e de potássio, contendo alumínio, à esquerda numa concha; à direita, em cima, os cristais que sobraram da preparação da amostra da Fig.2, em baixo, com composição química semelhante. No decorrer das preparações há sempre cristais pequenos que se soltam do suporte e que podem ser observados à lupa estereoscópica. Na parte central em baixo, também da coleção do mesmo Centro, uma amostra de ferrocianeto de potássio trihidratado (perdeu parte das águas de hidratação). Vide, uma amostra mais recente na Fig.5.



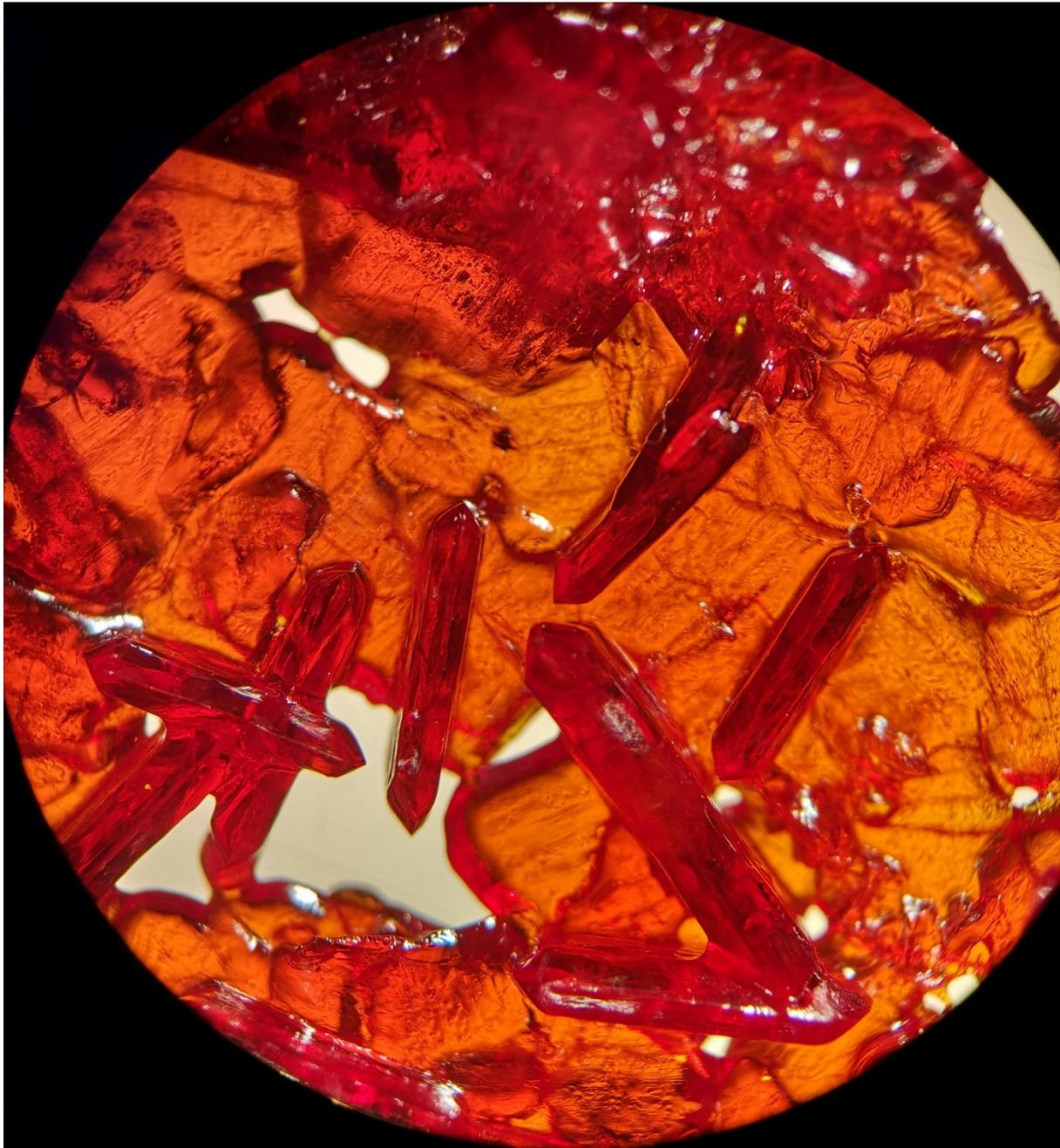
**Figura 4.** Solução sólida de alúmen de cromo e de potássio, contendo alumínio, cristais da Fig. 3, em cima, à direita. A partir destas fotomicrografias foram feitos padrões decorativos e animações em gif, coleção exibida na Exposição Virtual “Química, Arte e Inteligência Artificial” [4]. Estas fotomicrografias são importantes para a caracterização dos cristais e a das alterações sofridas ao longo dos anos. Estes cristais foram preparados em 2003, para uma Exposição na Fundação Eugénio de Almeida, “Pedras que Brilham” [5].



**Figura 5.** Cristais “On the Rocks” de ferrocianeto de potássio tri-hidratado em rocha vulcânica. Amostra preparada em 2008 por Mafalda Lancinha Pereira e Marta Smith. Foto divulgada pelo Museu de Geociências do IST no Dia dos Museus, em colaboração com a AEIST em 2020 [6]. Este é um composto eflorescente: por perda de parte das águas de hidratação transforma-se numa espécie sem brilho, de cor esverdeada, como se pode observar na Fig. 3, em baixo, amostra central.



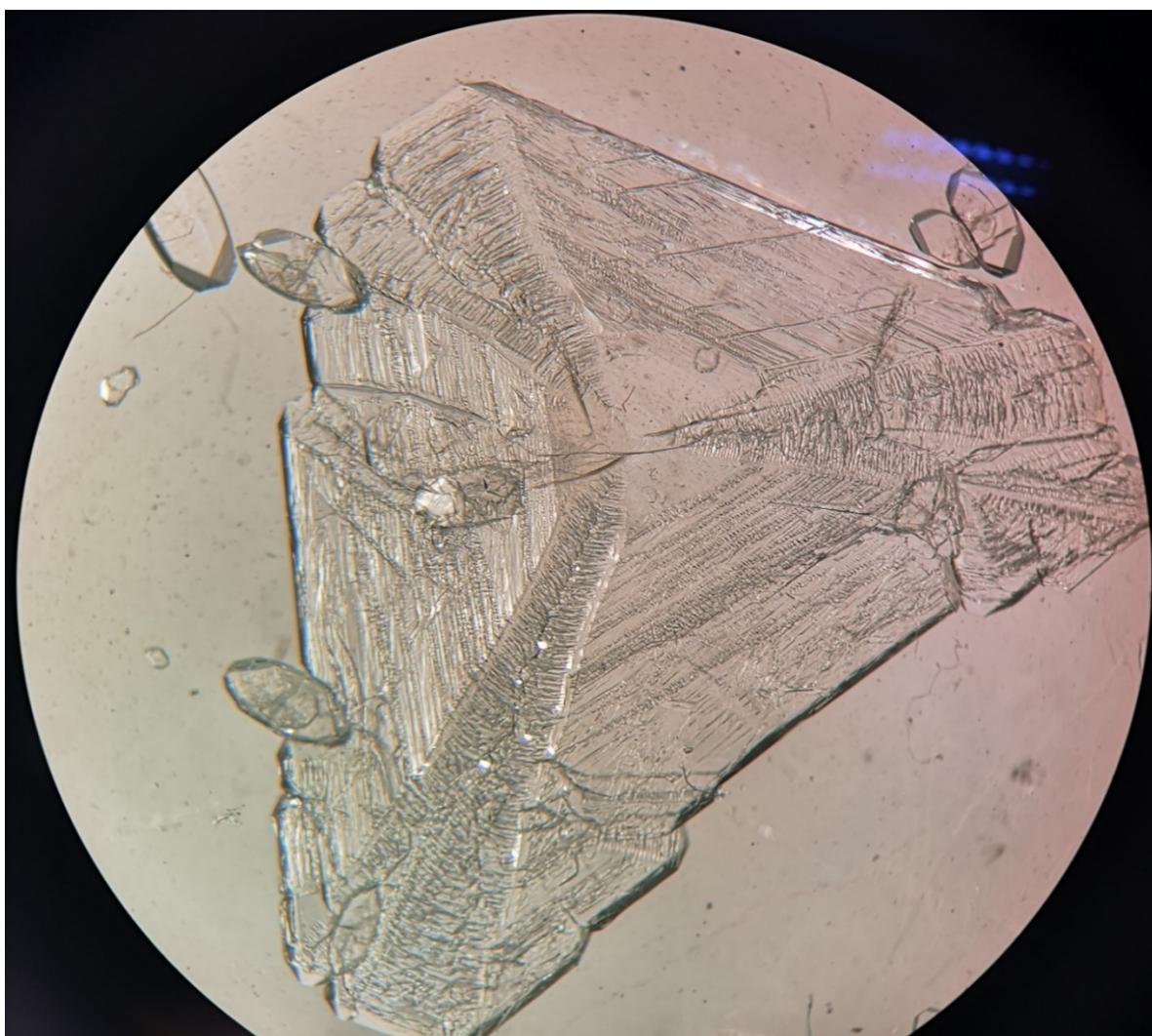
**Figura 6.** Cristais “On the Rocks” de ferricianeto de potássio, sistema monoclinico. Em cima: em rocha vulcânica, amostra preparada em 2008 por Mafalda Lancinha Pereira e Marta Smith. Foto divulgada pelo Museu de Geociências do IST no Dia dos Museus, em colaboração com a AEIST em 2020 [6]. Em baixo, amostras do mesmo composto em pequenos cristais que acompanharam a preparação de uma amostra “On the Rocks”. Os cristais pequenos, destacados da rocha, são excelentes para observar à lupa estereoscópica, Fig.7.



**Figura 7.** Ferricianeto de potássio, amostra da Fig.6, em baixo, observada à lupa estereoscópica, 10x.

Se tivesse de escolher um composto representativo das diversas facetas deste projecto, escolheria o sulfato de cobre penta-hidratado, em primeiro lugar: cristaliza em qualquer suporte, rocha ou concha; pode reagir com o suporte, formando outras fases, muitas vezes com microcristais lindíssimos; facilmente forma grandes cristais tabulares por evaporação/arrefecimento de soluções sobressaturadas em placa de Petri ou cristalizador, em repouso; forma cristais enormes por sementeira, pelo método de crescimento de cristais por um fio; tem uma reactividade espectacular que pode ser observada à lupa estereoscópica, em micro-escala: reacções de oxidação-redução (as

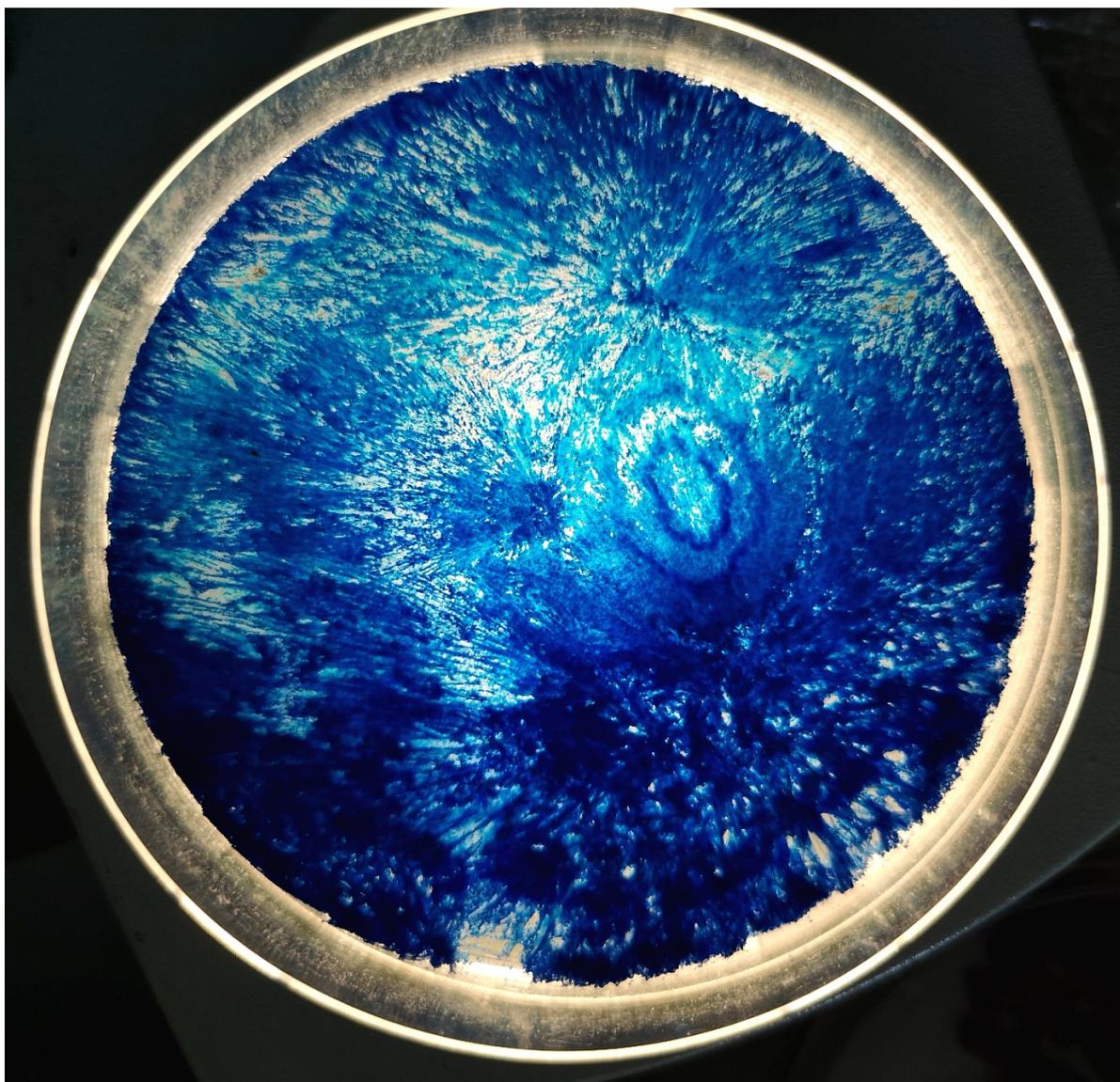
famosas árvores metálicas de Cu e Ag), reações de precipitação/ácido-base nos jardins de sílica, na precipitação do hidróxido de cor azul claro, reações de complexação, etc.; os cristais são lindíssimos, com uma cor fascinante (azul sulfato), embora possa apresentar um tom esverdeado muito comum quando não é puro, em soluções diluídas e em cristais tabulares de espessura muito fina [7]; em termos de toxicidade causa menos problemas do que os sais de outros metais de transição como é o caso do cromo, no estado de oxidação +6, níquel e cobalto; acaba por ser dos compostos mais conhecidos da Química e junto do público devido aos seus usos como herbicida e fungicida, electrólito em células galvânicas, e emprego de cobre metálico, etc.



**Figura 8.** Resultado final da cristalização do alúmen de potássio em placa de Petri, observada à lupa estereoscópica, a partir de uma solução sobressaturada do sal duplo, por evaporação e abaixamento de temperatura, em repouso. Ampliação de 10x. Reparar no defeito cristalino com a forma de “nó de gravata” ou hélice de três pás, provocado pela oclusão de solvente. Sistema cúbico.

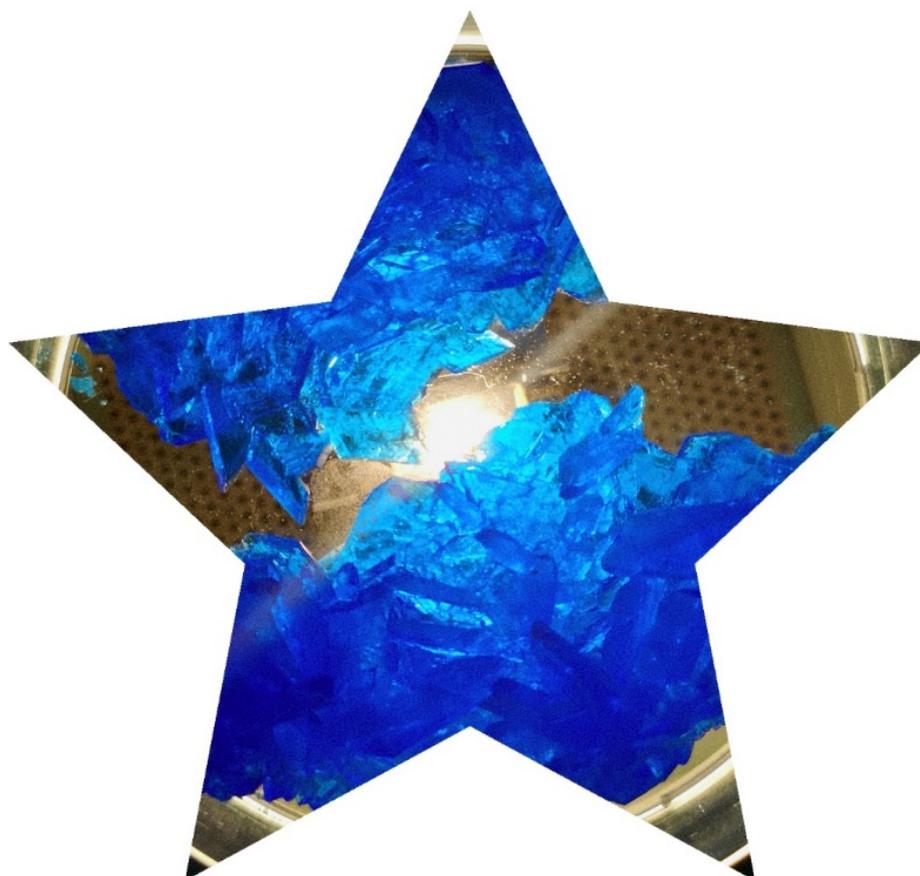


**Figura 9.** Semana da Ciência e da Tecnologia, Exposição no Museu de Civil do IST, promovida pelo Serviço Educativo dos Museus do IST em 2019. Sulfato de cobre pentahidratado em vários suportes. Na foto de cima, resultado da reacção de complexação do sulfato de cobre com glicina, em placa de Petri, Gonçalo Santos, vide Fig.10. Sobre a caixa de plástico, em baixo, um grande cristal de sulfato de cobre que já perdeu parte das águas de cristalização, tornando-se baço.

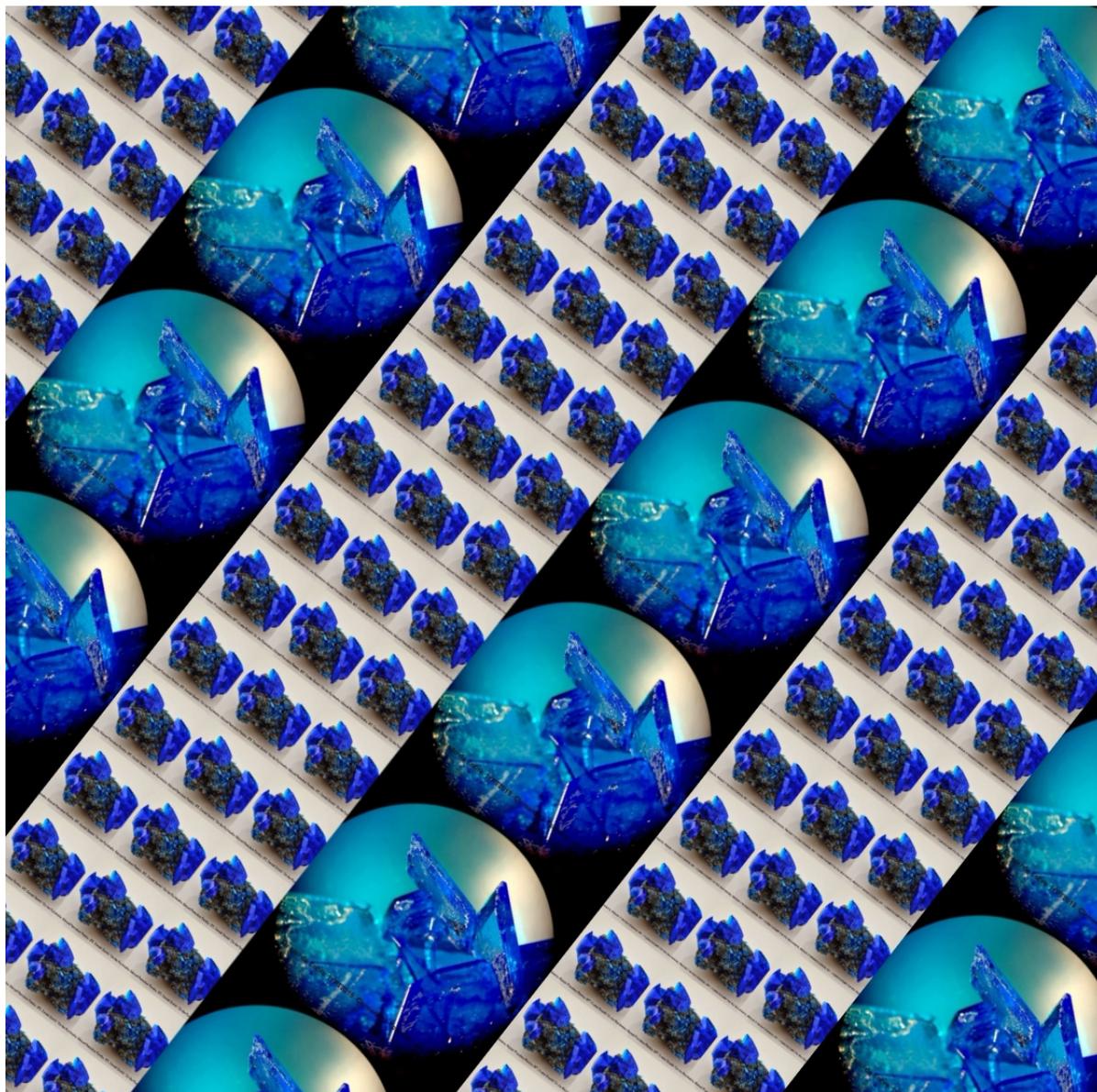


**Figura 10.** Resultado da reacção de complexação do sulfato de cobre com glicina, em placa de Petri, Gonçalo Santos. A amostra foi preparada em 2013/2014 e continua em boas condições.

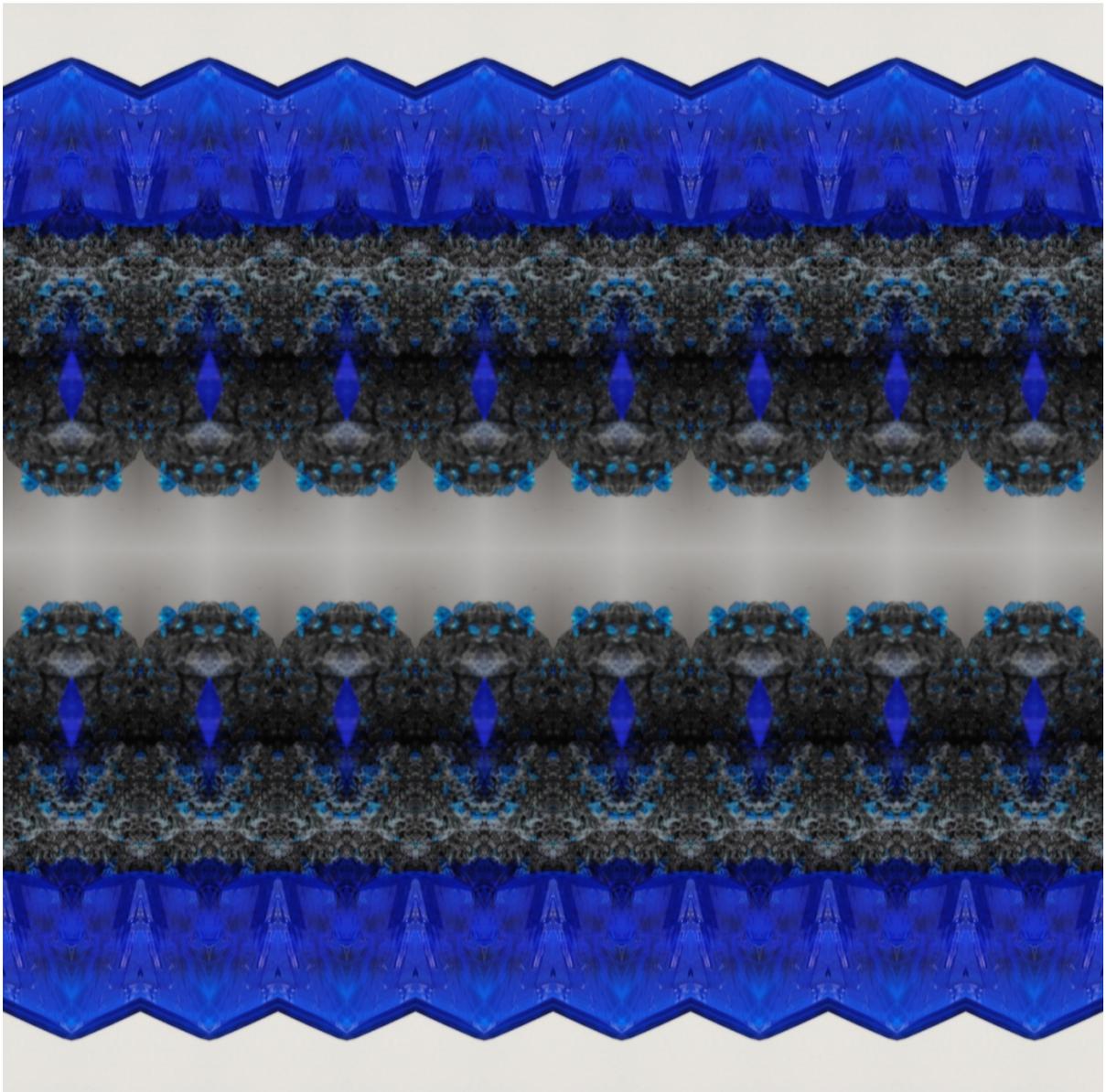
A partir dos cristais “On the Rocks”, cristalizados sobre rochas e conchas, das placas de Petri com cristais que sobraram das preparações ou com produtos finais de reacções/cristalizações, foram feitas fotomicrografias, videoclipes, animações de cinemagrafia, gifs, composições gráficas, utilizando programas como o Photoshop, PowerPoint e pequenas aplicações de inteligência artificial: podem-se encontrar diversos exemplos na Exposição Virtual “Química, Arte e Inteligência Artificial” [4], apresentada on line durante os Laboratórios Abertos de 2021 do Departamento de Engenharia Química do IST, em colaboração com o Prof. Vasco Bonifácio e apresentada noutra Secção.



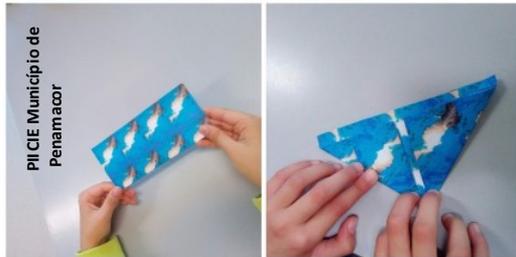
**Figura 11.** Cristais de sulfato de cobre pentahidratado em concha, com formação de microagulhas resultantes da reação com o suporte e de composição química semelhante à da malaquite, carbonato básico de cobre [8]. Em baixo,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  em placa de Petri, colocada sobre a base diascópica de uma lupa estereoscópica binocular (modelo habitual nas escolas). Cristais de cultura obtidos como sobras de uma preparação “on the Rocks”. Formatação de uma estrela com a foto macro dos cristais.



**Figura 12.** Sulfato de cobre pentahidratado,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , cristal “On the Rocks” em rocha vulcânica, em baixo [7], foto macro divulgada pelos Museus de GeoCiências do IST, em 2020, no Dia Internacional dos Museus, em colaboração com a AEIST [6]. Em cima, padrão decorativo feito a partir da foto macro e de uma fotomicrografia de cristais formados por evaporação e arrefecimento em placa de Petri, observação à lupa estereoscópica, 10x. Simetrias de translação e rotação parcial [7].



**Figura 13.** Sulfato de cobre pentahidratado,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , cristal "On the Rocks" em rocha vulcânica, em baixo [6]. Em cima, padrão decorativo feito a partir da foto macro, cortando uma faixa e repetindo-a por simetrias de reflexão e translação [8]. Foto macro divulgada pelos Museus de GeoCiências do IST, em 2020, no Dia Internacional dos Museus, em colaboração com a AEIST [6], a 20 de Maio .

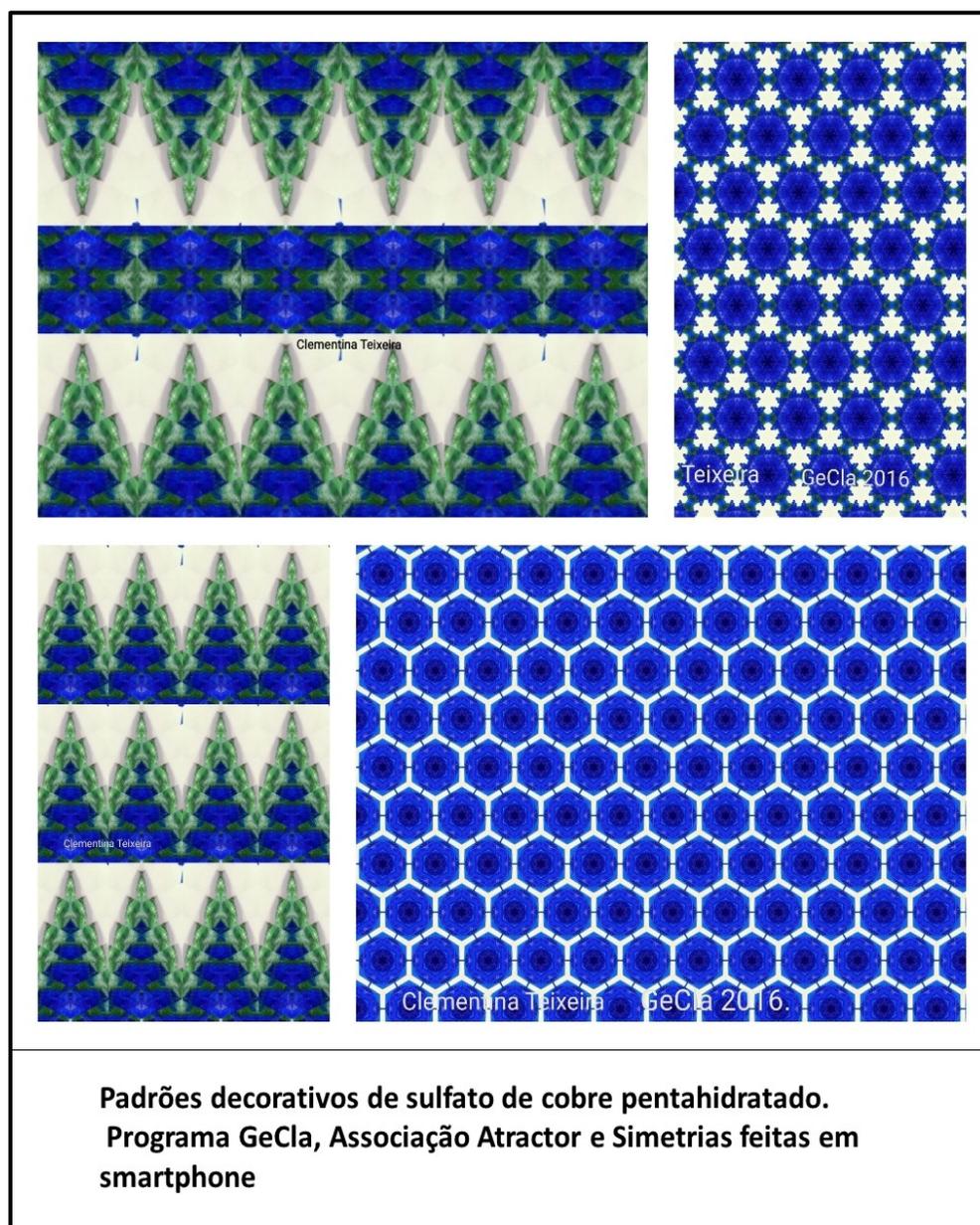


Semana da Ciência e Da Tecnologia 2020



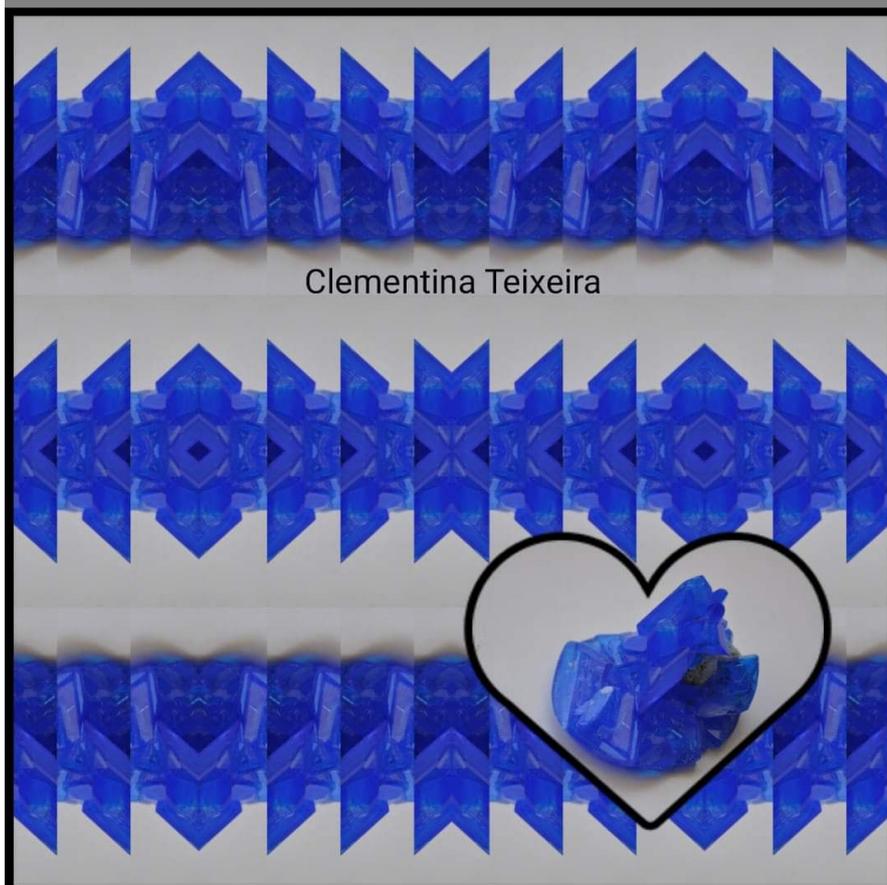
Figura 14. Foram muitas as Exposições que decorreram durante o ano de pandemia, com o projecto STEAMD, com padrões decorativos impressos em papel para construção de Origamis e apresentação de objectos do dia a dia com Design de Química.

Diversos padrões decorativos foram criados para impressão em papel e têxteis, Fig. 14, seguindo a estratégia do projeto de microscopia, “**Artesãos do Século XXI**”, criado em Dezembro de 2009 na Biblioteca Municipal de Penamacor (projeto Ciência Viva) e exposto em 2010 nos Laboratórios Abertos do DEQ [9], em colaboração com o Centro de Química Estrutural do Instituto Superior Técnico. Esta exposição ainda continua a circular pelas escolas, embora se encontre numa fase mais restrita de divulgação nas redes sociais devido às condições impostas pela pandemia [10]. Espera-se retomar essa actividade em breve e muito mais actualizada, dados os programas e aplicações disponíveis para telemóveis que facilitam muito o design de novos padrões.



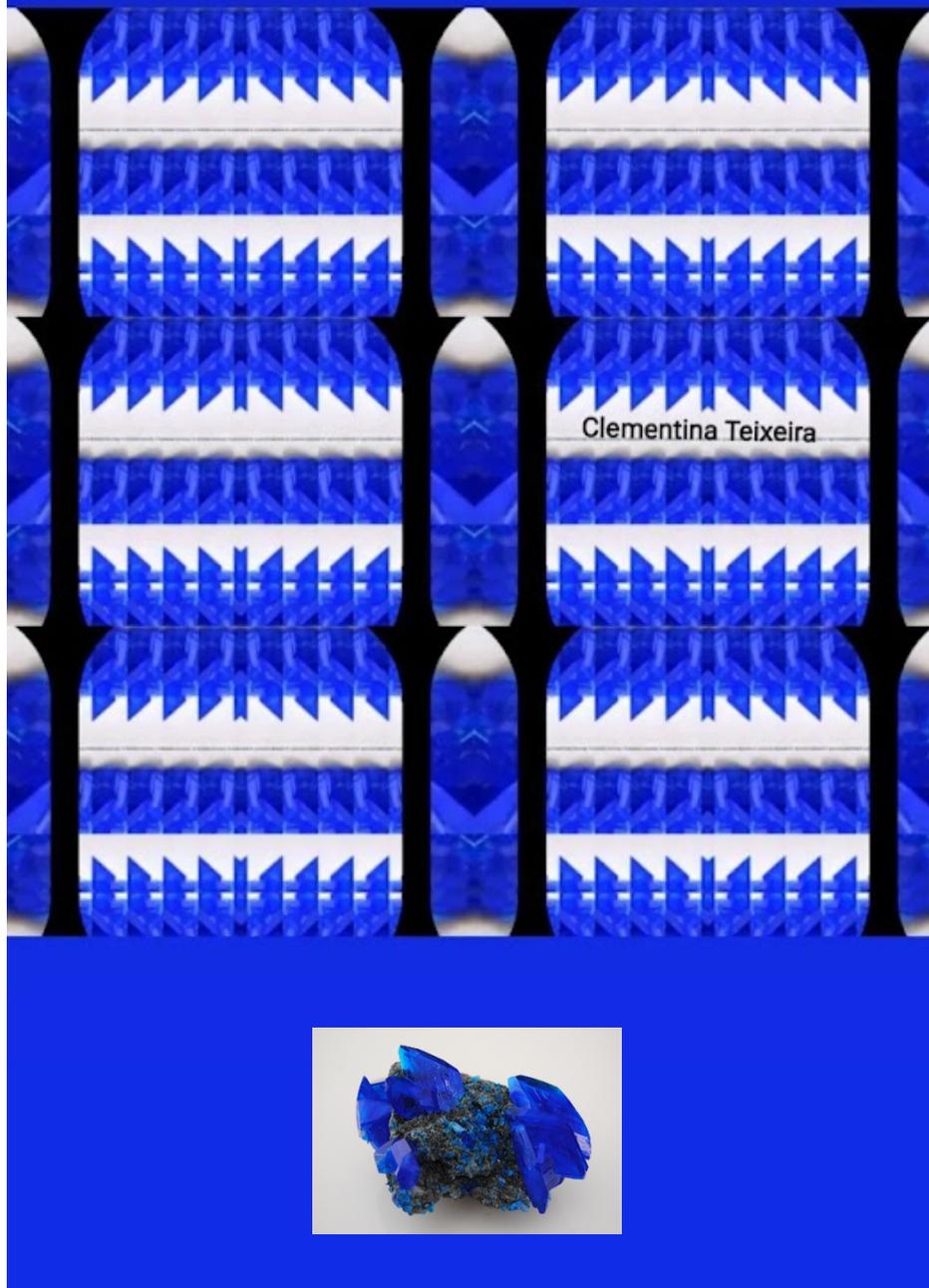
**Figura 15.** Quadro resumo de padrões decorativos do sulfato de cobre pentahidratado em casca de ostra. Padrões em azul/verde cuja técnica foi explicada anteriormente [7,8]. Dois padrões gerados pelo programa GeCla, Gerador e Classificador de Simetria, da Associação Atractor (Prof. Arala Chaves) [11].

# Ando numa onda azul



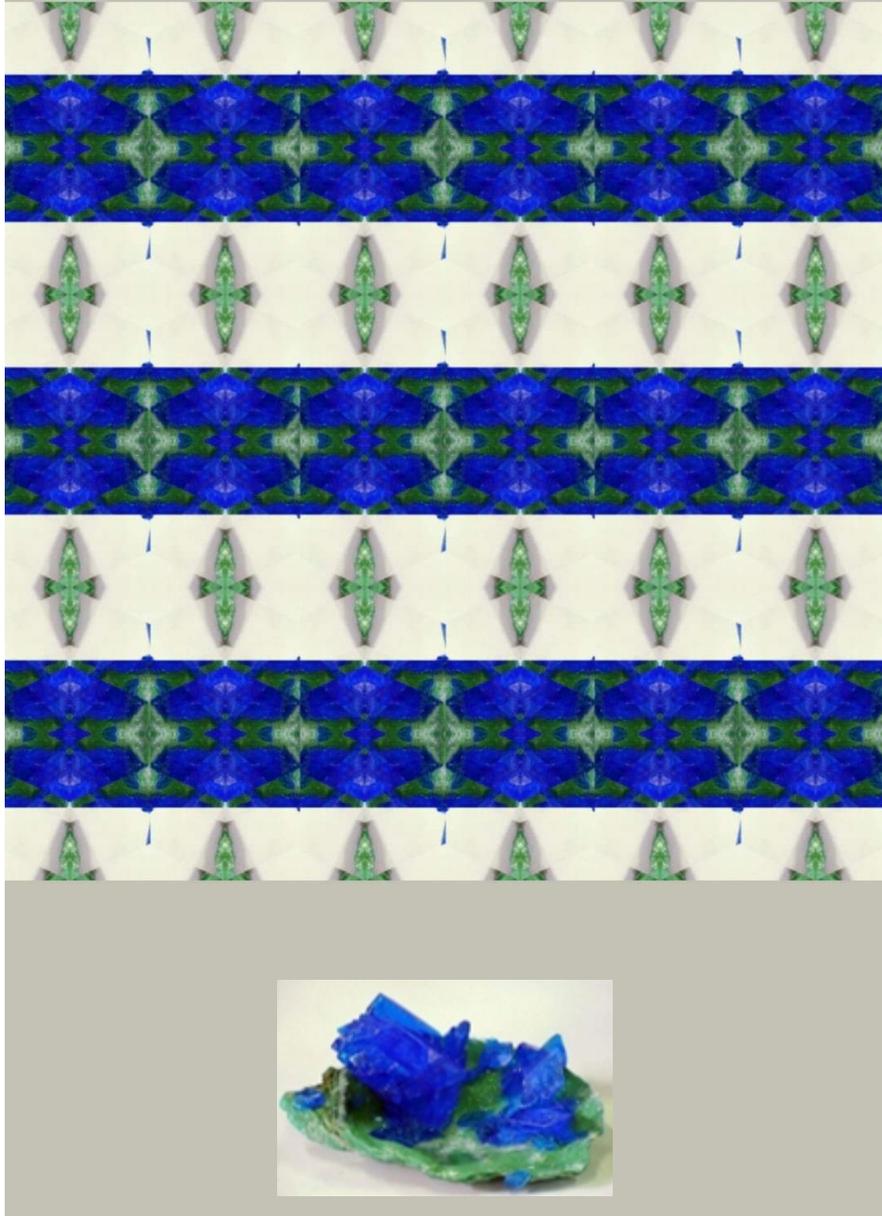
**Figura 16.** Histórias do Facebook, com padrões decorativos de sulfato de cobre pentahidratado “On the Rocks”. Cristais feitos e fotografados na Escola Maria Amália Vaz de Carvalho. Padrão gerado por aplicações de telemóvel, com regras de simetria de reflexão e translação e formatação de figuras existentes em cada aplicação.

# Sulfato de cobre pentahidratado



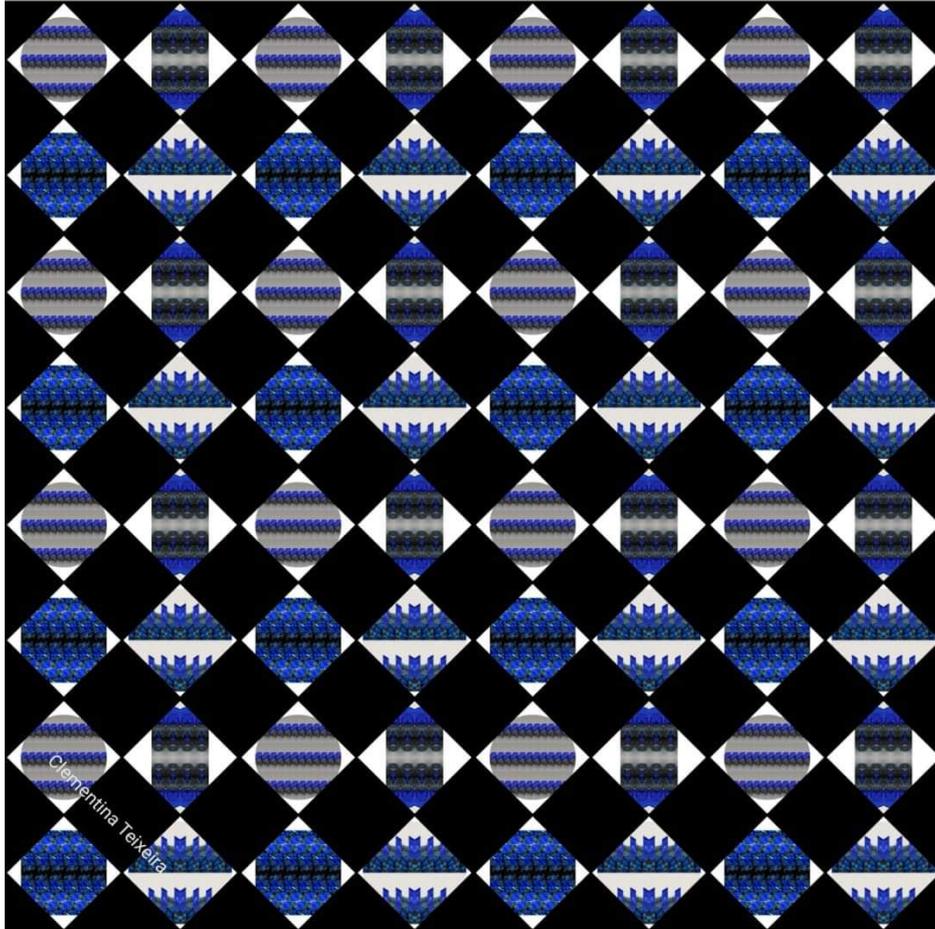
**Figura 17.** Histórias do Facebook, com padrões decorativos de sulfato de cobre pentahidratado “On the Rocks”. Padrão gerado por aplicações de telemóvel, com regras de simetria de reflexão e translação e formatação de figuras existentes em cada aplicação. Design feito a partir de várias secções da foto em baixo [7,8].

# Cristais: Sulfato de Cobre Simetria



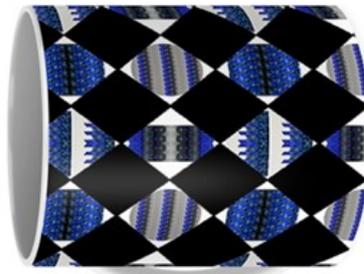
**Figura 18.** Histórias do Facebook, com padrões decorativos de sulfato de cobre pentahidratado “On the Rocks”, cristalizado sobre uma concha de ostra. Padrão gerado por simetria de reflexão e translação. A formatação e cores são automaticamente escolhidas pela aplicação das histórias do Facebook.

# Chemical Patterns

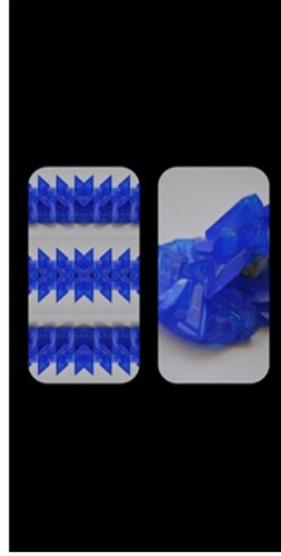


## Copper Sulfate Crystals

**Figura 19.** Histórias do Facebook, com padrões decorativos de sulfato de cobre pentahidratado “On the Rocks”, em rocha vulcânica, com simetrias de reflexão, translação e formatação de figuras.



My name is ... copper sulfate pentahydrate  
Clementina Teixeira-Chemical Patterns



**Figura 20.** Simulação de estampagens em cerâmica e têxteis, dos padrões de sulfato de cobre "On the Rocks. No centro, cristal da Escola Maria Amália Vaz de Carvalho e padrão decorativo feito a partir de uma faixa da foto macro [12].



Clementina Teixeira

**Figura 21.** A partir de um pequeno cristal tabular de sulfato de cobre pentahidratado observado à lupa estereoscópica, podemos, até com um telemóvel, criar uma moda virtual com objectos do nosso dia a dia formatados com os nossos padrões. Cristal obtido por cristalização em placa de Petri, a partir de solução sobressaturada de sulfato de cobre pentahidratado [7,8]. Fotomicrografia com ampliação de 10x, preparação de Gonçalo Santos. Vários padrões foram feitos a partir desta fotomicrografia que mostra a cor esverdeada do composto em lâmina fina e com vários defeitos cristalinos, como sombras de crescimento e adsorção de bolhas de ar no cristal. Na mesma Figura, o Avatar do Facebook.

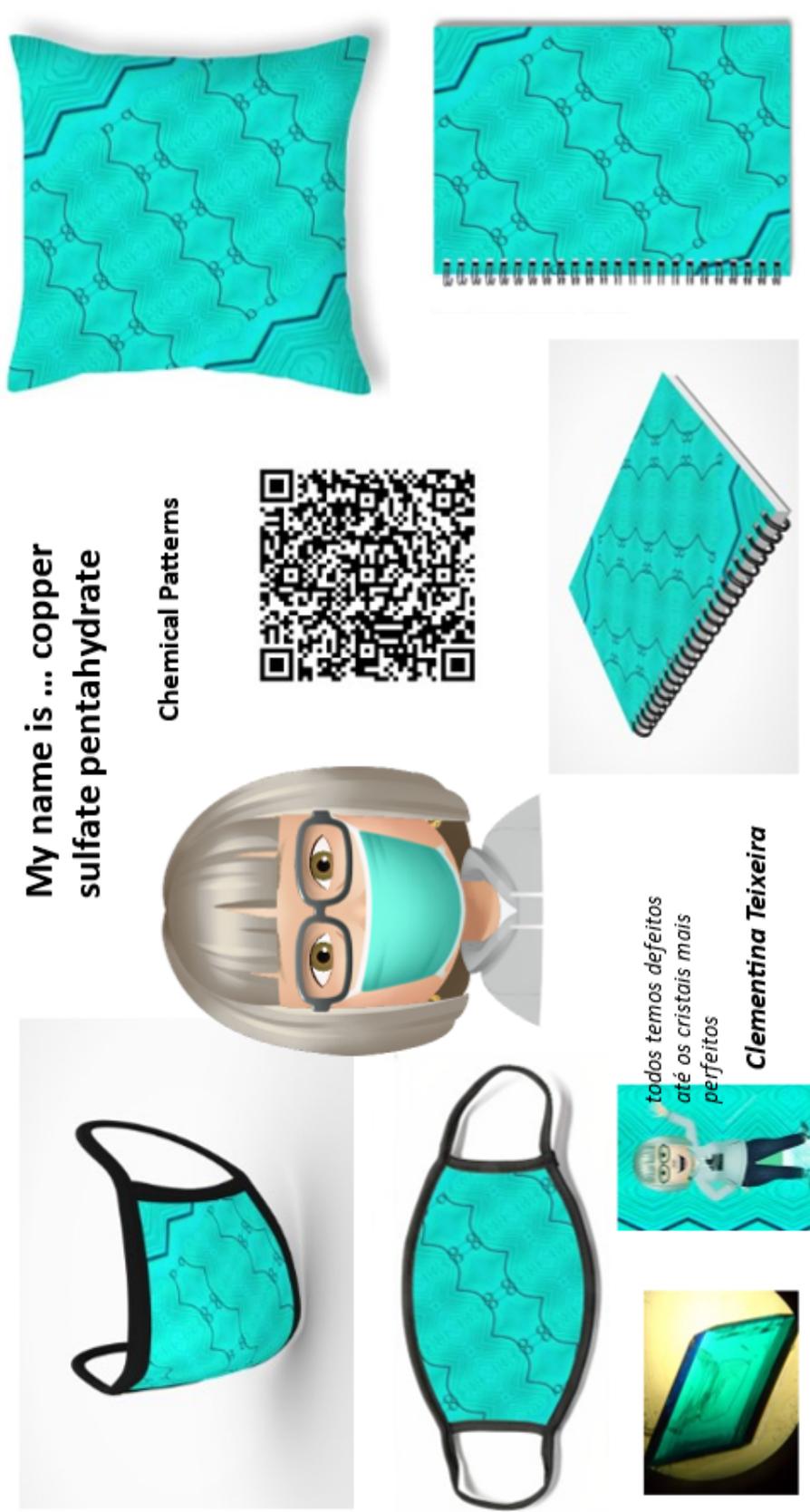


**Figura 22.** *Throw pillow* com padrão criado a partir da fotomicrografia do cristal (10x). A cor amarelada do fundo provém da iluminação da lupa, neste caso funcionando com base diascópica. Cristal preparado por Gonçalo Santos.

# Simetrias. Defeitos cristalinos



**Figura 23.** *Throw pillow* com padrão criado a partir de uma outra fotomicrografia do cristal (63x), em baixo, evidenciando os defeitos cristalinos de sombras de crescimento. Histórias do Facebook, com muitas aplicações de efeitos de fotomanipulação e cinematografia. As fotomicrografias originais desta série estão disponíveis na literatura publicada na página do DEQ [4, 13]. O cristal aparece nas Figs. 21 e 22.



**Figura 24.** Estudo de defeitos cristalinos no sulfato de cobre hidratado, à lupa estereoscópica. Padrões decorativos e design de artigos do dia a dia virtuais. Fotomicrografias da série das que se apresentam na Fig. 23. Figuras do Avatar do Facebook para representar a autora principal.

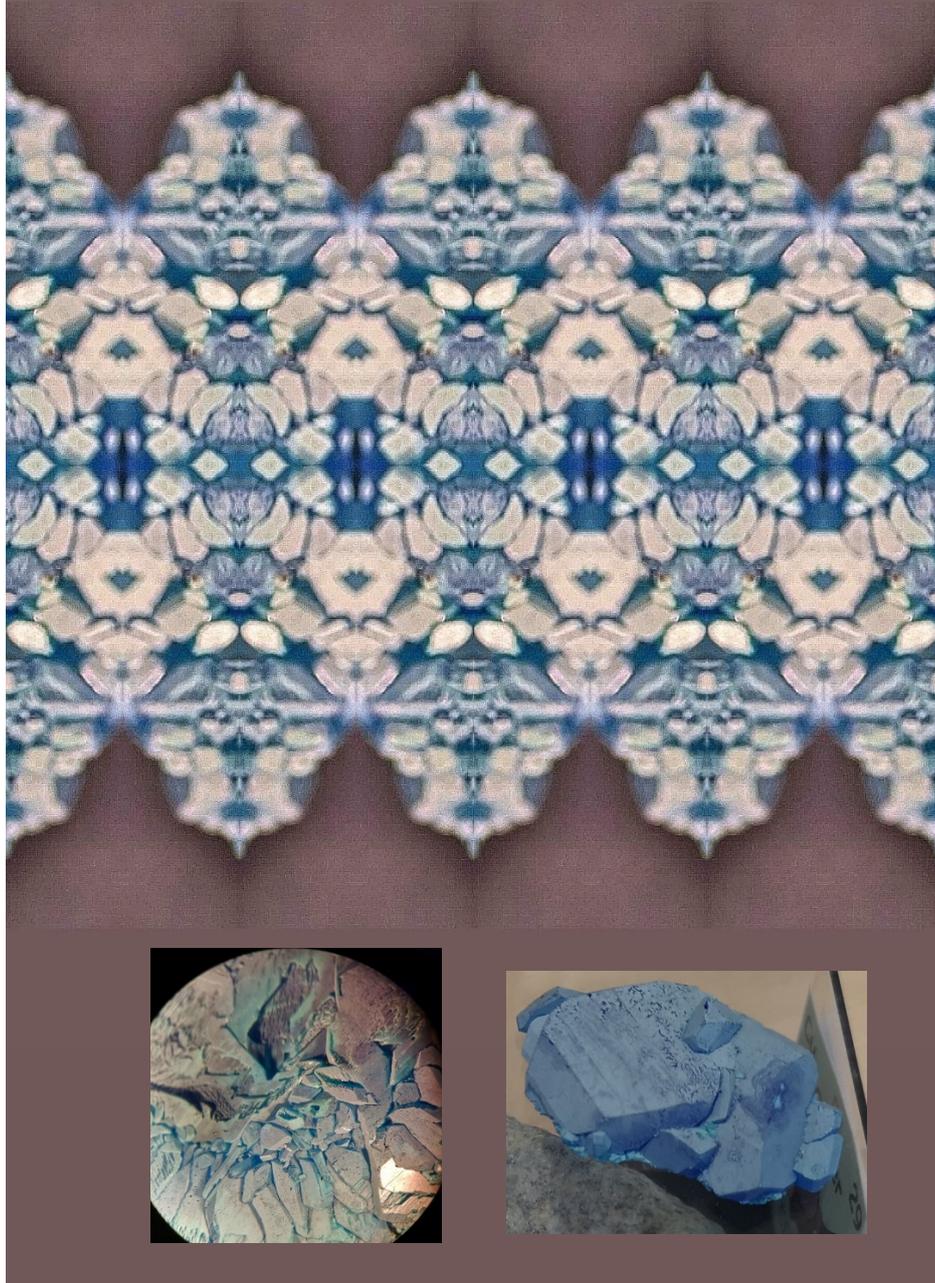
**Sulfato de cobre**



**Perdi algumas  
águas**

**Figura 25.** História do Facebook dedicada ao sulfato de cobre parcialmente desidratado da Fig. 9, em baixo [7].

# Sulfato de cobre



**Figura 26.** História do Facebook dedicada ao sulfato de cobre parcialmente desidratado da Fig. 9, em baixo [7]. A fotomicrografia tem ampliação de 10x e pertence à série que foi usada nas simetrias deste padrão e do anterior.

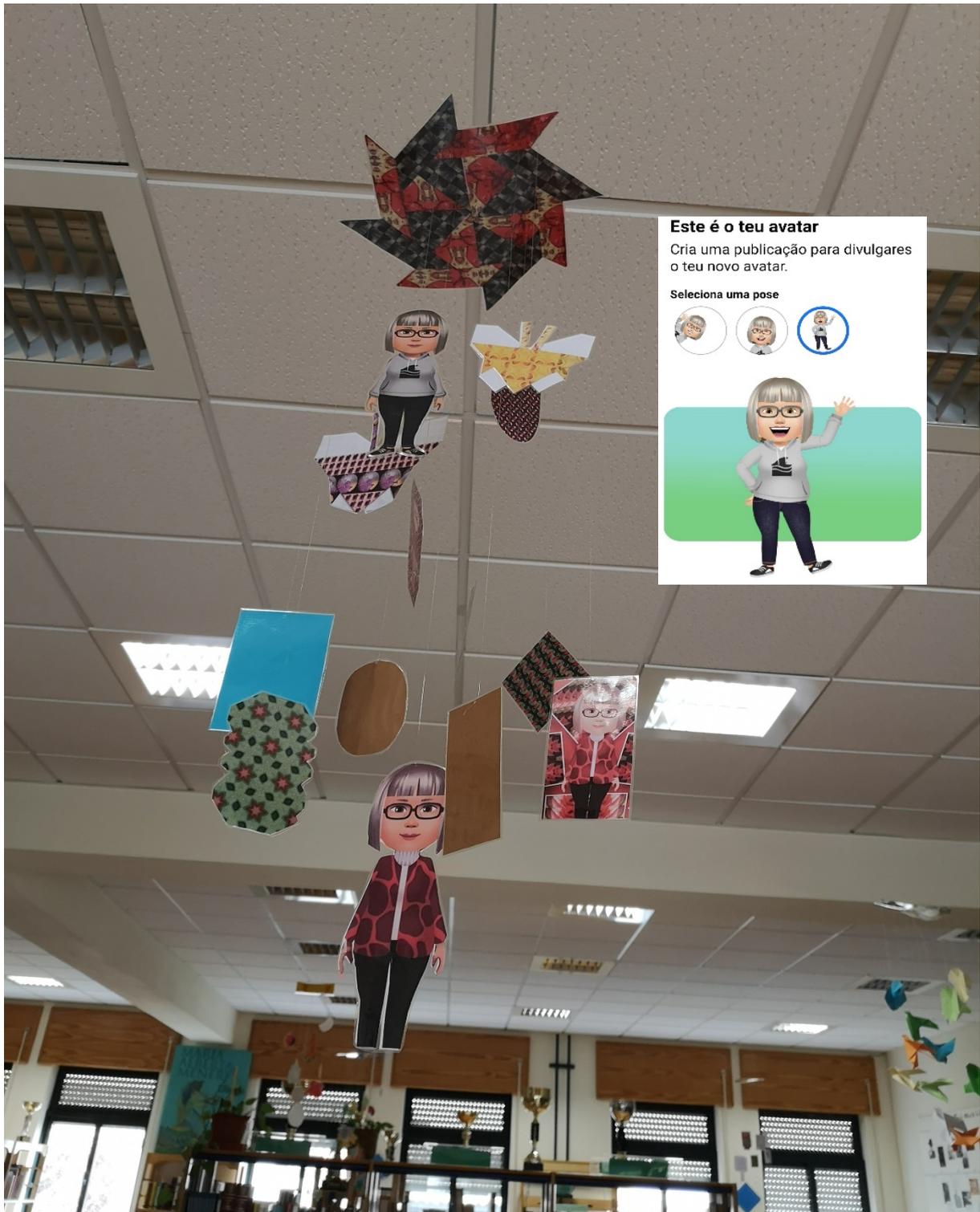


**Figura 27.** Lupas estereoscópicas usadas na observação de cristais em placas de Petri, e em outros suportes. Em cima, Lupas Nikon®, binoculares e trinoculares. Uma delas tem aquisição de imagem com câmara Sony®acoplada, que transmite para um monitor. Na segunda lupa, em cima, o iluminador é de fibras ópticas, a base é diascópica também com iluminador. A opção de aquisição de imagem é possível, mas não foi adquirida. Em baixo, as imagens foram feitas no Pavilhão do Conhecimento, durante uma aula experimental sobre a Tabela Periódica em 2019 [14]. As lupas são de base diascópica e apenas permitem ampliar 20x ou 40x. As de cima têm gama de ampliação de 10x a 63x ou mais, se forem usadas lentes oculares apropriadas a maior ampliação. Os cristais foram cedidos em cristalizadores e em placas de Petri.

Algumas das ilustrações incluem os Avatares do Facebook, Figs. 28,29 um algoritmo desta rede social que permite fazer um boneco que representa o nosso “retrato”: permite escolher as feições, o penteado, a roupa, etc. e tem sido usado com sucesso junto das escolas. A aplicação inclui também diversos quadros alusivos a estados de espírito, festividades, estações do ano, bonequinhos estilo *emotion ícones*, etc. Combinado com outra aplicação, o FaceApp, podemos fazer sorrisos, envelhecer, usar maquilhagem, engordar, adivinhar como seriam os nossos filhos e até nós próprios se fôssemos de outro sexo, e o que foi mais útil, mudar o fundo das ilustrações, Figs. 29 e 30! Esta última possibilidade é espectacular, expedita e muito melhor do que as ferramentas de recorte de imagem e escolha de fundos fornecidas pelo Power Point.



**Figura 28.** Facebook Avatar e FaceApp combinados [4]. A aplicação FaceApp tem uma versão profissional que é paga, mas tem muitas funcionalidades grátis, que obrigam a ver anúncios ou inscrição.



**Figura 29.** Facebook Avatar e FaceApp combinados. As figuras do Avatar têm vários padrões nas costas das bonecas. Apresentação do projecto STEAMD na Biblioteca do Agrupamento de Escolas de Ribeiro Sanches durante a Semana da Ciência e da Tecnologia 2021 [2]. O mobile foi executado por Luísa Carreirinho Tavares, Assistente Operacional da Biblioteca. Uma inspiração da obra surreal de René Magritte, Golconda, com a chuva de homens com chapéu sobre a cidade. Alguns dos padrões aqui observados foram elaborados no programa GeCla, da Associação Atractor. Nesta Exposição, Ciência e Padrões Decorativos, os padrões foram impressos em papel e posteriormente usados para fazer um sistema modular de origami descrito em vários catálogos [15-17].

Como atrás se referiu, as reações de oxidação-redução são das mais espetaculares que podem ser observadas à lupa estereoscópica, entre as quais se destacam a formação de “árvores metálicas”, cristais dendríticos de metais [17]. No entanto, requerem reagentes em solução, o que torna a vigilância mais apertada, até porque com o entusiasmo, os visitantes têm tendência a misturar reagentes, o que pode ser muito criativo, mas dispersante e até perigoso, como é o caso do manuseamento de soluções de nitrato de prata, proibido em alguns Países, por causar lesões irreversíveis na pele. Alguns resultados podem ser observados nas figuras seguintes para a formação de cristais de prata.

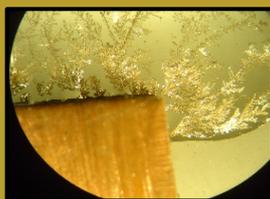
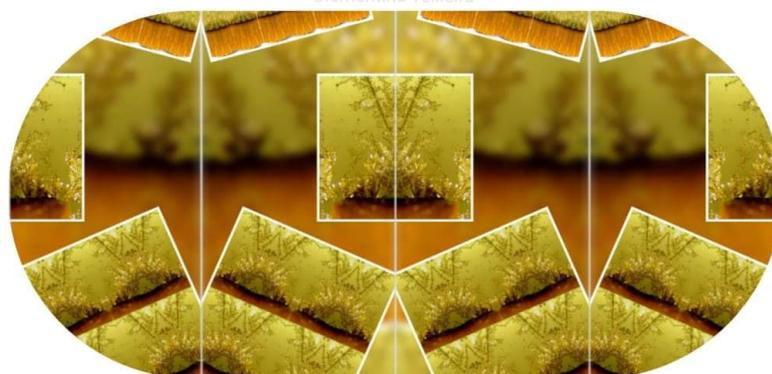


**Figura 30.** As famosas árvores de prata, servem de fundo ao Avatar, alusivo a uma entrevista sobre modelos de Redes Cristalinas, na coleção de podcasts do IST 110 Histórias, 110 Objetos [18]. A figura do Avatar foi escolhida no Menu do perfil pessoal do Facebook, e o fundo foi formatado com a aplicação FaceApp. As Árvores metálicas de prata podem ser observadas nas figuras seguintes e na Exposição Química, Arte e Inteligência Artificial [4].

# My name is silver!!!!

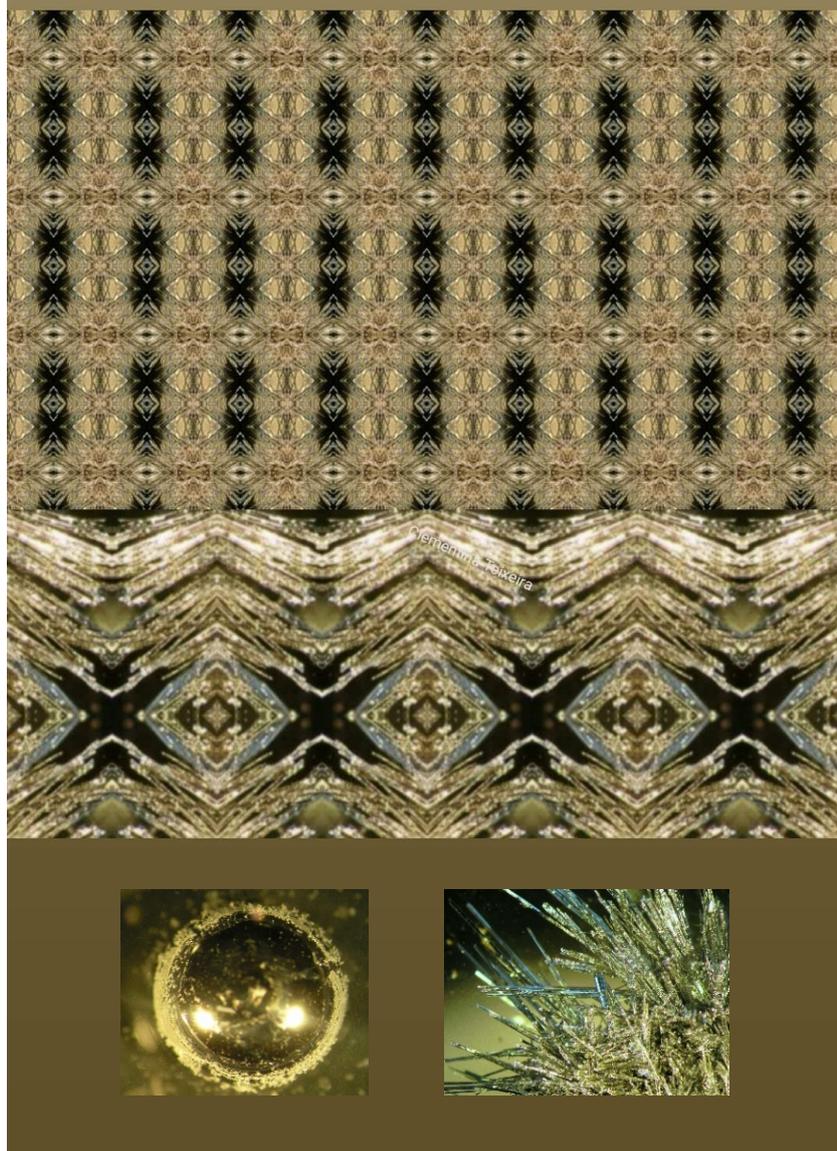


Clementina Teixeira



**Figura 31.** A reação clássica de uma placa de cobre a reagir com algumas gotas de solução de nitrato de prata 0.1 M, seguida à lupa estereoscópica, 10x. As gotas da solução devem ser colocadas no canto da placa, de forma a evitar que se formem sobre ela, prejudicando a visualização dos fractais. História do Facebook e padrões feitos por programas de inteligência artificial [4].

# My name is silver...



**Figura 32.** A reação de uma gota de mercúrio, em baixo, à esquerda, a reagir com algumas gotas de solução de nitrato de prata 0.1 M, à lupa estereoscópica. Em baixo, à direita, estado final da reação, 30x (fotomicrografia de Hermínio Diogo). Formação de enormes cristais de prata. Padrão com simetrias de translação e reflexão. As árvores de prata feitas por reação a partir de mercúrio denominam-se Arbores Dianae [19].

## 2. Os Padrões Químicos da Exposição Virtual “Química, Arte e Inteligência Artificial”.

Esta Exposição, editada por Vasco Bonifácio, foi apresentada nos Laboratórios Abertos On line 2021 [4] do DEQ e algum do trabalho aí apresentado foi publicado em Catálogos de Exposições realizadas em Penamacor, durante a pandemia, Figs. 33-35, que o leitor deverá consultar [15-17], pois é aí que vêm descritas as diversas facetas do projecto STEAMD em pormenor e numa perspectiva mais interdisciplinar. Nesta secção não se vai seguir a ordem pela qual os vídeos, gifs e cinemagrafias surgem na versão virtual, mas seguindo mais a sequência dada no Capítulo 1, atendendo à relevância de cada composto ou reacção.



**Figura 33.** Semana da Ciência e da Tecnologia 2021 na AERS, em Penamacor [2], Figs.34, 35. Quatro dos cinco catálogos de exposições de Ciência e Padrões Decorativos feitas neste Município. Em destaque a reutilização de materiais e origamis feitos a partir de papel impresso com os padrões decorativos: o chapéu está decorado com flores de papel com padrões de Química e de Ciências; o fundo da imagem é um padrão construído por simetrias de reflexão e de translação feitas a partir duma faixa da foto do chapéu [7,8].

### Avatar do Facebook e aplicações para smartphone

A exposição virtual começa com um videoclipe de apresentação (Clementina Teixeira) feito com as Histórias do Facebook publicadas nas páginas e perfil pessoal, usando o meu Avatar desta rede social. Esta função cada vez tem mais filtros e efeitos associados, mas só tem a duração de 24 horas. A roupa condiz com os padrões que formatam o fundo, como se explica nas Figs. 24, 28 -30, 35, usando a

**SEMANA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA 2021**

22 > 28 NOVEMBRO

CIÊNCIA VIVA 25

ATIVIDADES EM TODO O PAÍS

Penamacor IJI

**Ciência e Padrões Decorativos do Técnico no Agrupamento de Escolas Ribeiro Sanches**

## CIÊNCIA E PADRÕES DECORATIVOS DO TÉCNICO NO AGRUPAMENTO DE ESCOLAS DE RIBEIRO SANCHES PENAMACOR

ENSINO BÁSICO - 1.º, 2.º, 3.º CICLOS, ENSINO SECUNDÁRIO, PÚBLICO EM GERAL  
ID: 1395

O projecto STEAMD “**Ciência e Padrões Decorativos**” liga as áreas científicas que se dedicam ao estudo dos cristais químicos de cultura (Química, Física, Mineralogia, Geologia, Materiais, Tecnologia e Engenharia de Cristais) à Arte (pintura e escultura), ao Artesanato, à Matemática (simetria, GeClá, Associação Atractor), ao Design e Educação Visual. Neste último campo destacam-se a recente utilização de programas e aplicações expeditas de inteligência artificial para o design de padrões decorativos originais que poderão enriquecer o artesanato e estender-se a outras áreas científicas como é o caso da Botânica, Ecologia e tudo o que pode ser incluído no Estudo do Meio. Em 2019/2020 foram feitas várias exposições virtual e presencialmente na Biblioteca Municipal de Penamacor, tendo como base a reutilização do papel em peças de origami, livros dobrados e tecelagem de papel. Mas a par da reutilização de velhos papéis e livros, os padrões originais feitos neste projeto transformam-no numa espécie de estúdio criativo gerando cada vez mais novos padrões de segunda e terceira geração, etc., num processo inovador de que os artesãos/artistas poderão usufruir para melhorar os seus produtos e o seu grau de sofisticação tornando-os mais competitivos ao nível do mercado. O projeto em si não tem fins lucrativos e tem sido intensamente divulgado nas redes sociais Facebook, Instagram, Researchgate, e também no Instituto Superior Técnico através do Serviço Educativo dos Museus do Técnico (Deitar as Mãos Aos Papéis,

<https://www.facebook.com/servicoeducativomuseustecnico/videos/399734884940330>  
<https://www.facebook.com/552854048088812/videos/1812337368953366>  
<https://www.facebook.com/watch?v=447056152623424>

e do Departamento de Engenharia Química, Laboratórios Abertos 2021, Química, Arte e Inteligência Artificial, <http://deq-la.tecnico.ulisboa.pt/2021/exposicao/exposicao.php>). Para além de sensibilizar os professores e o público em geral, pretendemos estimular e cativar os alunos numa aprendizagem inclusiva e transversal. Ao mesmo tempo pretendemos fazer a reutilização do papel, e a substituição de adornos e embalagens de plástico como é o caso das flores, caixas, embalagens, sacos, etc., tendo sempre em mente os terríveis problemas ecológicos que atualmente se desenrolam. A ação decorrerá aberta ao público e à comunidade escolar de Penamacor, ficando a exposição em permanência durante toda a semana, podendo até ser prolongada. Paralelamente será feita a divulgação de forma intensiva nas redes sociais Facebook e Instagram, com a publicação de muitos dos resultados obtidos. Equipa: Clementina Teixeira (COE-IST), António Paralta, Antonieta Salgueiro, Maria Filomena Pires, Carolina Ramos (Agrupamento de Escolas de Ribeiro Sanches).

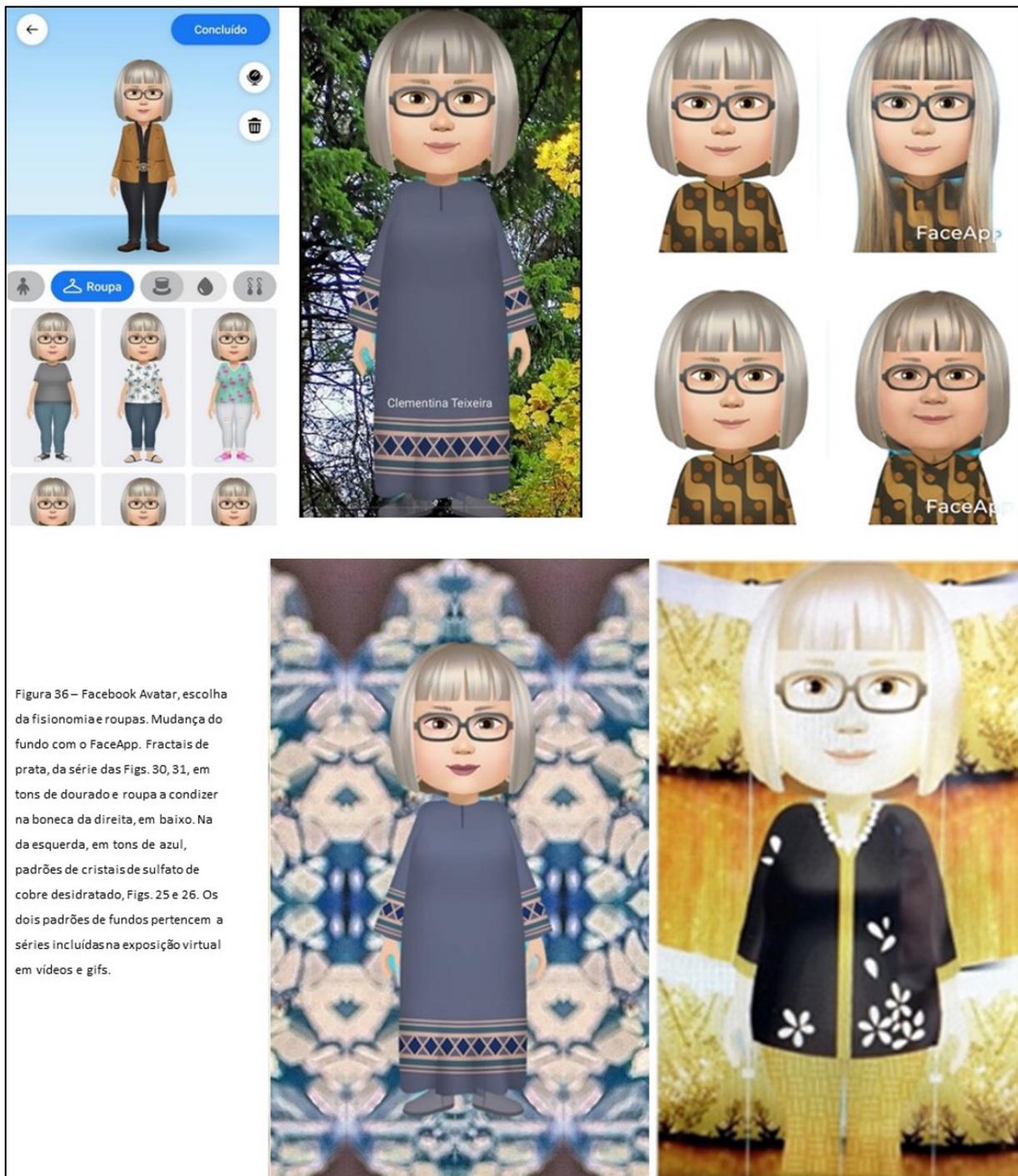
**Coordenação do Programa:** Clementina Teixeira, IST, Antonieta Salgueiro Biblioteca Ribeiro Sanches

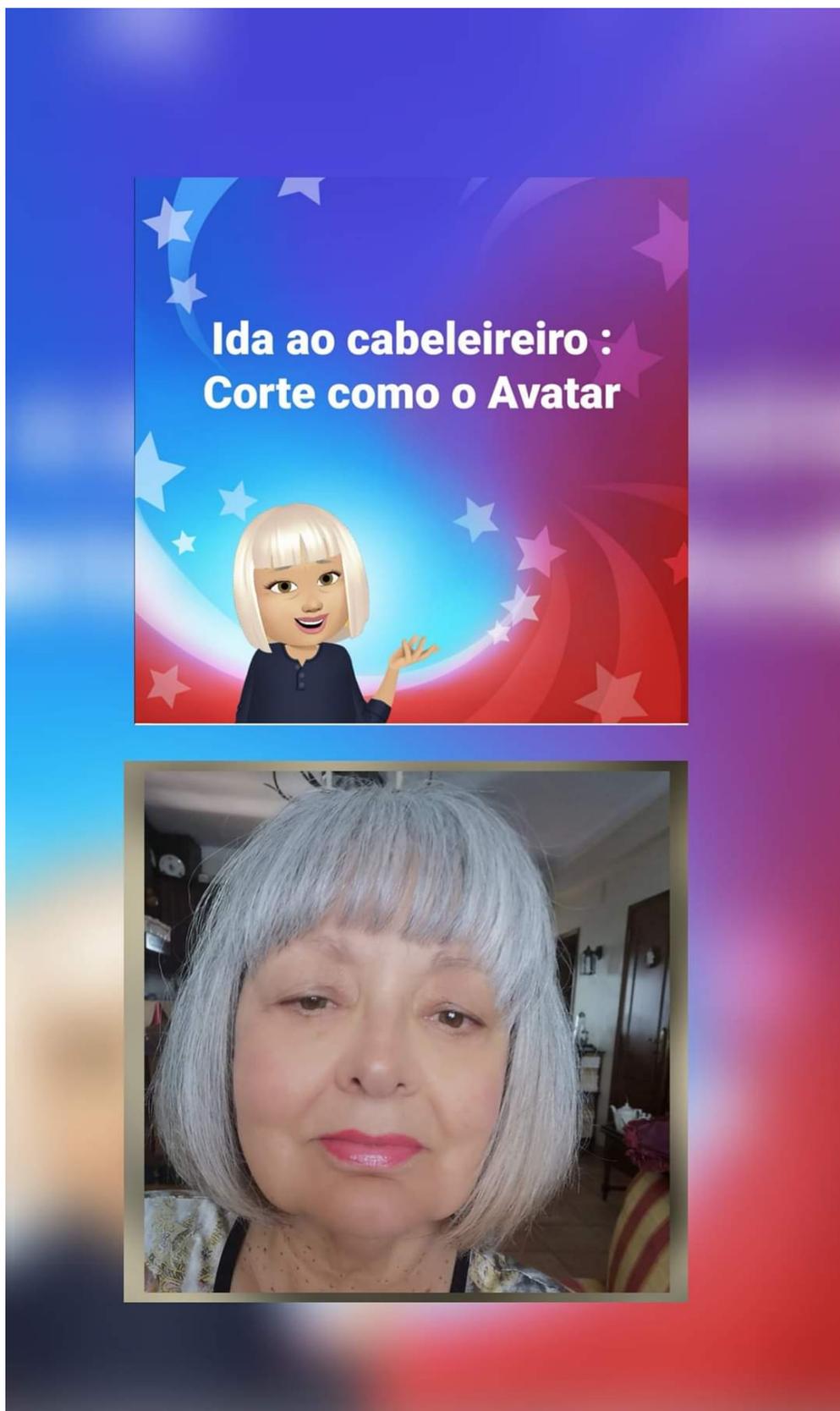
Figura 34. Os objectivos do Projecto STEAMD, neste caso uma aposta na reutilização de papel e origami.



**Figura 35.** Semana da Ciência e da Tecnologia 2021 no Agrupamento de Escolas de Ribeiro Sanches Penamacor [4]. Ciência e Padrões Decorativos, Simetria e Química, padrões decorativos impressos em papel, origami e reutilização de papel. Por vezes até escolhi a toilette a condizer com o Avatar, como se mostra para o caso dos cristais de sulfato de cobre parcialmente desidratados. Projecto STEAMD.

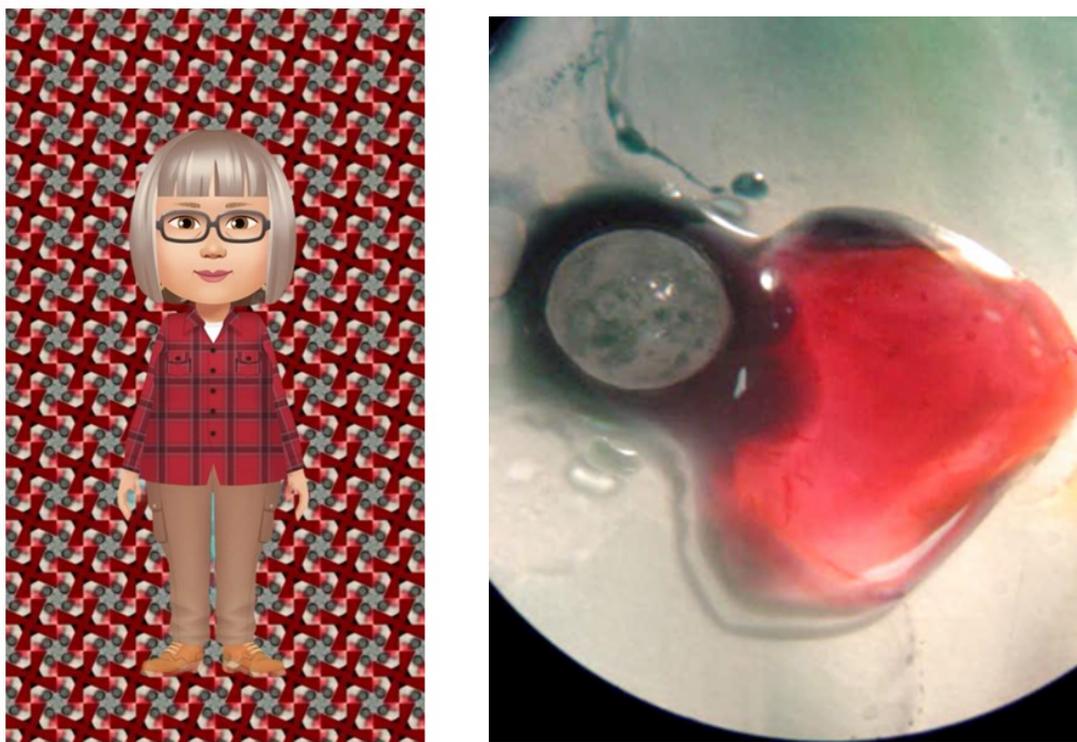
aplicação *FaceApp* para mudar as feições, cabelo e fundo da imagem, o que dá muito jeito para apresentar os padrões. A escola aproveitou a ideia para fazer mobiles alusivos ao evento. A inspiração veio de René Magritte (Golconde), Fig. 29!!!! *ToonMe* e *Prisma* foram outras aplicações usadas para dar toques artísticos às fotografias, cada vez com a oferta de mais opções. A apresentação em vídeo foi feita automaticamente pelo Google Fotos. Também as sugestões das aplicações foram dadas pelo Google Play e pela edição avançada do telemóvel, HUAWEI P20 Pro.





**Figura 37.** Um dos quadros do Avatar do Facebook e as Histórias desta rede, conjugadas numa única imagem.

Na Fig. 38 a fotomicrografia da reação ácido-base de soda cáustica (pastilha) com gotas de solução aquosa de ácido clorídrico 0.1 M permitiu fazer videoclipes [20,21] e fotomicrografias que, inseridas no programa GeCla, e também com simetrias simples de translação e reflexão, deram uma série de padrões. Esta série de microscopia química, o estudo de reações à lupa estereoscópica, foi anteriormente publicada num artigo de Microscopia Química da SPQ [22].



**Figura 38.** Padrão GeCla p4, da fotomicrografia (10x) de NaOH (verde, pastilha) + HCl 0.1M (gota vermelha) em presença de indicador universal de pH. Uma fracção da fotomicrografia foi usada no GeCla para geral o padrão [20,21].

#### [Cristais de Alúmen de Cromo, Alúmen de Potássio e Soluções Sólidas de Alúmenes. Padrões.](#)

Também na primeira apresentação de “Clementina Teixeira” estão inseridas as histórias da Fig. 39, relativas ao alúmen de cromo, sulfato duplo de cromo e potássio dodeca-hidratado. O Avatar foi combinado com padrões de uma série (simetrias de translação, reflexão e rotação parcial), que pode ser observada numa apresentação em gif, e ainda numa animação de cinemagrafia feita com o programa *Motionleap de Lightricks (Pixaloop)*, Fig. 40. Os cristais deste alúmen são eflorescentes, perdem águas de hidratação e podem aparecer com hábito tabular, octaédrico, octaedro truncado com cubo, e em amostras “On the Rocks” Figs. 40, 41. O alúmen de Cr é iso-estrutural do de alumínio e potássio, formando com ele soluções sólidas em todas as proporções Figs 2-4. Estas soluções imitam

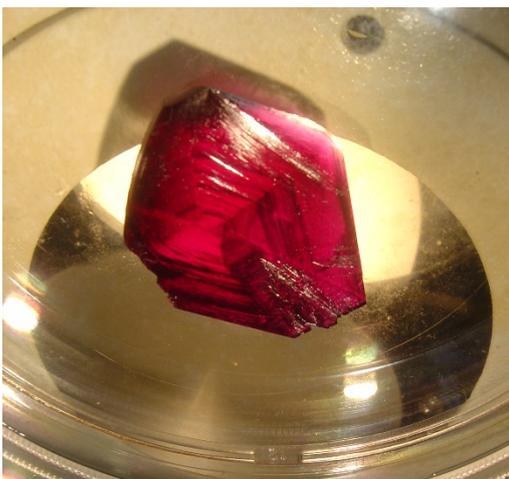
pela sua cor as ametistas e os padrões gerados a partir das fotomicrografias são também apresentados em formato gif [13]. Nas figuras seguintes, mais exemplos de merchandising com este composto.



**Figura 39.** Alúmen de cromo nas Histórias formatadas com padrões decorativos apresentados em formato gif.



**Alúmen de cromo, sistema cúbico,  $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$**



**Figura 40.** Alúmen de cromo, padrões apresentados em gif a partir do cristal tabular (preparado por Gonçalo Santos). A cinemagrafia, em baixo, à direita, na exposição apresentada em forma de vídeo (Pixalooop).

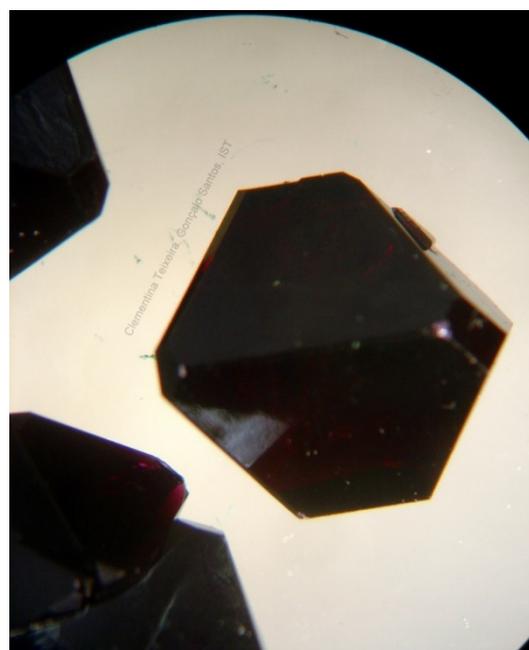
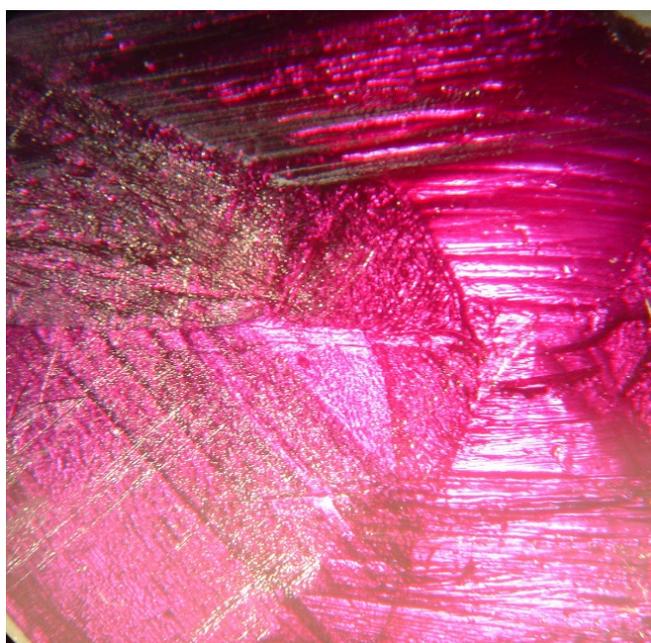
## My Name is Chrome Alum. Amethyst on the Rocks, FCT-UNL, 2014

Alúmen de cromo. Sulfato de cromo(III) e potássio dodeca-hidratado  $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ .  
Sulfato de cromo (3+)-sulfato de potássio-água (1/1/24).  $Cr_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O$ .

### The Great Pretender

Cristais iônicos, sistema cúbico, octaédricos, cultivados pelo método de nucleação heterogênea, "On the Rocks", em rocha vulcânica. Eflorescentes.  
Prep: 65 g de soluto/100 mL de água, arrefecimento e evaporação em repouso, temperatura final de 5 °C. Exemplar original (~14cm x14cm).

Fotomacro de M F Costa Pereira.  
Preparação de Marta Smith e Mafalda Lancinha.



**Figura 41.** Cristais de alúmen de [cromo](#) preparados em 2008 em rocha vulcânica. Concurso de Fotografia no Ano Internacional da Cristalografia, 2014 e outros Congressos [19]. Em baixo à esquerda, fotomicrografia do cristal tabular de alúmen de cromo da Fig. 40, em base diascópica, 126x. Fotomicrografia de cristais de alúmen preparados por Gonçalo Santos, à direita, 10x. Quando a luz atravessa o cristal pode observar-se a cor violeta, de contrário os cristais são quase negros.



**Figura 42.** Em baixo, padrão de simetria construído a partir da fotomicrografia da Fig. 41. Em cima, octaedros de origami, com o padrão da Fig. 40. No alúmen de cromo a coordenação é octaédrica no aquocomplexo.



**Figura 43.** Moda virtual com os padrões de alúmen de cromo [12]: *throw pillow*, medalha, caneca. Em cima, à direita, botão de chamada para o gif dos padrões de alúmen de cromo.

Durante a pandemia a venda de artigos de uso comum personalizados disparou, sobretudo nas épocas festivas. O número de empresas on line multiplicaram-se, havendo também a possibilidade para o cliente de poder vender os seus desenhos. Esta prática é muito comum no meio artístico e galerias de arte. Existem numerosos sites que permitem criar, encomendar ou até vender este tipo de artigos “Create your own”. Muitos deles estão disponíveis para venda nas casas de fotocópias (personalizados). Em Portugal existiam os sites para guardanapos personalizados da Renova® e os selos dos CTT®. No Natal de 2021 destacaram-se as empresas Dedoles® e Fotocão® que inundaram o mercado virtual com meias e retratos de cães e gatos!!! Mais exemplos nas Figs. 44 e 45.

# Chrome Alum Patterns



Clementina Teixeira



**Figura 44.** Malas personalizadas com padrões de alumínio de cromo, “create your own...”

## Ciência e Padrões Decorativos

### Alúmen de cromo

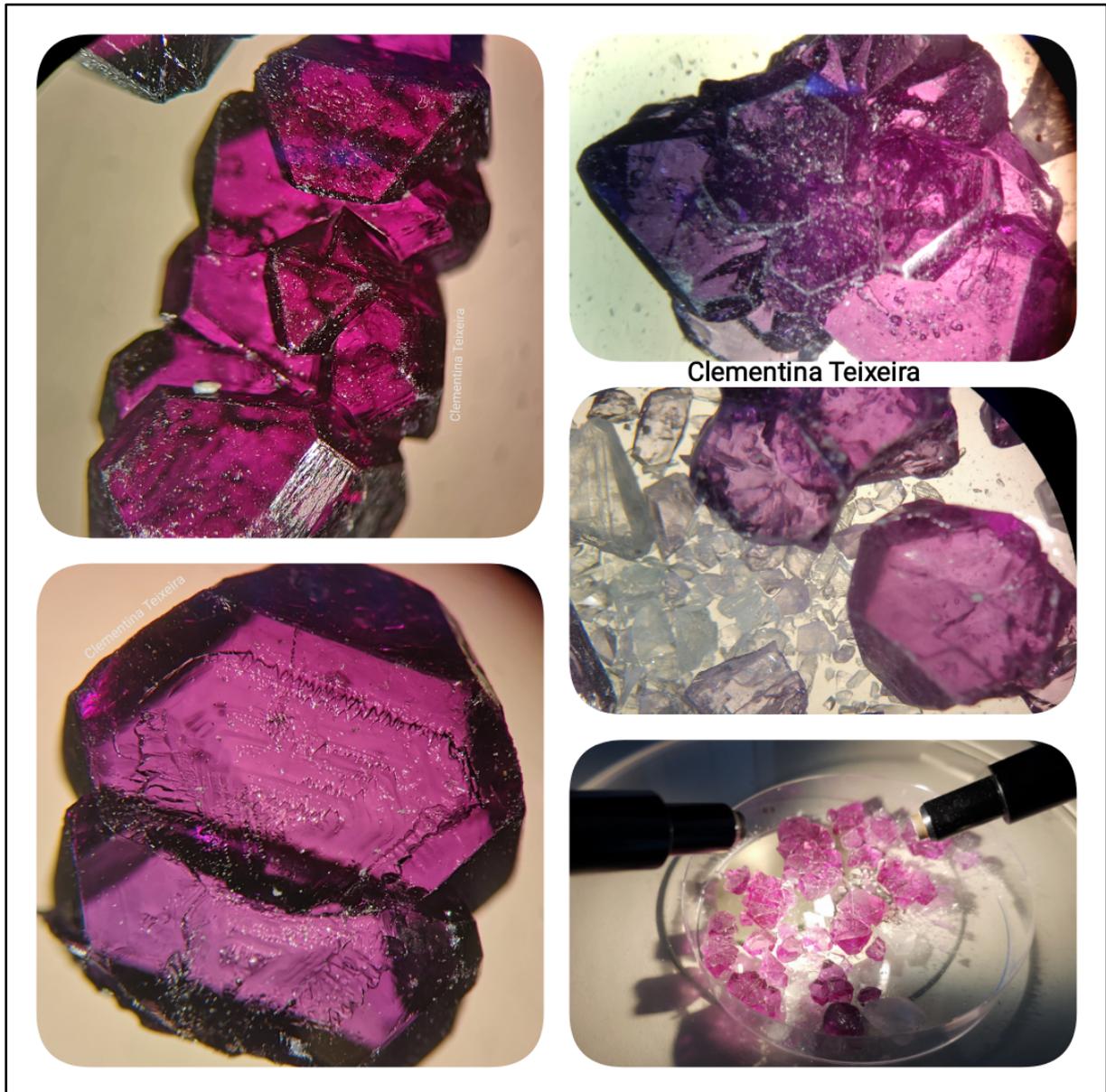


Clementina Teixeira

**Figura 45.** Meias impressas com padrões de alúmen de cromo. Meias personalizadas a fazer furor!!

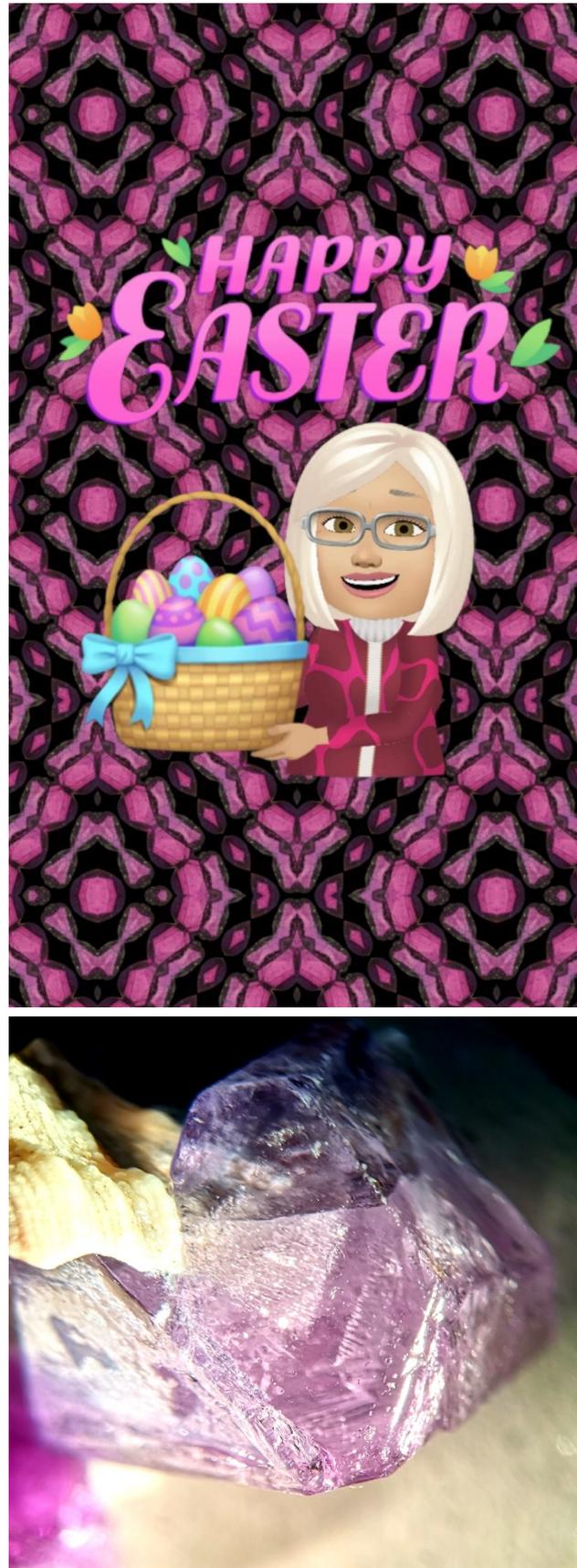


**Figura 46.** Soluções sólidas de álumenes de potássio e alúmen de cromo, observação à lupa estereoscópica e padrões decorativos. Amostras em várias proporções. Imitam as ametistas. Algumas das amostras apresentam cristais do alúmen de potássio. Vide, também, Figs. 2,3,4,8. Imagens apresentadas em gif.



Clementina Teixeira

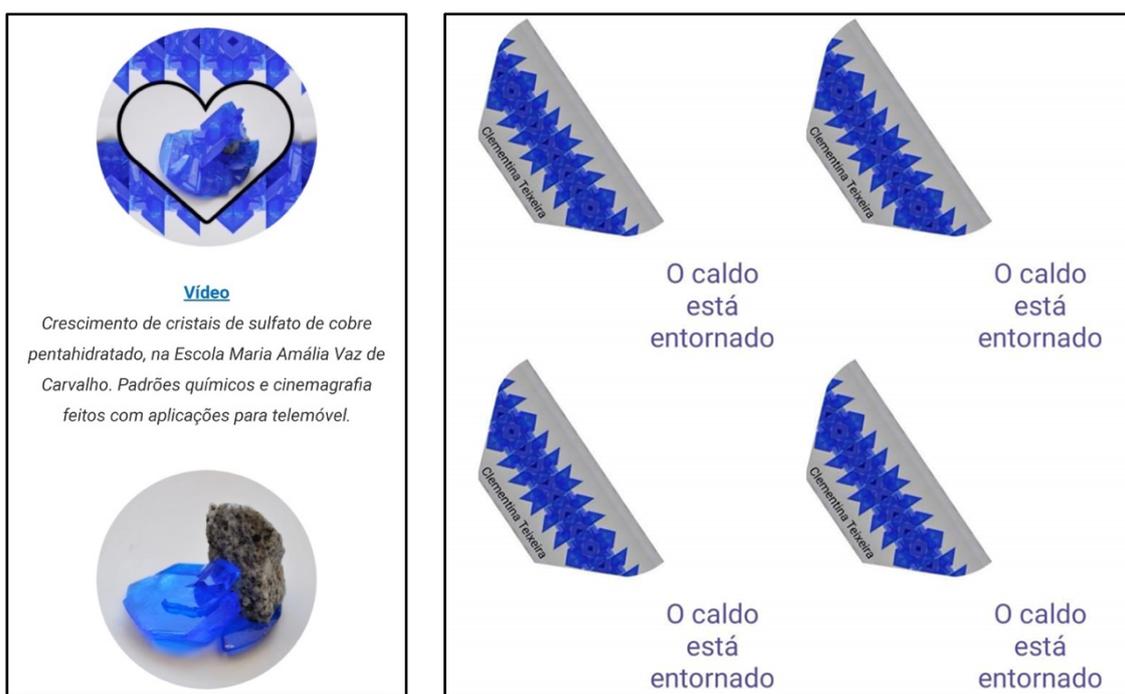
Clementina Teixeira



**Figura 47.** Em vez de ovos dou-vos um cristal. Solução sólida de alúmenes de cromo e de alumínio-potássio. História do Facebook, Avatar da Páscoa e cristal cúbico, em baixo, hábito octaedro + cubo, lupa estereoscópica, 10x, Fig. 3, amostra cristalizada numa concha.

### Cristais de Sulfato de Cobre Penta-hidratado e padrões decorativos.

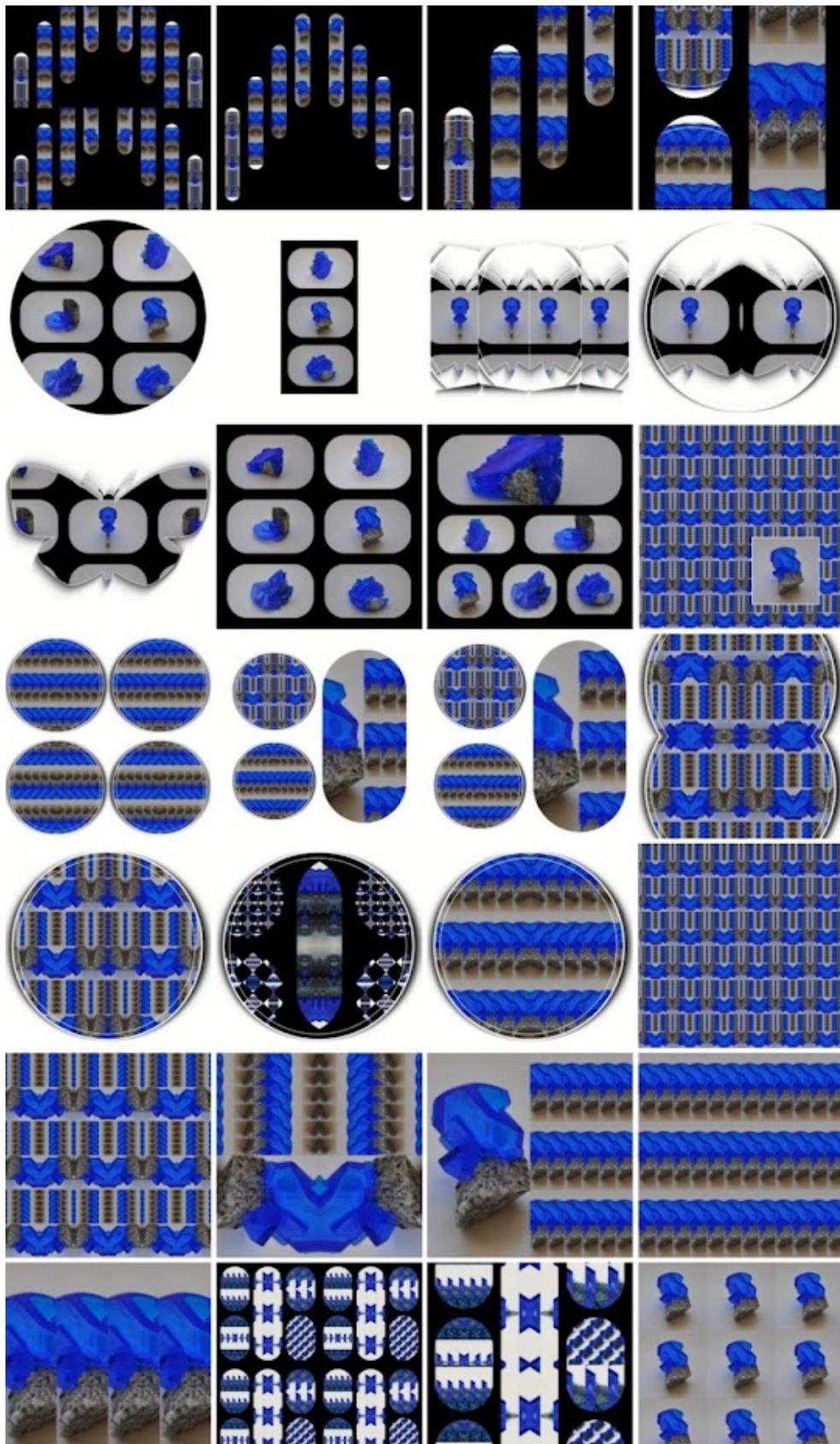
A exposição virtual permite a consulta de vários vídeos e gifs de cristais “On the Rocks” e padrões decorativos, incluindo também cinemagrafias. Salienta-se a colaboração da Escola Maria Amália Vaz de Carvalho, onde foram preparadas as amostras “On the Rocks”, Fig. 48. Na Fig. 49 apresenta-se um quadro-resumo de vários padrões decorativos. Remete-se o leitor para as figuras iniciais desta publicação onde são dados vários exemplos para este composto.



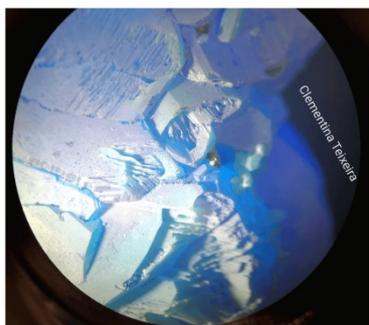
**Figura 48.** Na primeira imagem, botão de cima, apresenta-se um vídeo editado automaticamente pelo smartphone. No botão de baixo, apresenta-se um gif. Do lado direito um dos padrões que faz parte do vídeo.

O cristal deste composto já parcialmente desidratado da Fig. 9 foi observado à lupa estereoscópica e as fotomicrografias e padrões foram apresentadas num vídeo (gif), Figs.50, 51. O leitor encontrará mais imagens no início deste capítulo, Figs 25, 26, 36.

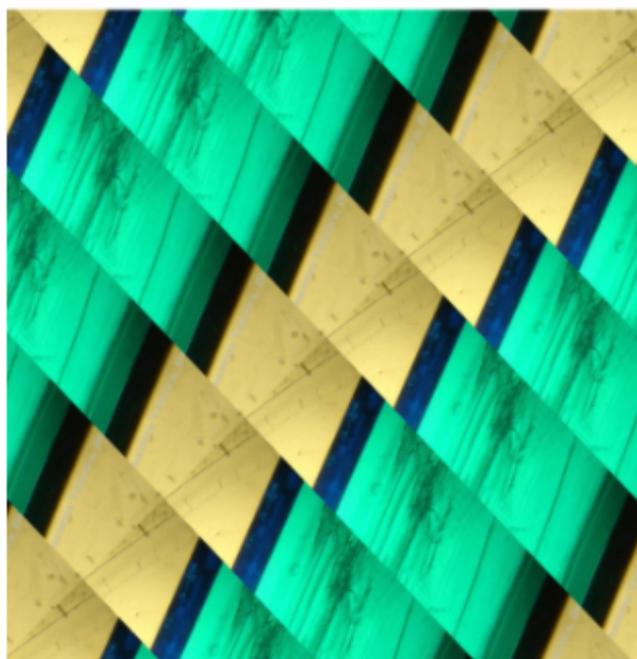
Um único cristal tabular do mesmo composto, visto à lupa estereoscópica, permitiu verificar que a cor se pode apresentar esverdeada (em solução diluída ou lâminas de espessura fina). São notáveis os defeitos cristalinos apresentados, com sombras de crescimento e bolhas de ar adsorvidas. Os padrões decorativos podem ser vistos nas Figs. 21-24, e na apresentação em gif/vídeo, Fig.50. Na mesma figura, um auto-retrato estilizado com a aplicação Prisma, com o fundo formatado com os defeitos cristalinos, aplicação FaceApp. Na Fig.52, um padrão decorativo exibido numa montagem de placas de acrílico da Exposição de cristais [4, 20], mais um auto-retrato e proposta de merchandising virtual.



**Figura 49.** Listagem de padrões decorativos para o sulfato de cobre penta-hidratado “On the Rocks”, Escola Maria Amália Vaz de Carvalho.



Cristais de sulfato de cobre pentahidratado preparados em 2000. Após 20 anos de armazenamento ao abrigo da luz, pó e humidade, um dos cristais, já parcialmente desidratado foi fotografado à lupa estereoscópica. Com as fotomicrografias construíram-se padrões decorativos por regras de simetria simples e usando também aplicações para telemóvel.



Cristal de Sulfato de cobre pentahidratado, lupa estereoscópica, preparação de Gonçalo Santos. Defeitos cristalinos. Simetrias.



**Figura 50.** Botões de chama para os gifs/vídeos de sulfato de cobre pentahidratado. Em baixo, auto-retrato.



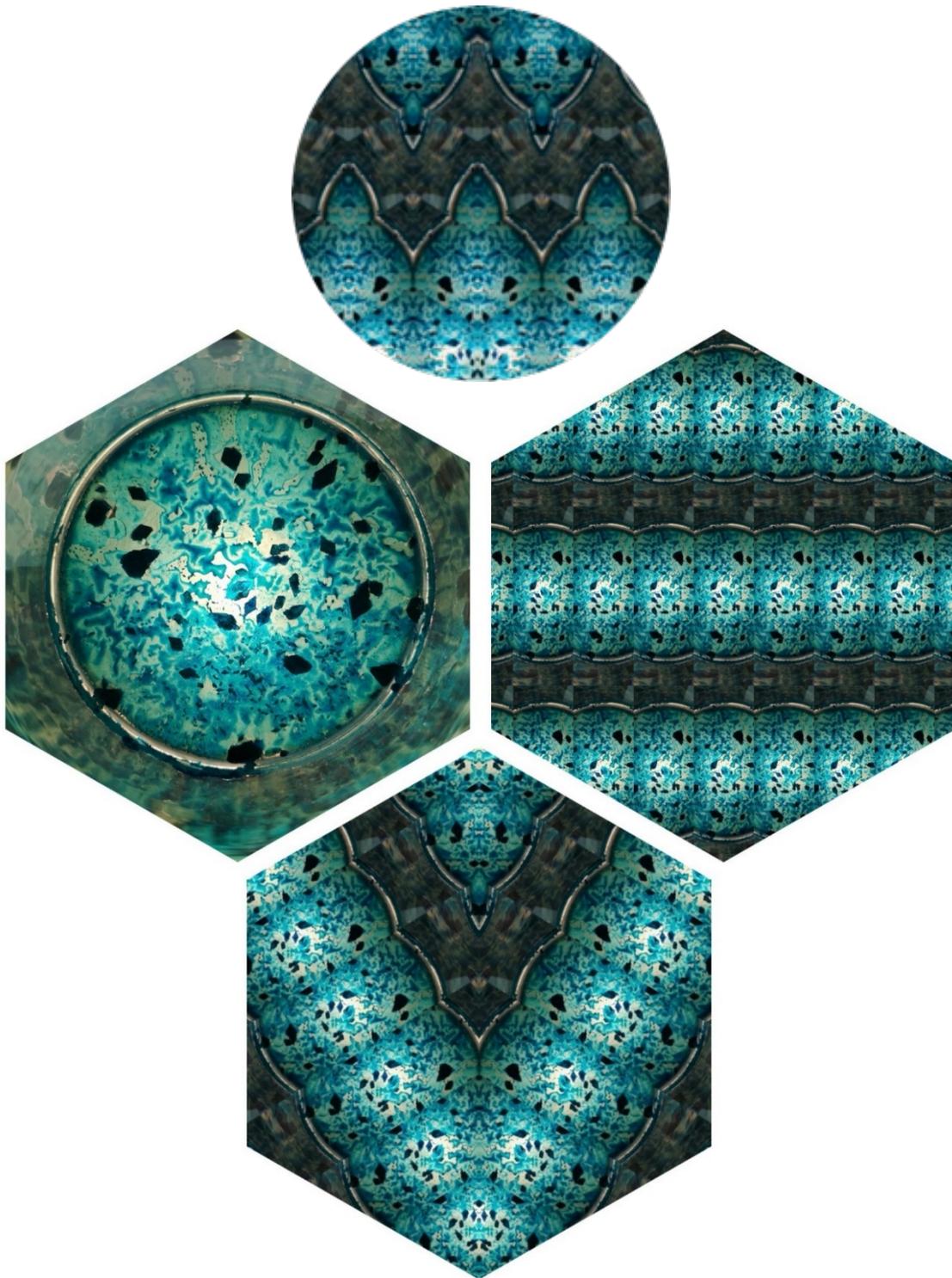
Figura 51. Moda virtual com sulfato de cobre parcialmente desidratado.



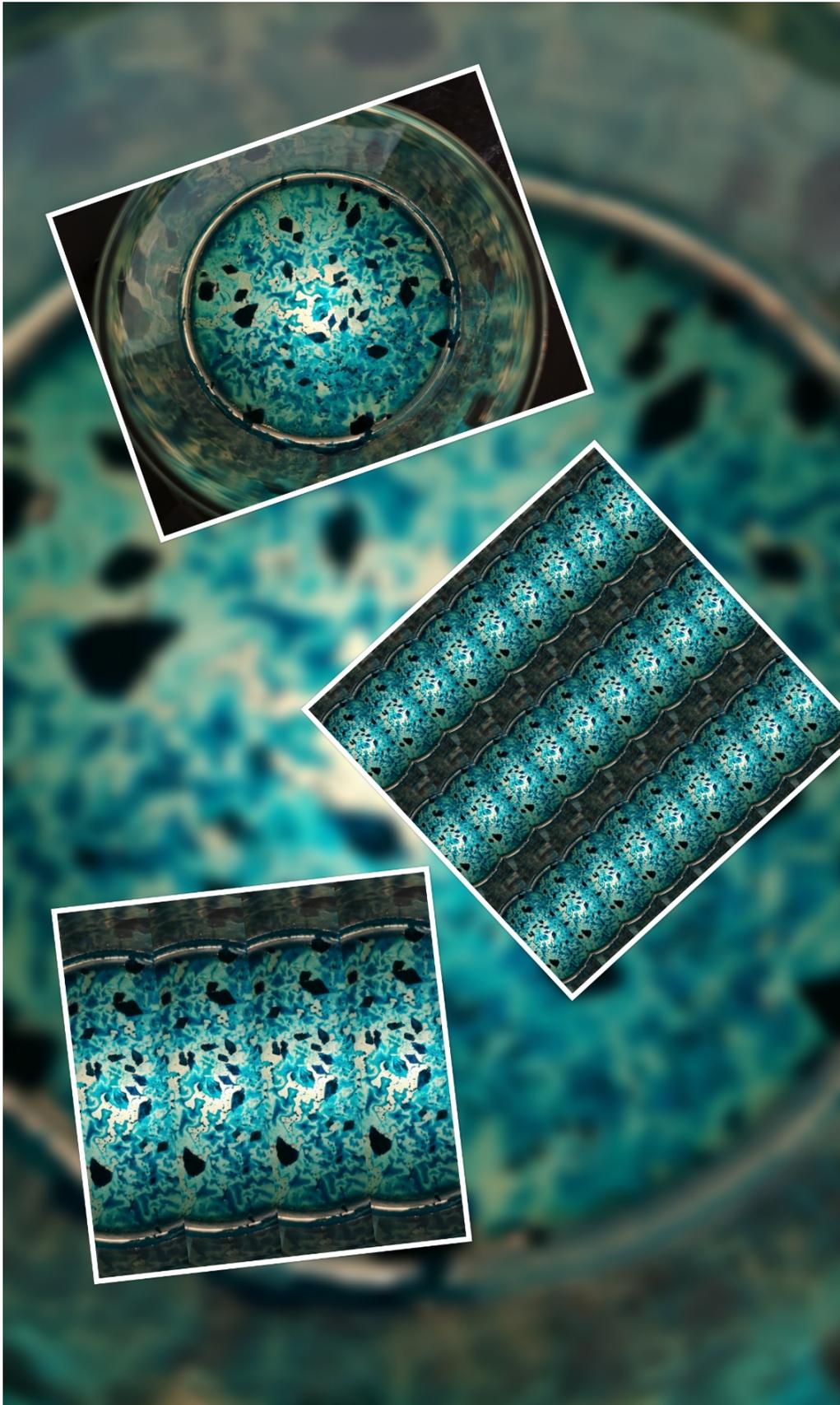
**Figura 52.** Padrões decorativos construídos por regras de simetria simples e aplicações para telemóvel. Apresentado em montagem de acrílico, em cima, à direita. À esquerda, mais um exemplo de merchandising virtual graças ao cristal de Gonçalo Santos. Em baixo, à direita, auto-retrato com fundo formatado no FaceApp e toques artísticos com os filtros do Prisma.

### Cristais de Acetato de cobre hidratado

O acetato de cobre monohidratado,  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , foi preparado por Gonçalo Santos, a partir de uma reacção química em cristalizador (2013): reacção de sulfato de cobre pentahidratado com NaOH, para obter o hidróxido de cobre  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , a que se seguiu a reacção com ácido acético [13]. O gif/vídeo que se apresenta foi feito a partir da foto macro do cristalizador, visto de cima, passados vários anos após a síntese, Fig. 53. Um dos padrões pertence à coleção apresentada em acrílicos, Figs. 54 [20].



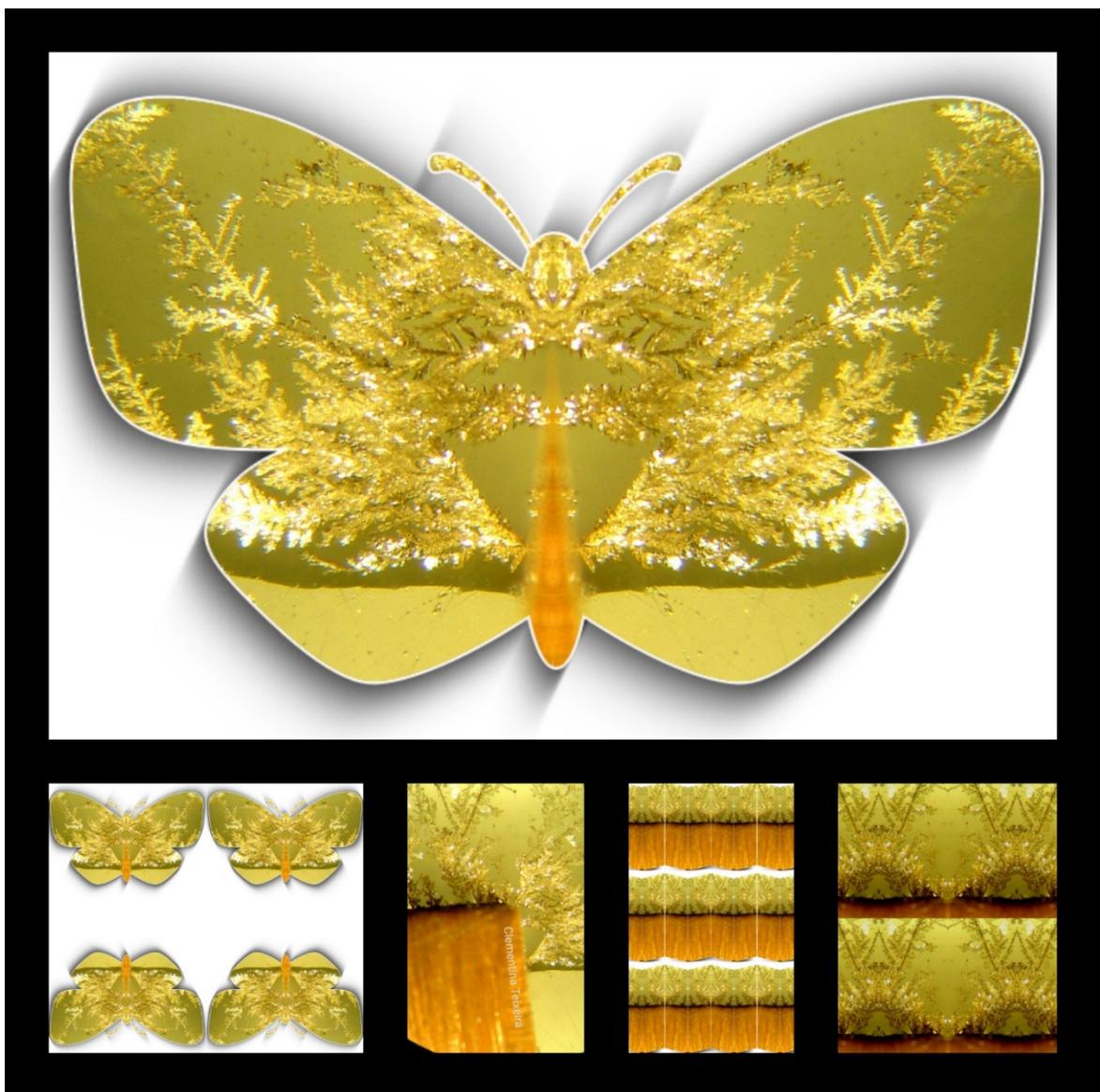
**Figura 53.** Botão de chamada para o gif/ vídeo de acetato de cobre monohidratado, em cima. Em baixo, padrões decorativos. A foto macro do cristalizador, visto de topo, foi o ponto de partida para construir os padrões.



**Figura 54.** Acetato de cobre monohidratado, padrões decorativos apresentados em placa de acrílico [20].

### Cristais dendríticos de prata e limpa-pratas com tioureia [13,16]

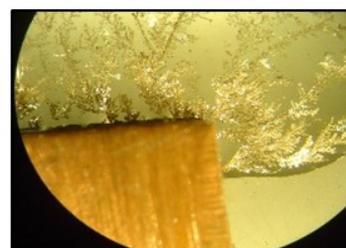
Os cristais dendríticos de prata (Arbores Diana, Diana's Trees, Árvores de Prata, designação que foi generalizada, originalmente dada para a reacção de amálgama de mercúrio com nitrato de prata) foram obtidos por reacção de nitrato de prata em solução (0.1 M) com uma placa de cobre, com observação à lupa estereoscópica. Os padrões foram obtidos por regras de simetria simples, reflexão e translação a partir das fotomicrografias, usados para formatar figuras e inseridos em colagens. Vêm exemplificados na Figs. 30, 31, 55-57. Estes cristais podem apresentar um brilho/cor dourada devido às condições de iluminação. Com luz fria apresentam o tom prateado, com luz incandescente, dourado. O videoclipe mostra essa versatilidade de cor ao mudar a iluminação para a mesma amostra, Fig. 56.



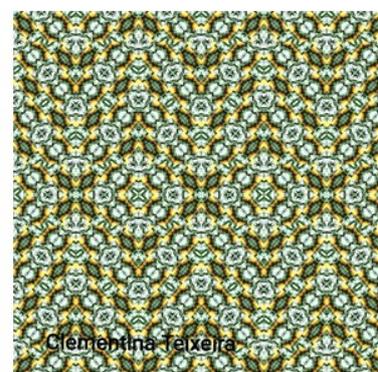
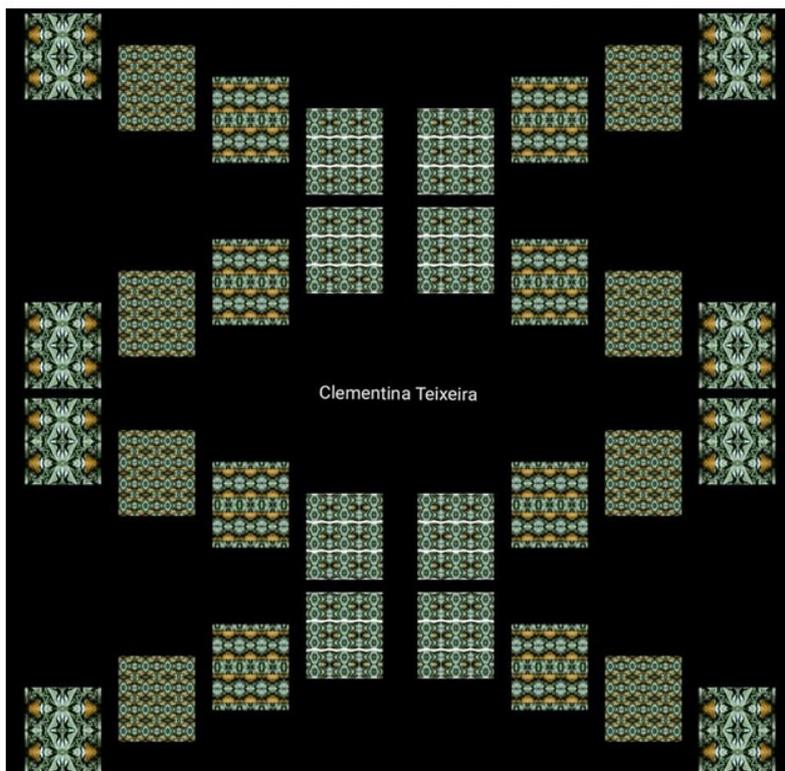
**Figura 55.** Grelhas ou colagens feitas a partir dos fractais de prata, aplicativos de colagem para smartphone.



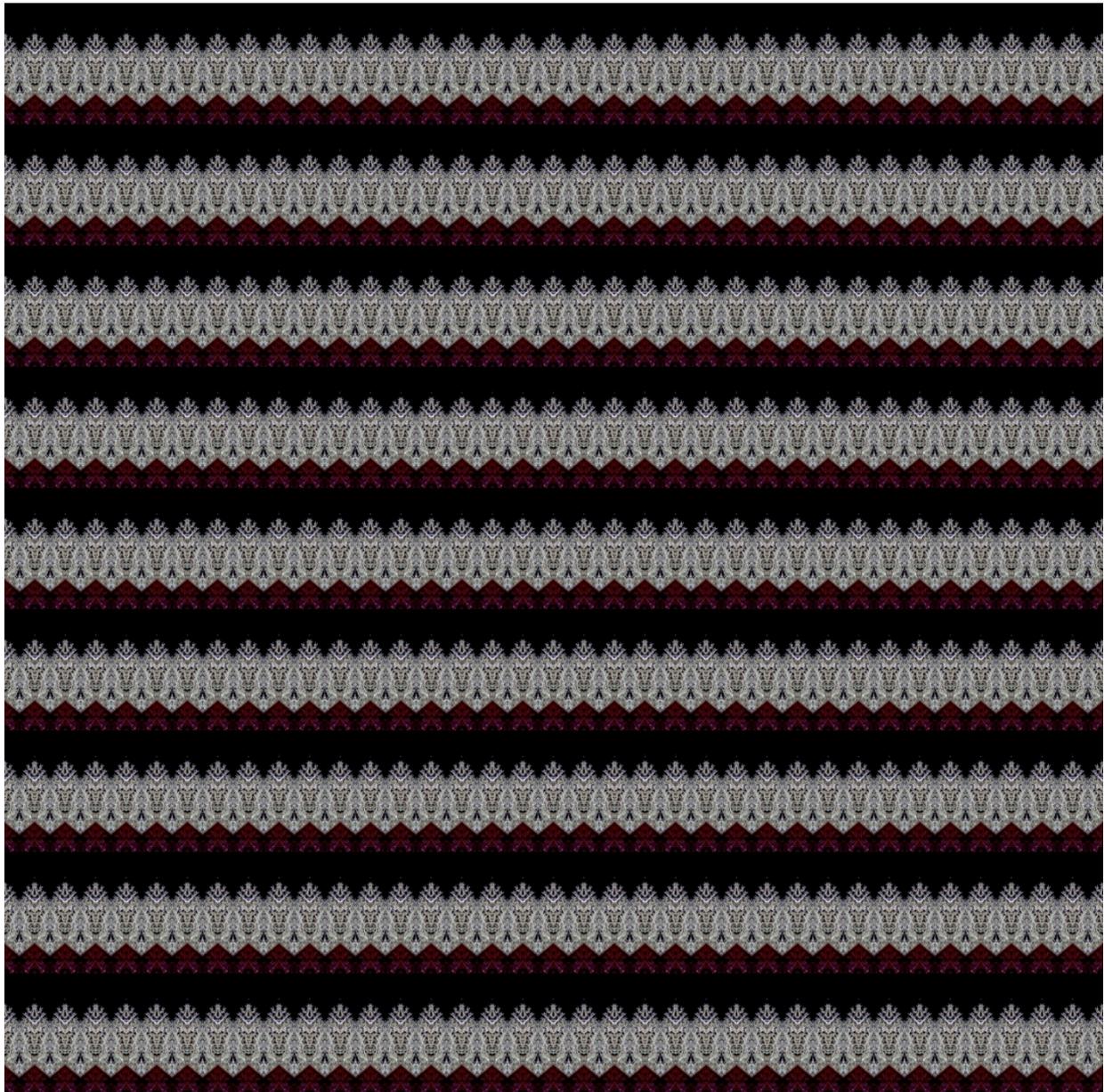
Placa de Cobre a reagir com nitrato de prata, lupa estereoscópica. O aspecto dourado dos fractais de prata resulta da iluminação usada na observação. Padrões.



### Padrões do Cubo rotativo



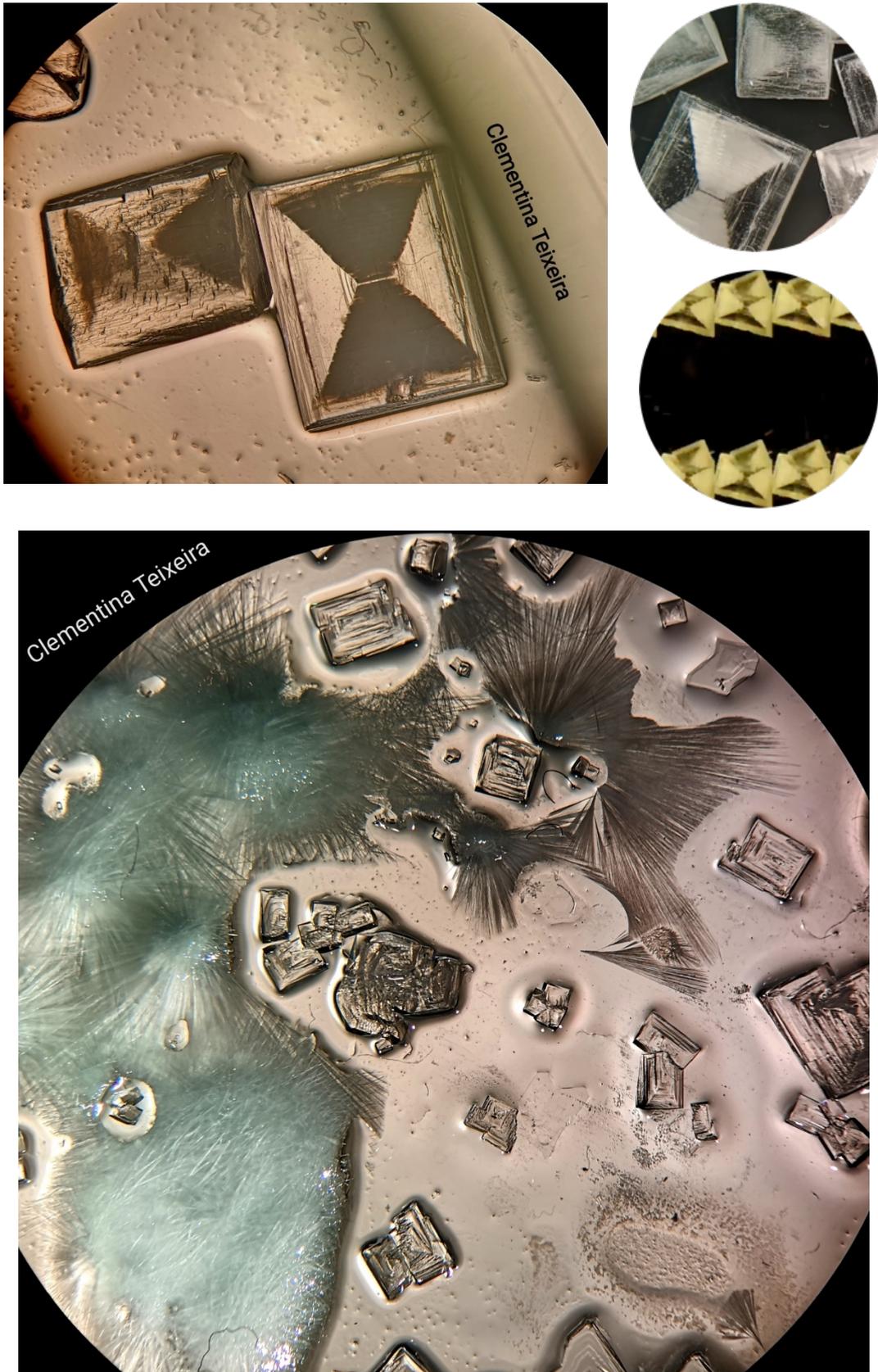
**Figura 56.** Cristais de prata à lupa estereoscópica, reação de deslocamento de metal. Observação à lupa estereoscópica, ampliação de 10x. Padrões decorativos, dois dos quais exibidos em cubo rotativo [16].



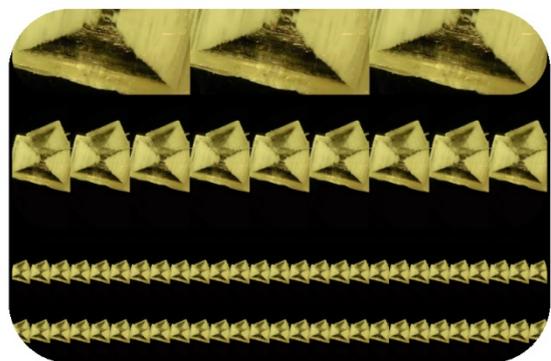
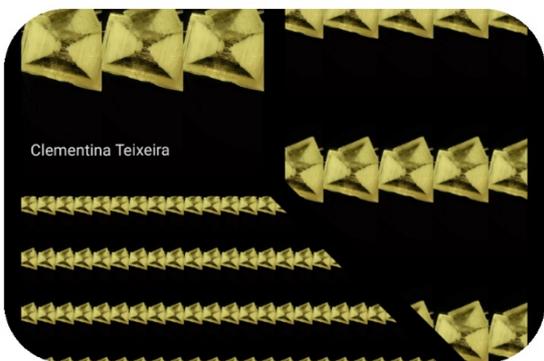
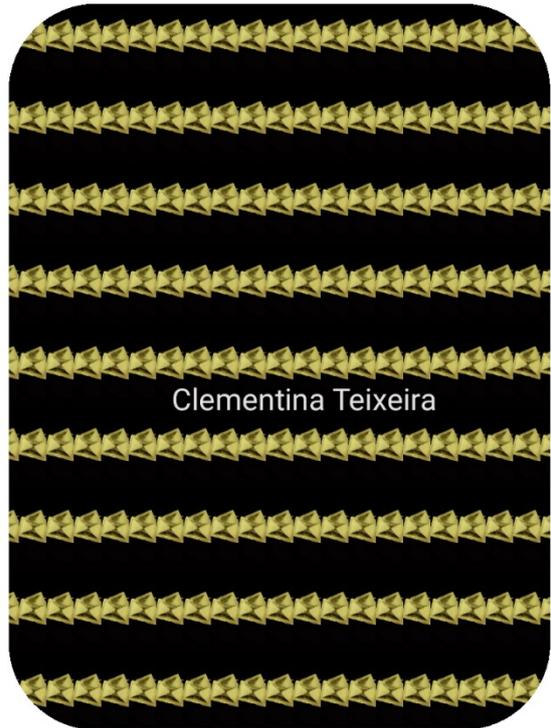
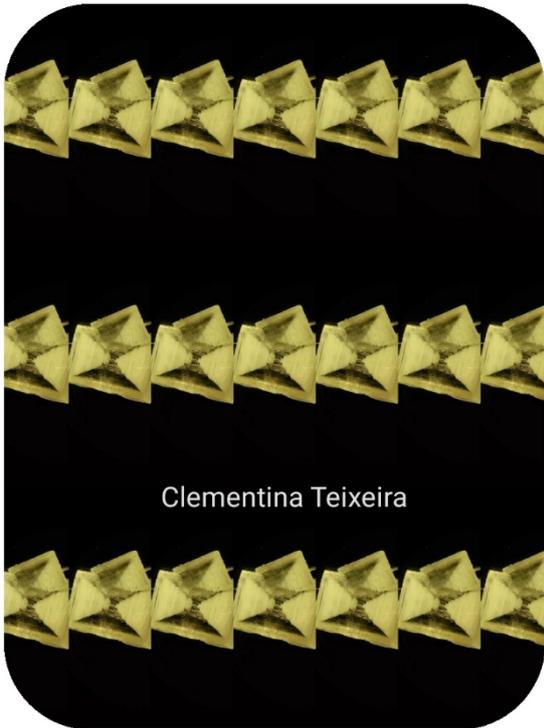
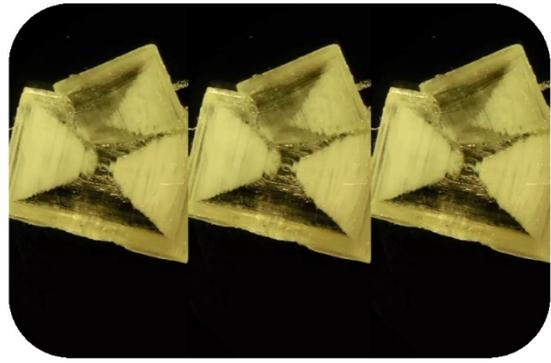
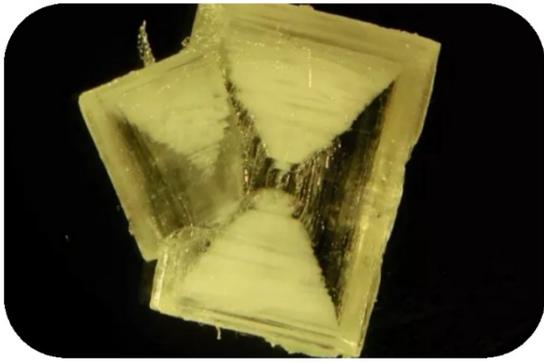
**Figura 57.** Padrão de fractais de prata, exibindo o seu brilho metálico [17]. Simetria de translação e reflexão.

O limpa-pratas é uma solução à base de tiourea [13], e os botões de chamada conduzem a uma cinematografia obtida pelo Pixalooop, e a um vídeo de cristais “hourglass”, ampulheta, Figs.58, 59.

Na vanguarda do que hoje se designa por cinematografia, estão os trabalhos de George RedHawk, DarkAngelone, um cego ameríndio que passou da Medicina para a Arte Digital. Desenvolveu um projecto designado por Motion Art, com gifs e morpchs de artistas famosos como é o caso da Arte Digital de Adam Martinakis, Antonio Mora, Tomasz Alan Kopera, Werner Hornung, etc. Hoje em dia tudo isso está à distância de um clique no sítio certo, com os aplicativos em constante desenvolvimento. Como sempre, destacam-se as aplicações do Photoshop!!



**Figura 58.** Micropaisagens fantásticas numa placa de Petri com limpaprata em solução, contendo tiourea. Cristais obtidos por evaporação isotérmica em repouso. Observação à lupa estereoscópica [13].



**Figura 59.** Padrões decorativos com cristais de limpa-pratas contendo tioureia. Cristal preparado por Gonçalo Santos [13]. Opções de grelha e colagens, aplicações para telemóvel.

### Observação de pedras de ourivesaria à lupa estereoscópica e padrões decorativos

Os Ourives do Século XXI, O Microscópio Descobre a Prata e o Microscópio vai ao Baú, são actividades da Exposição Artesãos do Século XXI [9] lançadas com grande êxito em 2009. A observação de jóias, bijuteria e antiguidades faz sempre enorme sucesso e é aí que se incluem a observação de pedras usadas em ourivesaria, para imitar as pedras preciosas. Em vidro e em acrílico, muitas delas com corantes fluorescentes incorporados, fazem sempre um sucesso estrondoso, com o público a levar as suas próprias peças para as ver ampliadas e até para as limpar. Recomenda-se a leitura de vários Capítulos do Livro dos Laboratórios Abertos 2021 on line, com vários Capítulos também disponíveis na Reserchgate [23-26], onde este assunto vem documentado, para a prata, ouro, ligas metálicas, zircónias e pedras de ourivesaria. A partir das fotomicrografias foram feitos os padrões e o videoclipe a que nos conduz o botão de chamada da Fig. 60. Na Fig. 61, um quadro de jóias e fotomicrografias, incluindo também amostras fluorescentes. Estas últimas experiências de fluorescência foram realizadas nos Laboratórios Abertos do DEQ em 2005 e 2009 (Mafalda Lancinha e Marta Smith).

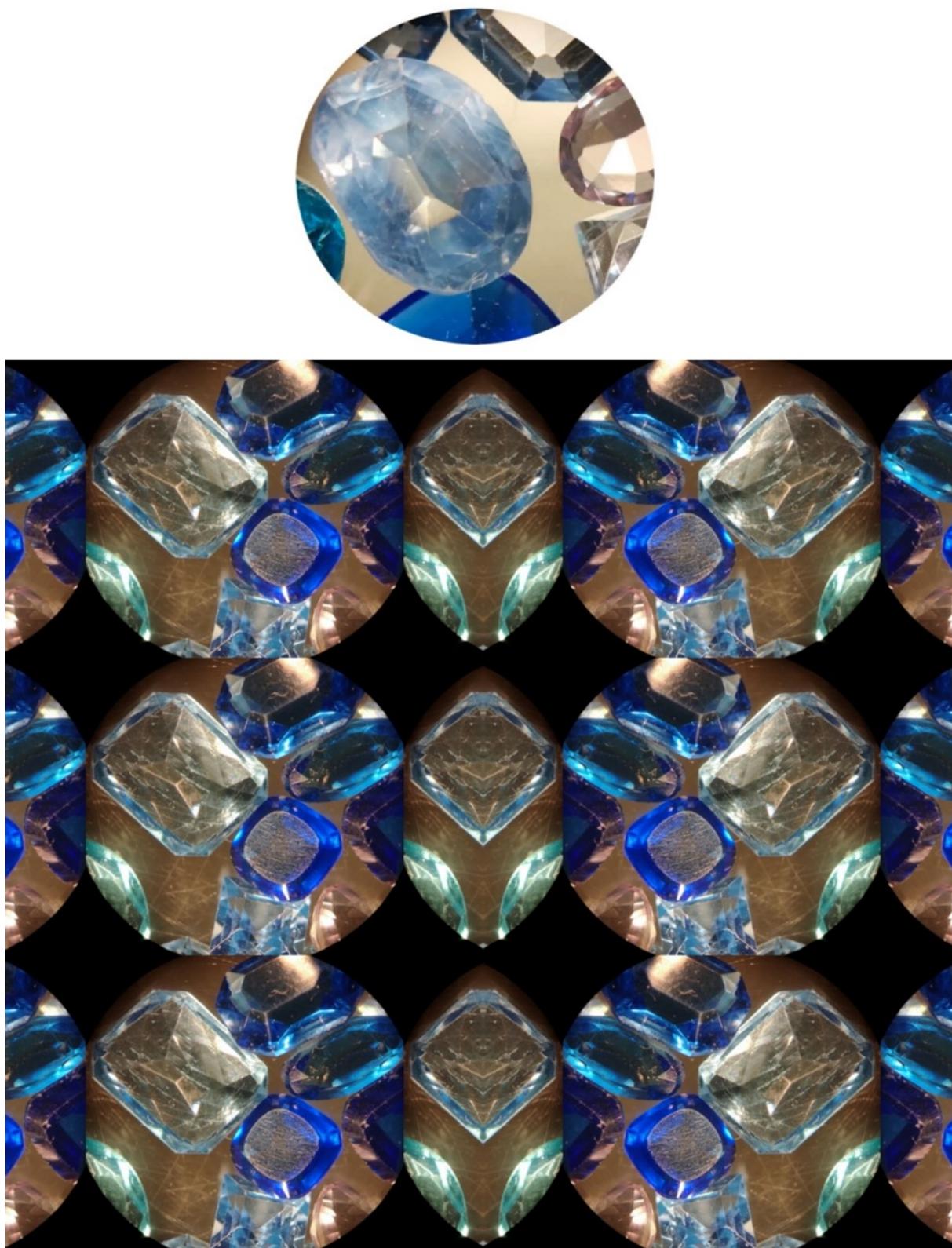
### O Sistema Modular de Origami

Os padrões decorativos impressos em papel têm sido expostos em vários eventos: dobragem de livros, flores de papel, origamis diversos com imensos padrões de Ciências [15-17]. Nas Figs. 62, 63 os botões de chamada conduzem a um vídeo clipe e a uma cinemagrafia. As duas imagens da Fig. 35 ilustram a exposição feita em Penamacor no Agrupamento de Escolas de Ribeiro Sanches.

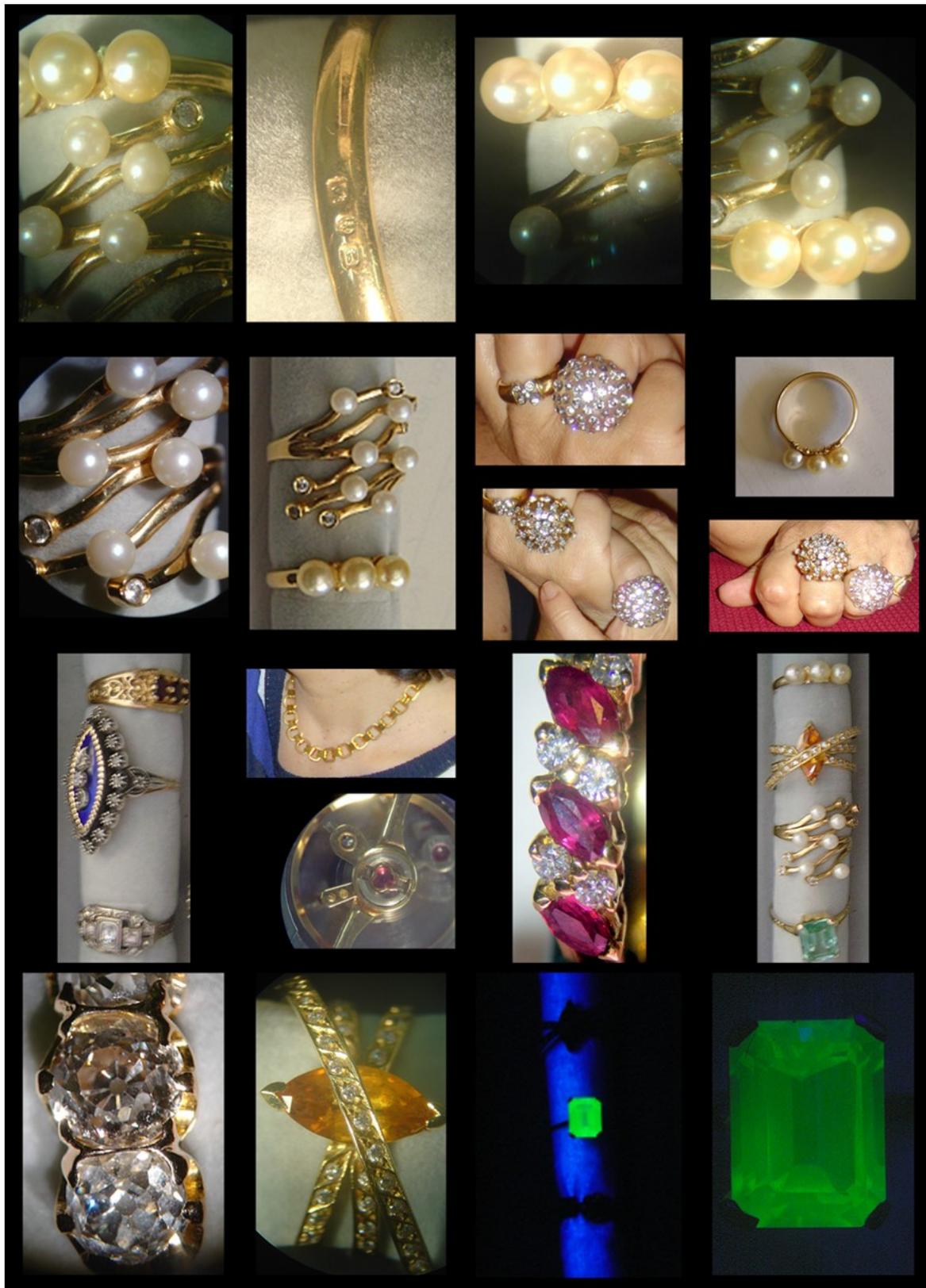
### Cristais de Sulfato de Amónio com Corante Alimentar Sunset Yellow

Clementina Teixeira, David Fernandez Pinilla, Henrique Matos, Cristina Fernandes

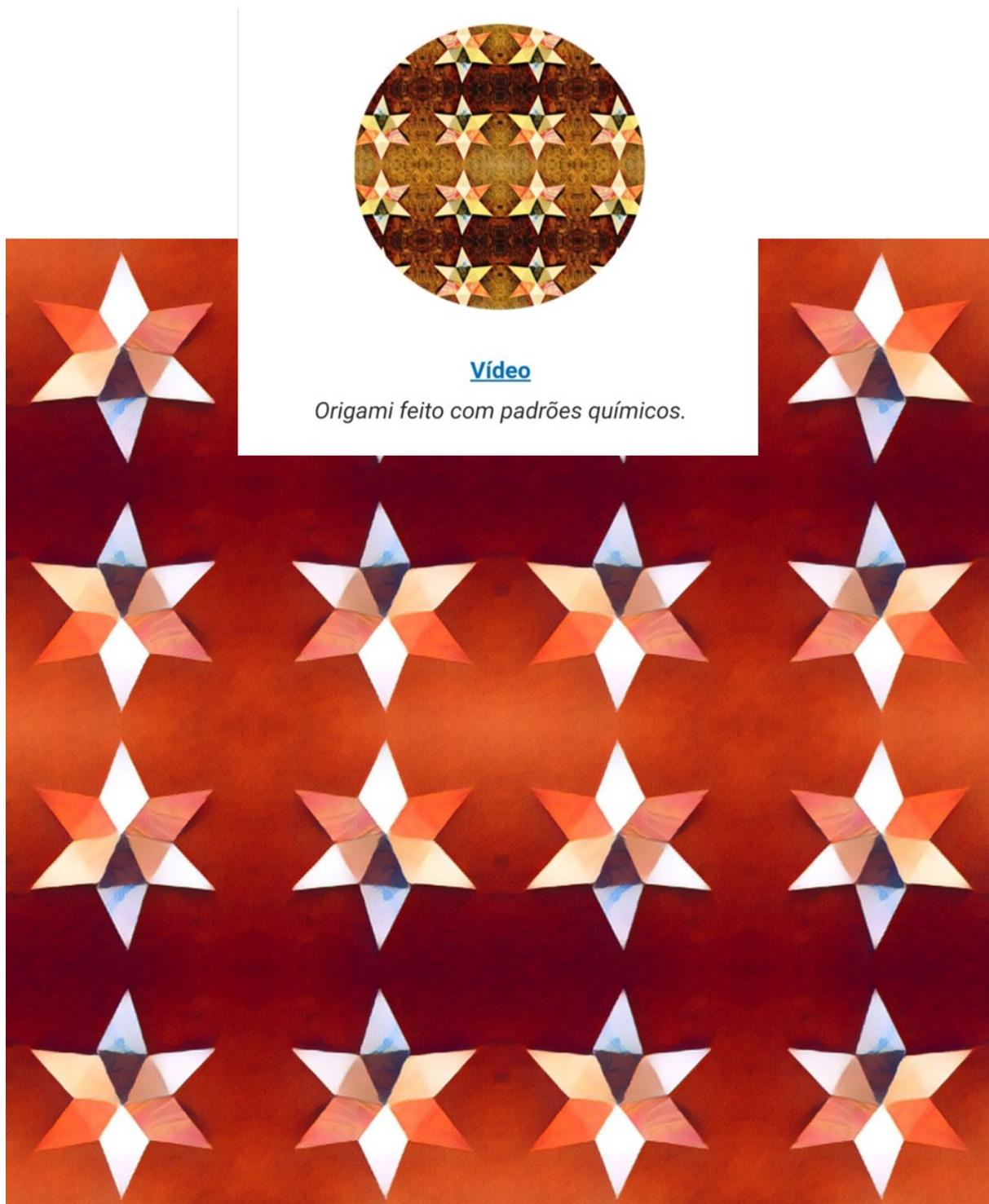
Este projecto, designado por Projecto Pinilla, foi iniciado em 2002 nas aulas de Laboratório do Departamento de Engenharia Química do IST. Baseia-se no estudo da oclusão de corantes alimentares em sais iónicos incolores cristalizados a partir de soluções aquosas sobressaturadas, por evaporação isotérmica [27]. Nesta exposição apenas se apresenta o resultado final para o sulfato de amónio com corante amarelo-ovo, dado que será feita uma publicação mais desenvolvida que transcende os objectivos deste texto. O cristalizador foi descoberto em 2019, bem preservado, revelando cristais coloridos muito interessantes. A partir das fotomicrografias foram construídos os padrões decorativos que se incluem, com os botões de chamada, nas Figs. 64 – 67, vídeo e gifs.



**Figura 60.** Observação de pedras de ourivesaria à lupa estereoscópica, botão de chamada para o vídeo e padrão de simetria.



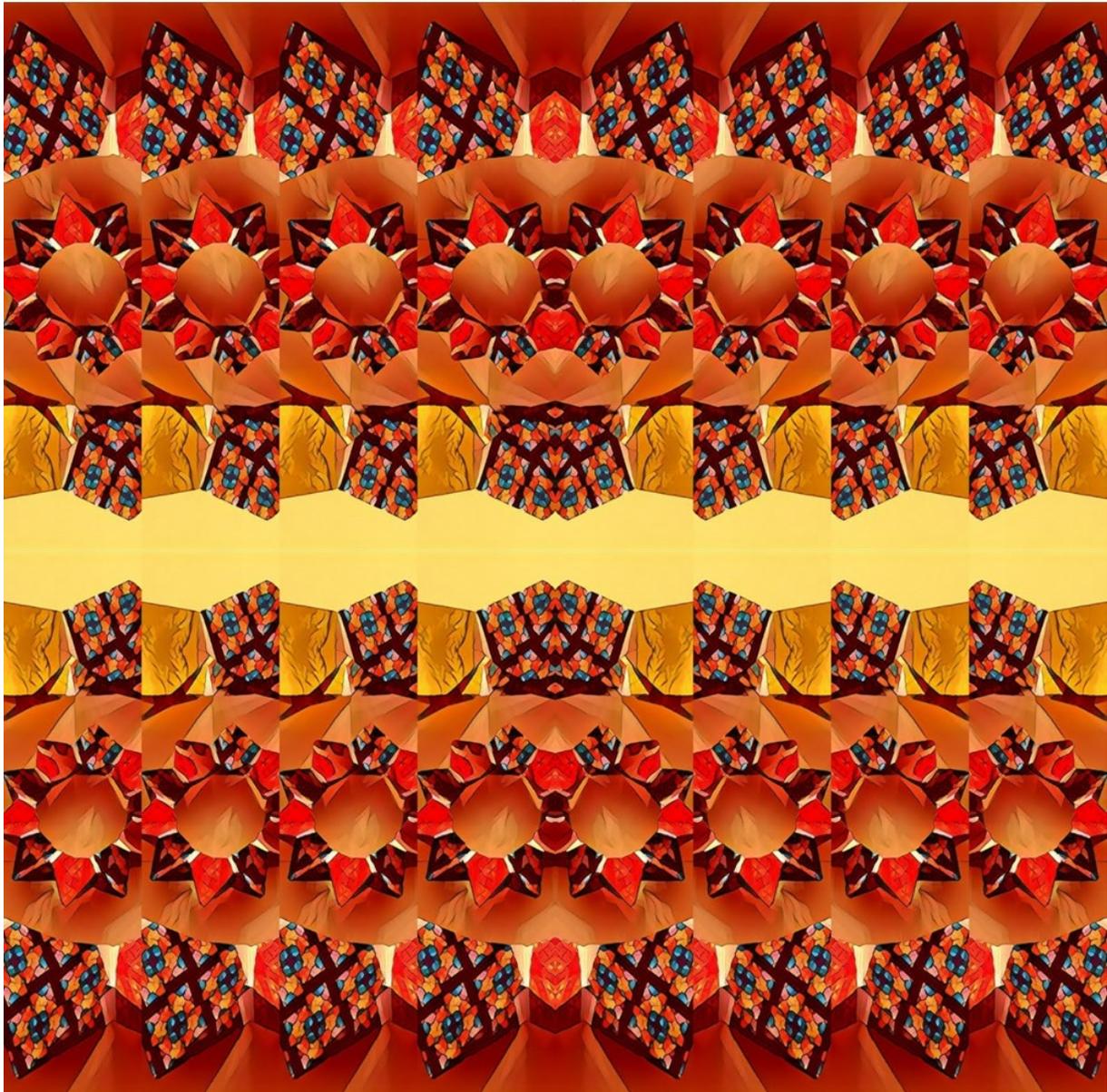
**Figura 61.** Ourives do Século XXI, joalheria e ourivesaria. Observação à lupa estereoscópica. Fluorescência de pedras sintéticas e gemas.



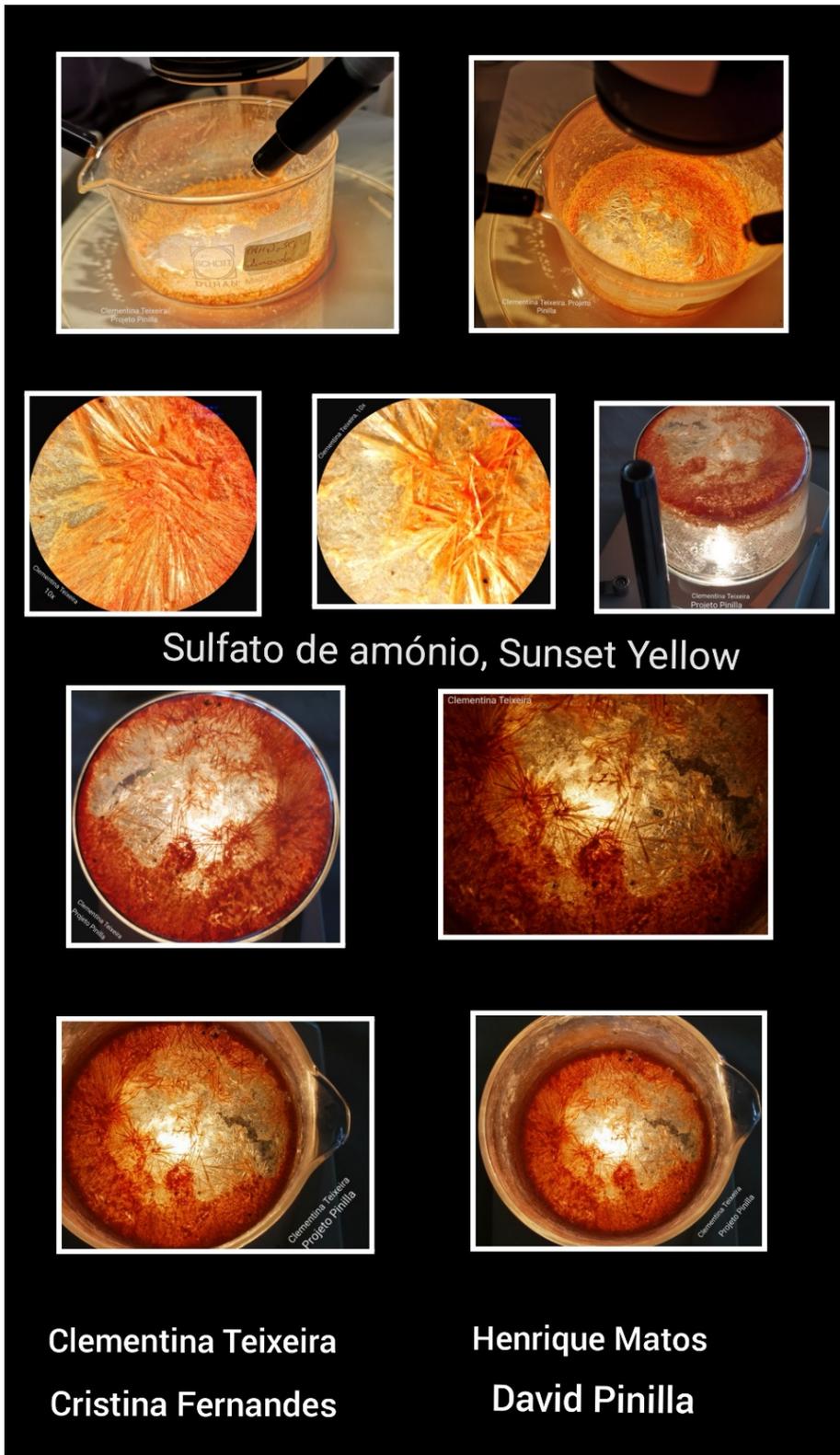
**Figura 62.** Estrela de seis pontas em origami feito com papel impresso com padrões decorativos de Ciência. Botão de chamada e padrão com um filtro de efeitos artísticos do Prisma. A edição do vídeo foi feita pelo editor do smartphone Huawei [15-17].



Video



**Figura 63.** Botão de chamada para uma cinemagrafia (Pixaloo) de um padrão decorativo feito a partir de coroas de origami. Padrões de guarda-chuvas e de fractais de prata. Efeitos artísticos do Prisma [15-17].

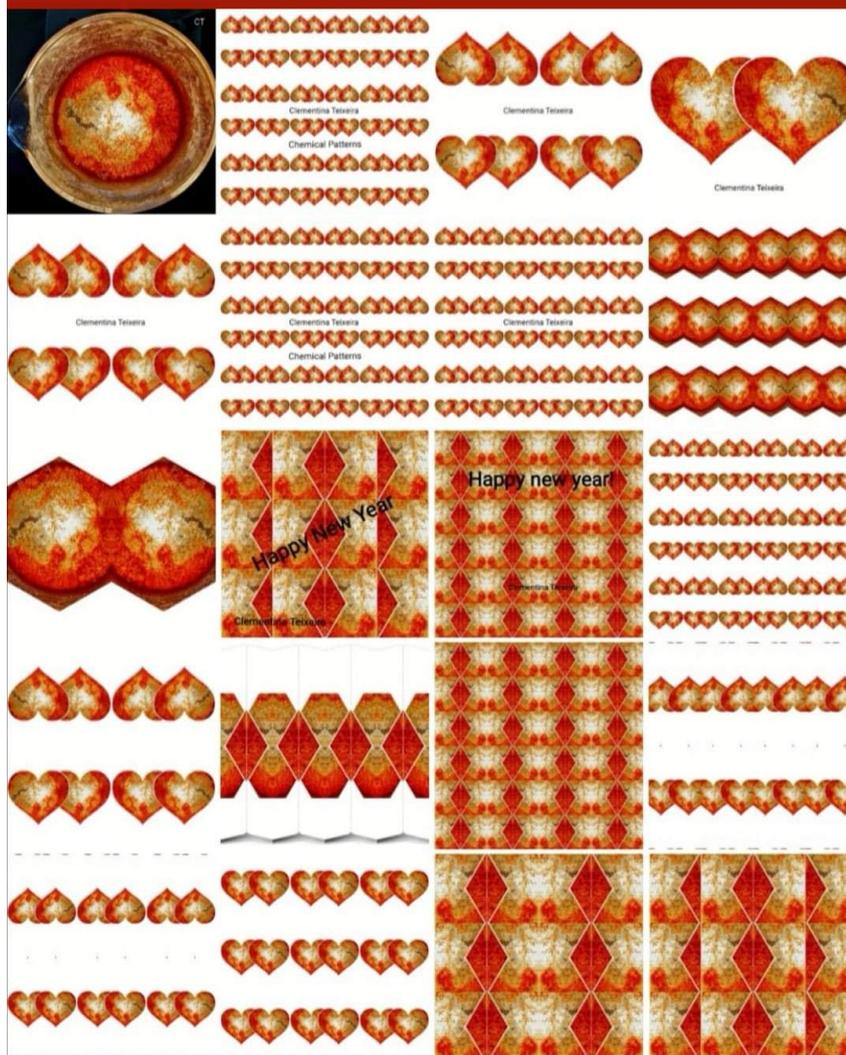


**Figura 64.** A primeira foto representa o cristalizador a ser observado à lupa estereoscópica, com duas fotomicrografias de ampliação 10x. Na quinta imagem o cristalizador, invertido, foi colocado sobre a base diascópica de uma lupa estereoscópica escolar. As quatro imagens seguintes são fotos macro, tiradas com telemóvel. Na exposição estes resultados foram apresentados em formato gif, as quatro primeiras imagens.



**Figura 65.** Amostra do sulfato de amônio colorido em cristalizador, ao centro. Padrões decorativos em placas de acrílico, em baixo, apresentados em gif. Botão de chamada para os padrões em vídeo, em cima. Preparação de David Pinilla, 2002. Fotos e padrões de 2019 (Clementina Teixeira).

# É só sulfato de amônio com corante

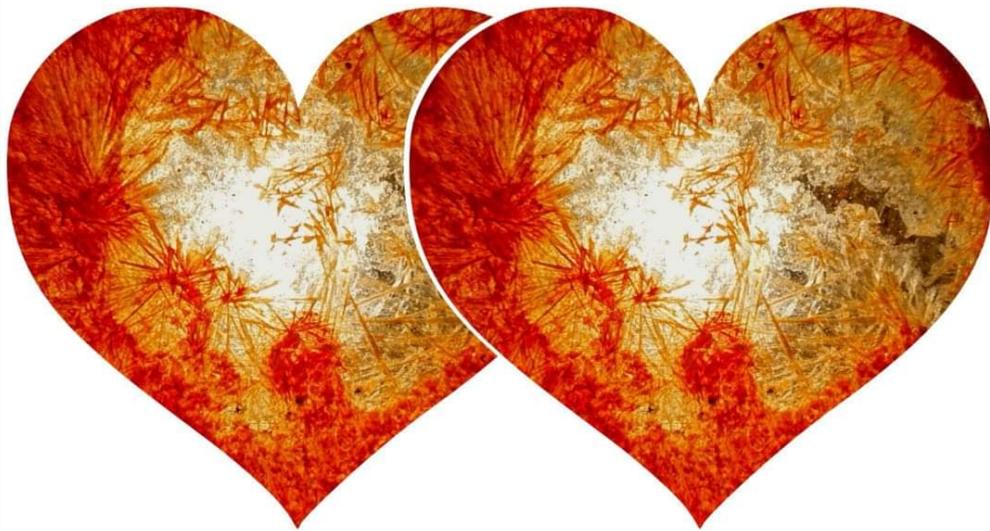


# Os meus padrões de cristais

**Figura 66.** Colectânea de padrões apresentados em placas de acrílico e cubos rotativos para o mesmo composto, apresentados em exposições e nas redes sociais.

# Crystals and Dyes

## Pinilla Project



Clementina Teixeira

# Chemical Patterns

**Figura 67.** Amostra do sulfato de amónio colorido em cristalizador, formação de figuras. O título é “Corazón Espinado”, fazendo alusão à música de Carlos Santana. E ainda, um poema muito conhecido de Afonso Cruz [28].

*Aprendi na escola que o coração é um músculo.  
Carne, no fundo. Não queria acreditar,  
pois sempre pensei que o coração  
fosse feito de pensamentos.  
Ou até recordações. Poderia inclusive acreditar  
que é feito de fotografias antigas  
ou de bolachas ou de um passo de dança  
ou de uma daquelas tardes que duas pessoas acendem  
quando dizem duas palavras ao mesmo tempo.  
Porém, talvez faça sentido,  
isso de o coração  
ser feito de carne.  
Explica muita coisa.  
Alguns corações, tenho a certeza,  
até terão osso.*

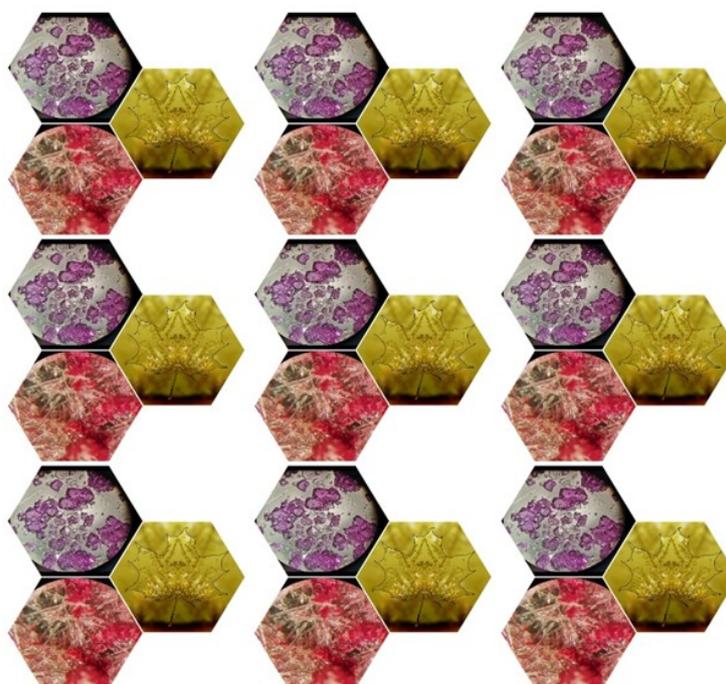
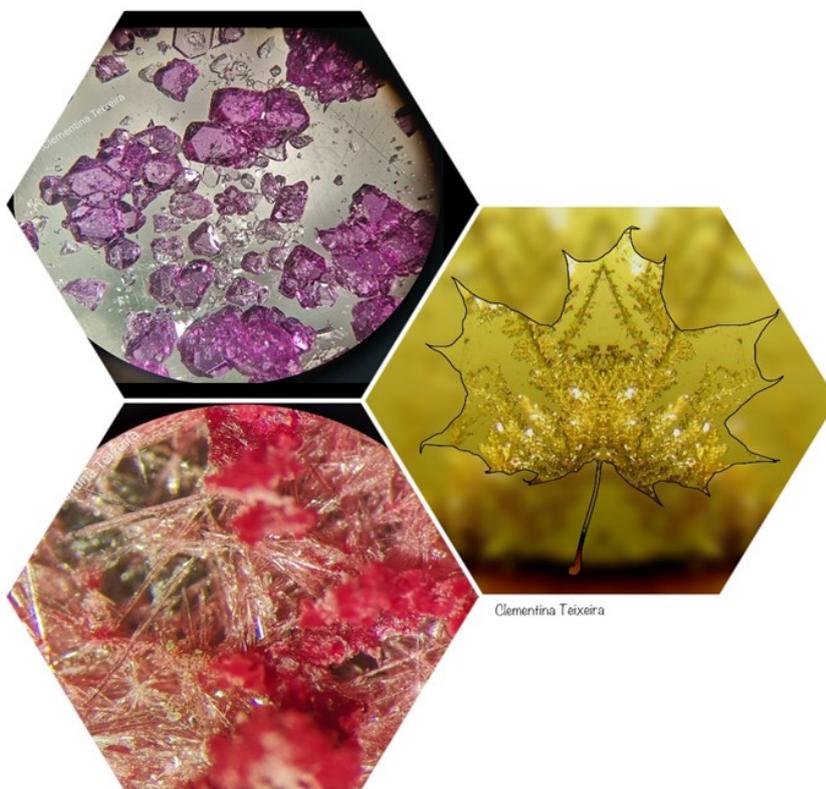
Poema de Afonso Cruz, Carne [28]

### Cristais e Redes Cristalinas 3D na Exposição Virtual. Padrões Decorativos.

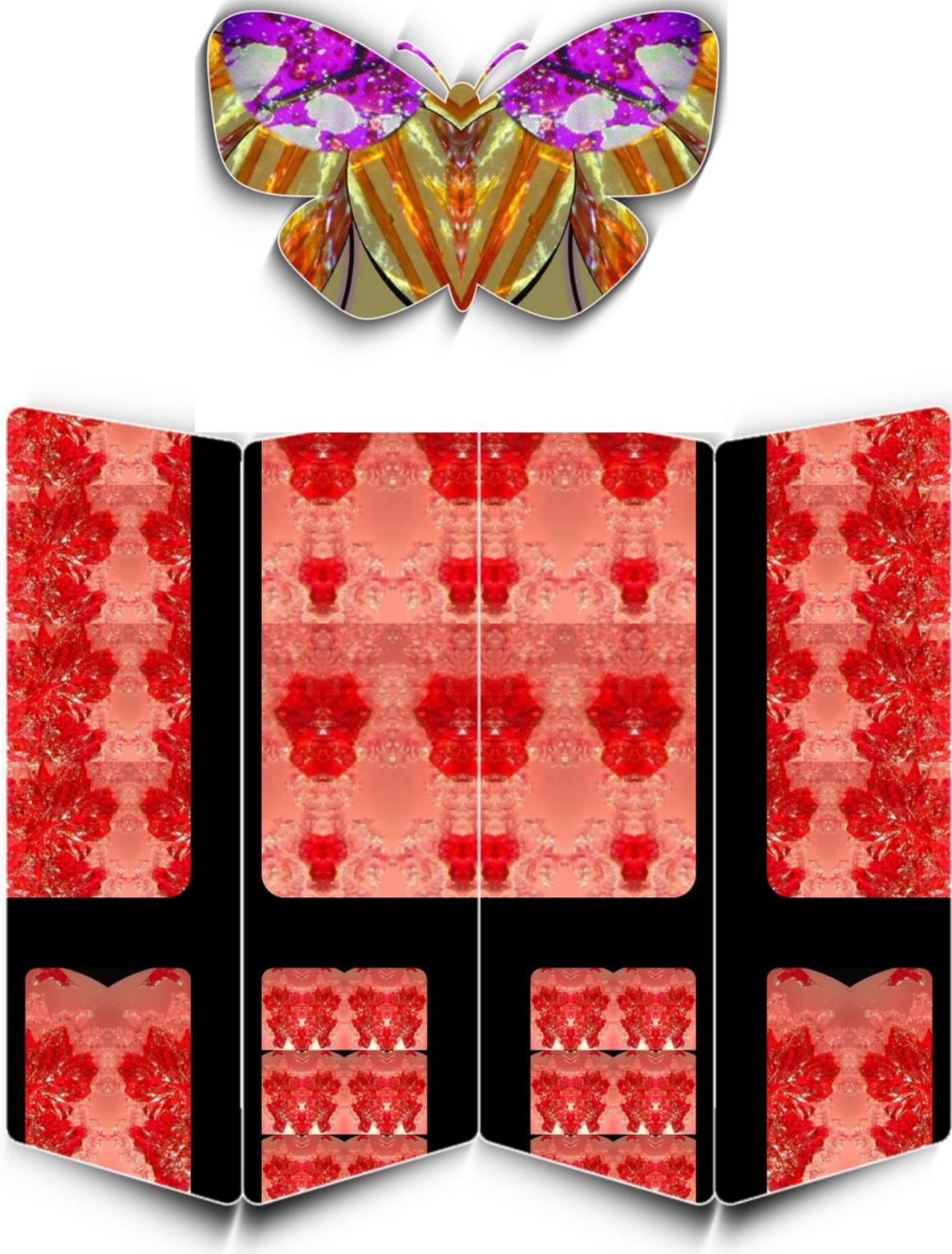
O último vídeo leva-nos a uma visita ao final dos Laboratórios Abertos 2020, imediatamente antes do início da pandemia, com a exposição e observação à lupa estereoscópica de cristais químicos que agora se vai repetir [29]. Remete-se o leitor para a bibliografia, na qual terá mais informações sobre os cristais “On the Rocks”, as suas redes cristalinas rigorosas, “Beavers Miniature Models” e também uma pequena visita à Exposição patente no Complexo Interdisciplinar que, na altura, continha mais amostras e trabalhos, Figs. 68. Alguns padrões decorativos e a sua descrição sumária encontram-se publicadas no Livro dos Laboratórios Abertos 2021 [29]. Os cubos rotativos e as placas de acrílico têm sido integrados em várias exposições, Figs. 68-75.



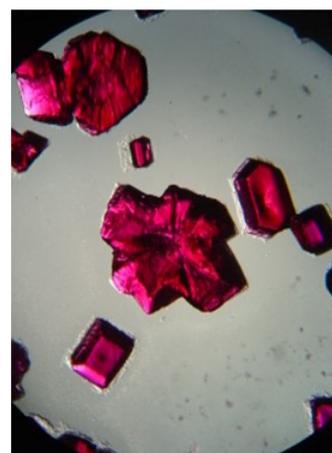
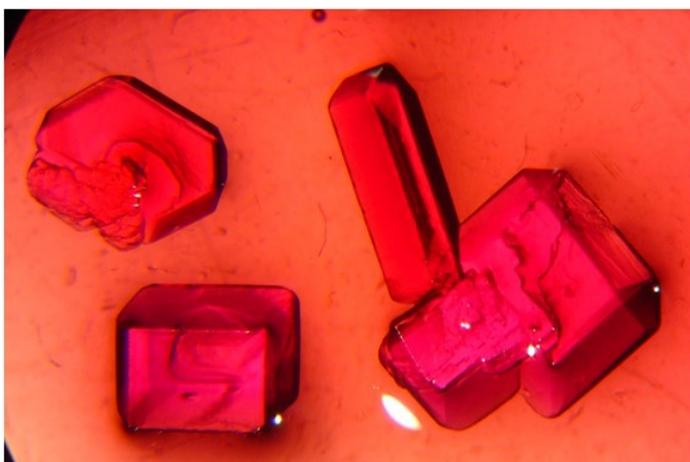
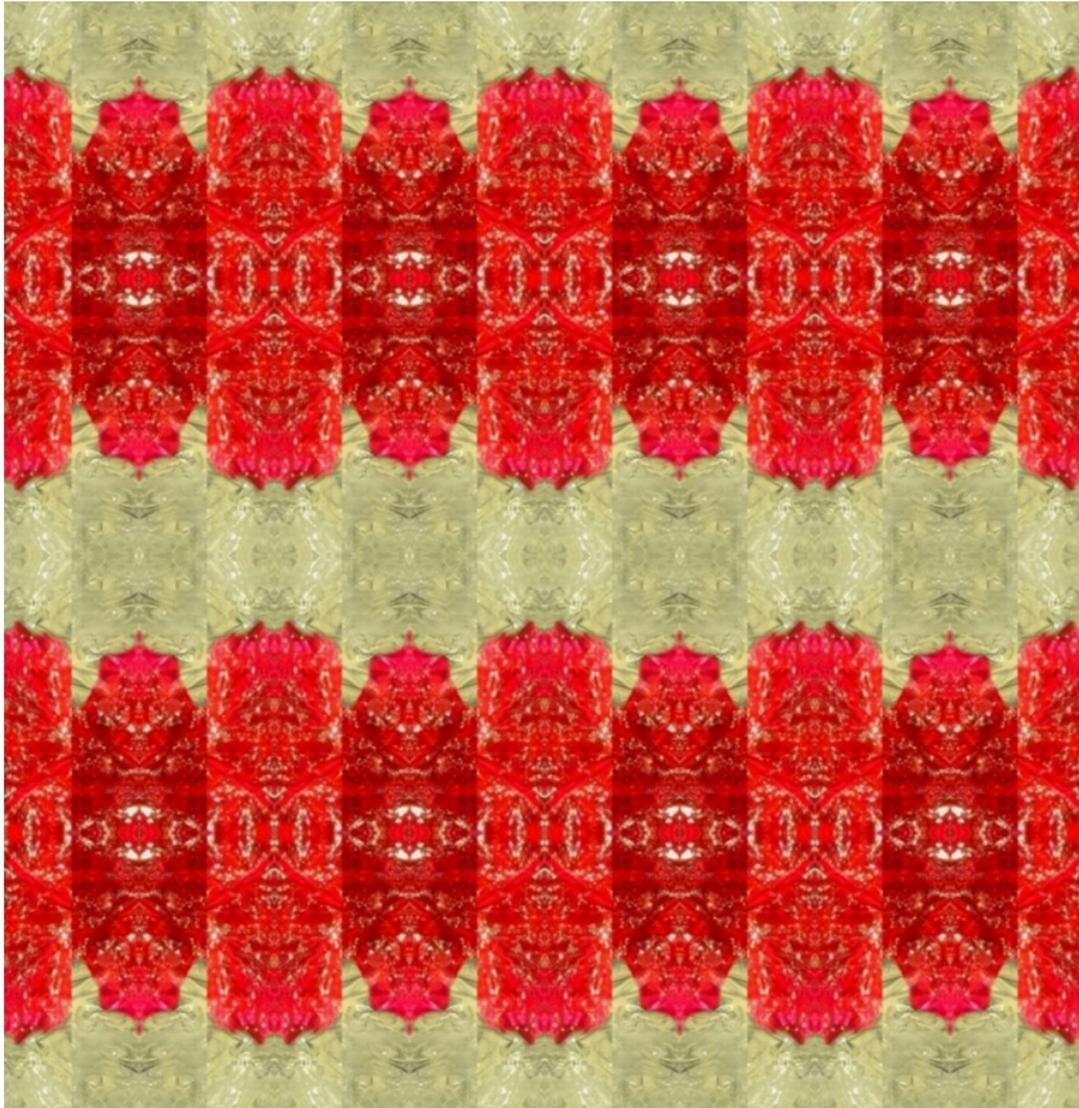
**Figura 68.** Em cima, botão de chamada que conduz a um vídeo do final dos Laboratórios Abertos 2020, Cristais 3D e Exposição. Em baixo, um padrão decorativo alusivo a uma placa de Petri com muita Química: reação de ácido-base  $\text{HCl} + \text{NaOH}$  em presença de indicador universal de pH; cristais de solução sólida de alúmenes, as falsas ametistas; cristais de cromato de potássio, amarelos.



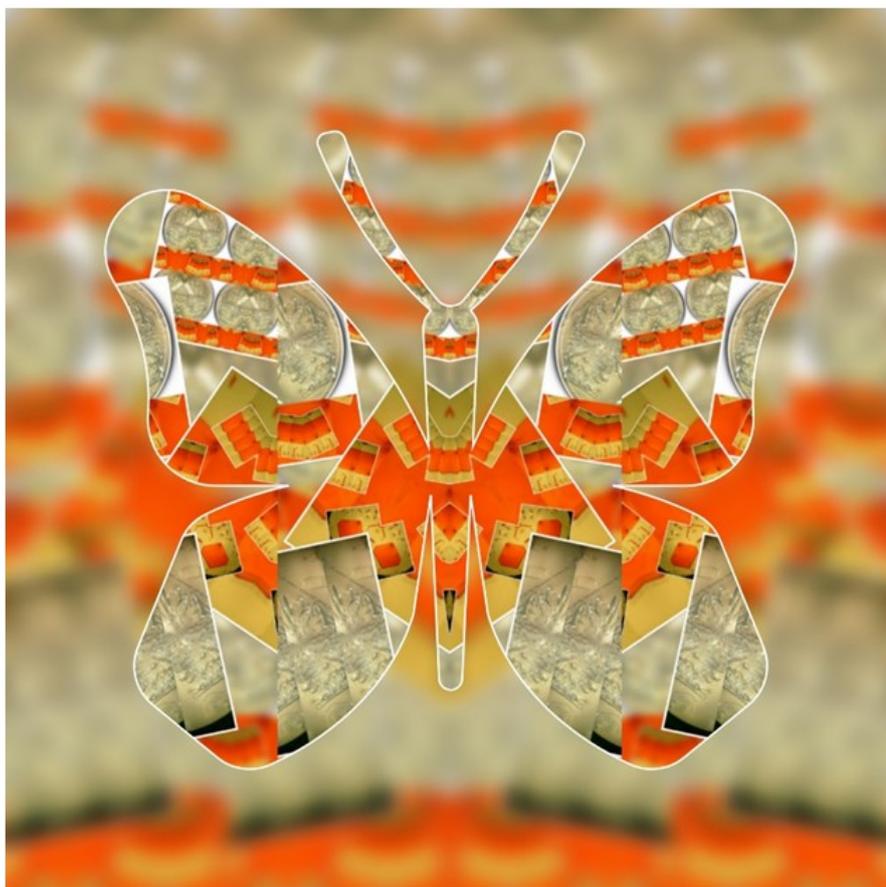
**Figura 69.** Cristais de solução sólida de alumínio de potássio e alumínio de cromo, as falsas ametistas, violeta; cristais dendríticos de prata, dourados; oclusão de corante alimentar Amaranthe em sulfato de potássio.



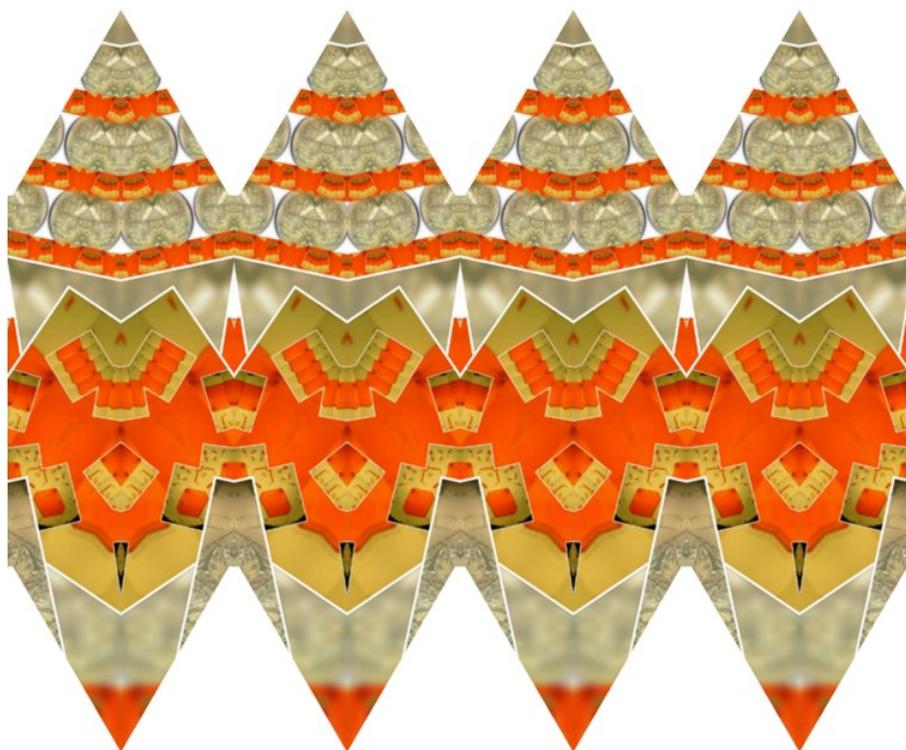
**Figura 70.** Uma borboleta formatada com permanganato de potássio, cristais e solução, e cristais de ferricianeto de potássio, retirados de um outro padrão decorativo. Em baixo, um biombo enfeitado com cristais de cloreto de cobalto hexa-hidratado, Fig. 71, em baixo. Padrões exibidos em placas de acrílico.



**Figura 71.** Padrão de ácido tartárico e cloreto de cobalto hexahidratado, lupa estereoscópica, simetrias de reflexão e translação. Uma série exibida em cubos rotativos. Os cristais de cloreto de cobalto apresentam cor vermelha, mas em geral têm um tom mais violeta: a cor varia um pouco com a iluminação da lupa. Ampliação de 10x.

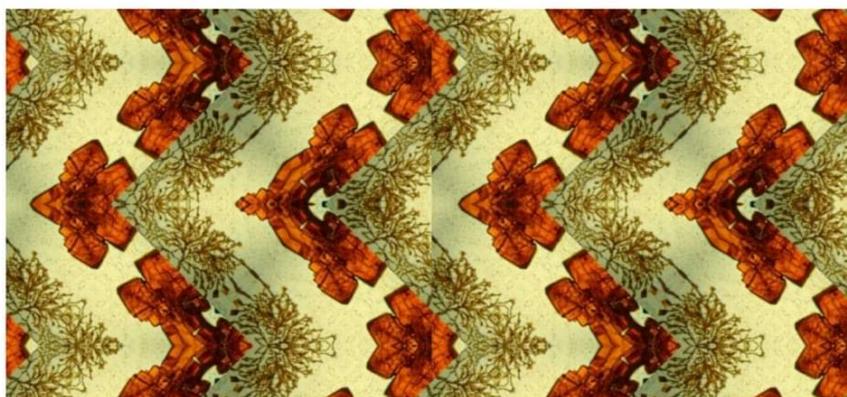


**Figura 72.** Padrões de ferricianeto de potássio, cristais em placa de Petri, solução e cristais de ácido tartárico. Exibidos em placas de acrílico.

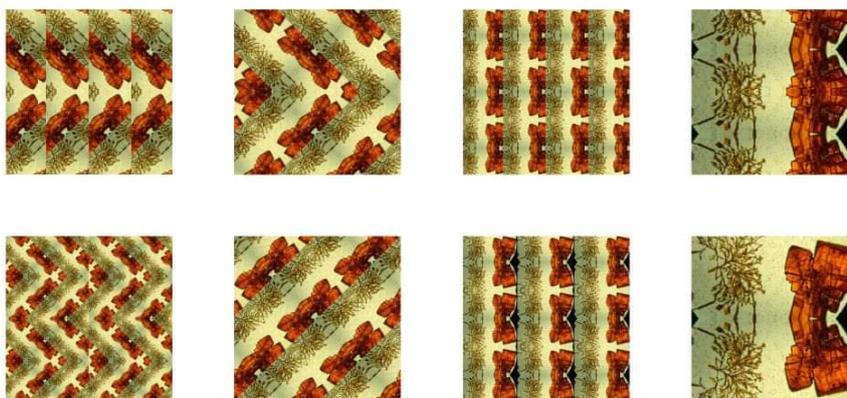


**Figura 73.** Padrões de ferricianeto de potássio, cristais em placa de Petri, solução e cristais de ácido tartárico. A primeira imagem tem o título “Os Lápis”.

# E este é de quê?



Clementina Teixeira



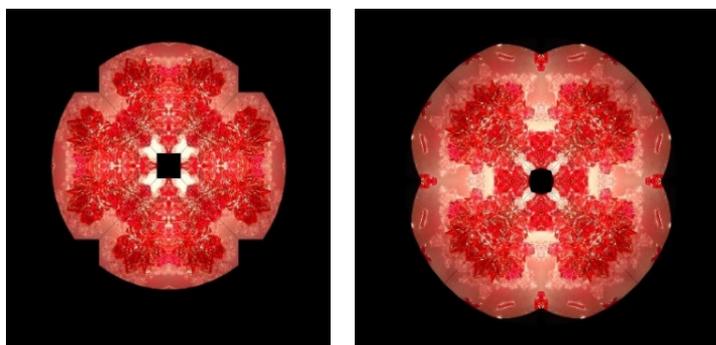
**Figura 74.** Padrões de cristais de dicromato de potássio observados à lupa estereoscópica. Puzzles para as redes sociais, grupos de Química. Cristais preparados em placa de Petri por Gonçalo Santos.



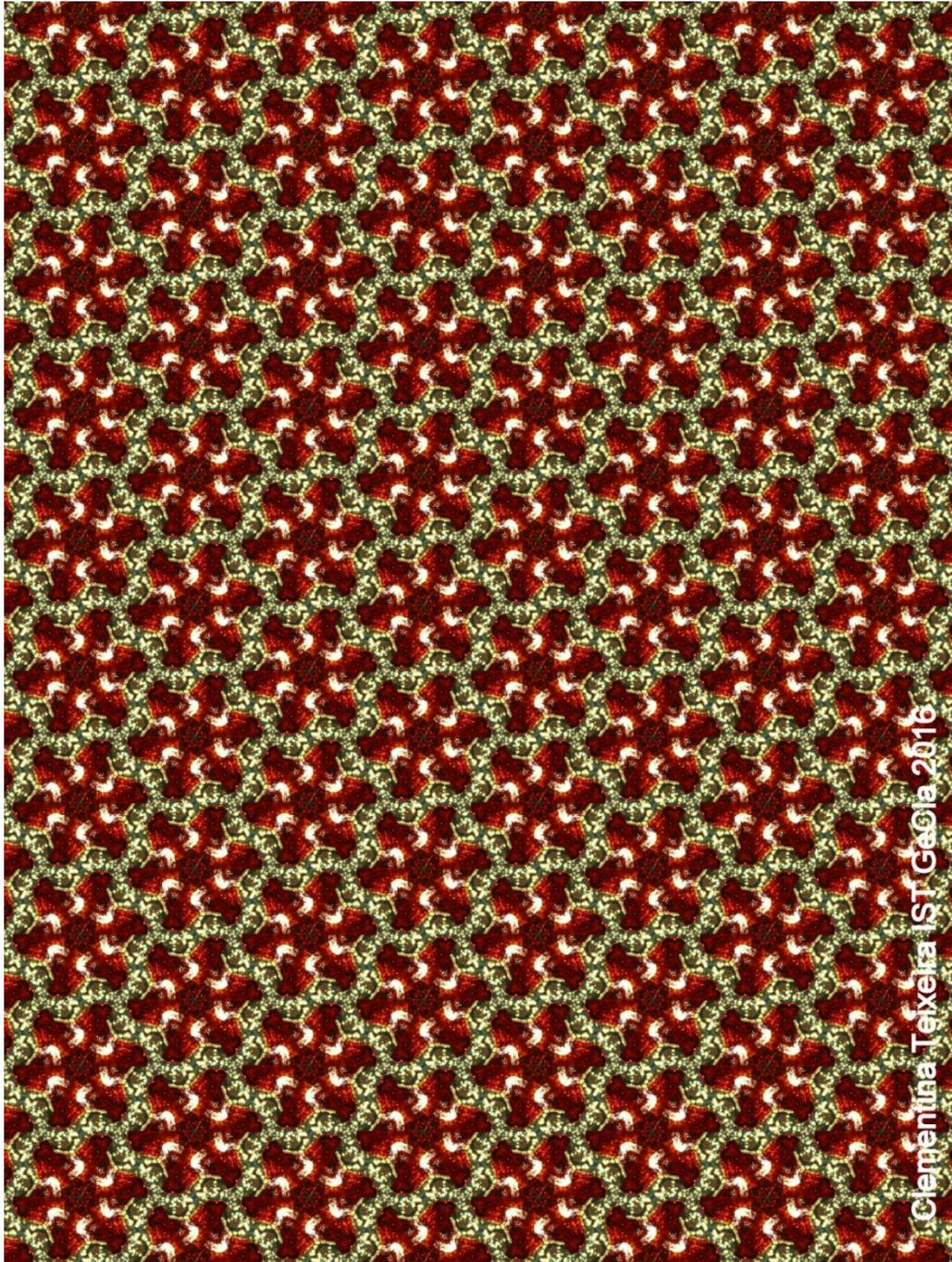
**Figura 75.** Exposição na Biblioteca do Agrupamento de Escolas de Penamacor, origamis com padrões químicos e outros, ligados ao Estudo do Meio. Placas de acrílico com padrões e alguns em cubos rotativos [15-17].

## Programa GeCla, Gerador e Classificador de Simetrias. Padrões Decorativos.

O design de padrões decorativos começou por ser feito com recurso ao Power Point, Picasa e Photoshop. Passou-se depois a usar o programa GeCla [11], muito completo ao nível didático, para construir/classificar frisos, rosáceas, pavimentações do plano, grupos de simetria no plano, etc. Utiliza-se um cursor poligonal de forma variável (conjunto de espelhos virtuais) que permite escolher o motivo: a fotografia ou uma sua fracção, a partir da qual o padrão, friso ou rosácea são construídos. Dá acesso às operações de simetria (rotação, reflexão, translação, reflexão deslizante) e classificação do padrão final. É de acesso livre, desde que para fins não lucrativos, auto-explicativo, sendo utilizado sobretudo ao nível do ensino da Matemática. A versão GeCla Mini é mais rudimentar e pode ser usada no ensino básico. Foram criados padrões de cristais, reações químicas, mas também de plantas, nomeadamente o dente-de-leão, as papoilas, capuchinhas, cravos e muitas outras que podem ter ligação à Química, devido à sua utilização em fármacos, medicina e indústria: o dente de leão, por exemplo, é utilizado na preparação de medicamentos e no fabrico de borracha para pneus, Taraxagum®; o óleo de borragem é um suplemento medicinal; as papoilas estão ligadas à extração do ópio, etc. Com o desenvolvimento das aplicações de inteligência artificial, desenhadas para telemóvel, o GeCla passou para segundo plano, por falta de tempo, integração no ensino da Química e à espera de colaborações de matemáticos que possam agilizar o seu uso. Nesta exposição salientam-se os padrões de fractais de prata, limpa-pratas, objectos de prata, ferricianeto de potássio, sulfato de cobre penta-hidratado, acetato de cobalto tetra-hidratado, cloreto de cobalto hexa-hidratado, reação HCl+ NaOH na presença de indicador universal de pH, permanganato de potássio, reação do magnésio com água na presença de fenolftaleína, etc. que podem ser vistos nas próximas figuras. Estes padrões foram impressos em papel para a montagem de origamis [15-17]. Também se fizeram padrões de guarda-chuvas relativos ao Umbrella Sky Project, de Águeda, os quais foram ligados a origamis de guarda-chuvas e cinemagrafias [30]. Alguns diagramas explicativos podem ser encontrados no Facebook [31].



**Figura 76.** Rosáceas de cristais de cloreto de cobalto hexa-hidratado observados à lupa estereoscópica. Podem ser feitas pelo GeCla Mini e são acessíveis para o ensino básico. Este tipo de trabalho pode também ser facilmente feito em PowerPoint, usando a formatação de imagem de reflexão, inverter na horizontal e na vertical, e unindo as várias figuras.

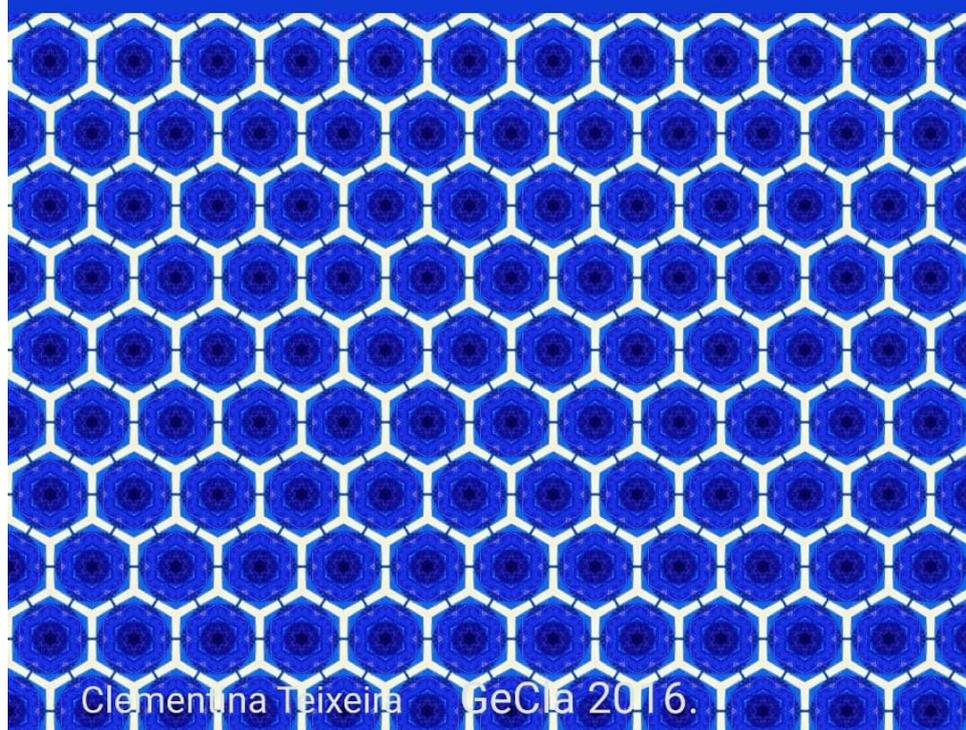


**Figura 77.** Padrão p6 e friso GeCl<sub>4</sub> de uma mistura de cristais de ferricianeto de potássio e cloreto férrico hexahidratado. As fotomicrografias originais e os esquemas de construção dos padrões podem ser consultados no Facebook [30, 31].



**Figura 78.** Exposição no Agrupamento de Escolas de Ribeiro Sanches, Penamacor. Padrões GeCl<sub>a</sub>: os seis primeiros da reação HCl+ NaOH em presença de indicador universal de pH; os quatro a seguir fractais de prata e limpa-pratas, e ainda vários padrões nas máscaras de papel, prata, limpa-pratas e cloreto de cobalto hexahidratado [15-17].

My name is...

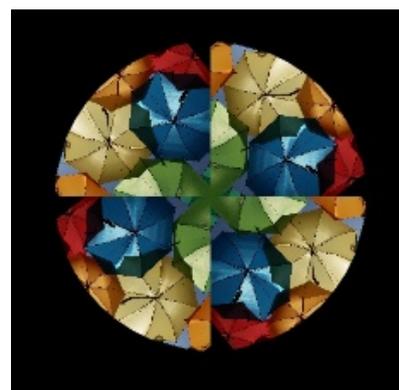
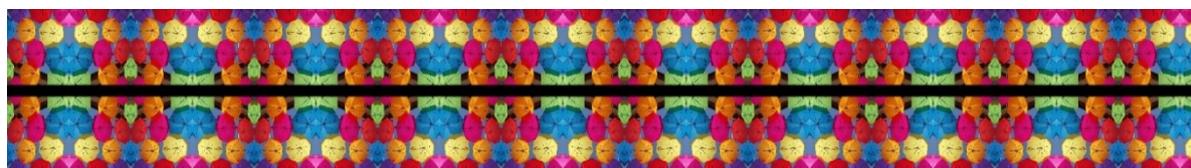
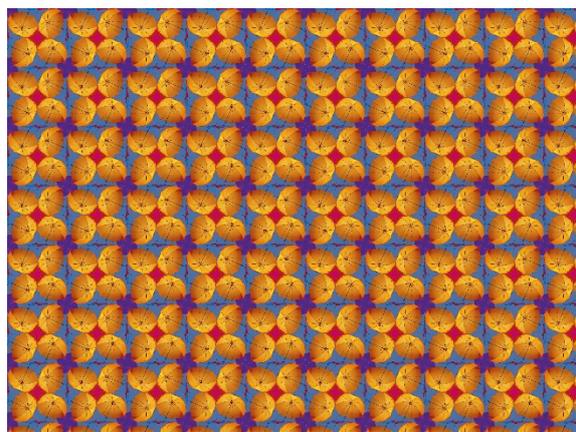


Clementina Teixeira GeClá 2016.

**Copper Sulfate  
Pentahydrate**

**Figura 79.** Padrão GeClá p6m de um detalhe de um cristal de sulfato de cobre penta-hidratado, formatado na História do Facebook.





**Figura 81.** Padrões do GeCla aplicados ao tema dos guarda-chuvas. A primeira imagem, retirada do Boletim da Câmara Municipal de Penamacor, ilustra a Exposição de Origami que se realizou na Biblioteca, em 2021. O papel dos origamis foi impresso com padrões de cristais de acetato de cobalto tetra-hidratado, ferricianeto de potássio, limpa-pratas, dentes-de-leão e papoilas à lupa estereoscópica. As restantes imagens são dois padrões p4, um friso e três rosáceas feitas a partir de fotos das instalações do Umbrella Sky Project de Águeda.

O tema dos guarda-chuvas é muito aliciante, e no início deste projecto deveria ter ficado ligado à chuva ácida! Não foi ainda feita essa ligação, não houve tempo e muito pouca chuva. No futuro far-se-á. O tema estende-se à obra de muitos pintores: os guarda-chuvas de Claude Theberge, Antonio Tamburro, Leonid Afremov, Kal Gajoum e muitos outros. Destaca-se ainda um cartoon de Cristina Sampaio alusivo às eleições presidenciais de 2021 [32], enquanto foram publicadas várias cinemagrafias com efeitos de chuva (Pixaloop) [31].

E ah! Afonso Cruz!!! Já antes tinham surgido as peúgas! E os guarda-chuvas de Águeda, Umbrella Sky Project, Always!!!!

*“Para onde vão os guarda-chuvas?*

*São como as luvas, são como uma das peúgas que formam um par.*

*Desaparecem e ninguém sabe para onde.*

*Nunca ninguém encontra guarda-chuvas, mas toda a gente os perde.*

*Para onde vão as nossas memórias, a nossa infância, os nossos guarda-chuvas?”*



Para Onde foram os Guarda-Chuvas

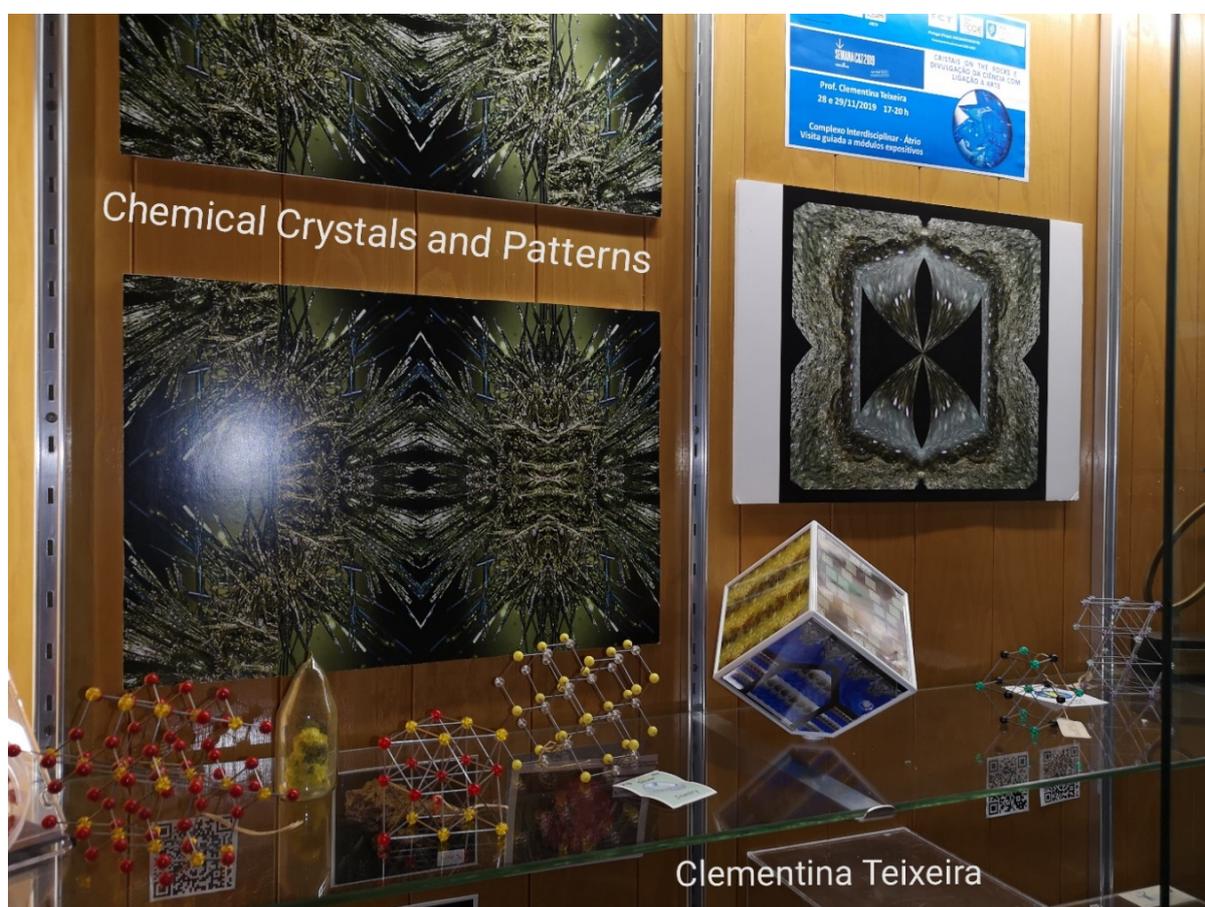
Afonso Cruz

**Figura 82.** Padrões do GeCla, guarda-chuvas do Umbrella Sky Project de Águeda. Foram materializados em origamis das exposições de Penamacor (padrões de guarda-chuvas e de limpa-pratas) [15-17].

### 3. Viagem ao Interior da Matéria: Modelos de Redes Cristalinas Beevers

Nas secções anteriores foram dados exemplos de cristais “On the Rocks”, de outros obtidos por técnicas muito rudimentares de cristalização em placas de Petri, ou sobras de cristais que não se fixaram nos suportes. Esta etapa pode ser considerada o início de uma viagem ao Interior da Matéria, começando pela escala 1:1. Com as câmaras digitais modernas e até com os telemóveis, podem-se obter fotos macro com ampliações até 16x, ou mais, ou seja, até à etapa de 1: 10. A observação à lupa estereoscópica permite variar de 8 a 126 x, com os equipamentos que temos disponíveis, mudando as oculares para outras de maior poder de ampliação. Representa o passo seguinte da nossa viagem, ou seja, simplificando, de 1:100, 1: 10<sup>2</sup>. Nas escolas portuguesas as lupas estereoscópicas em geral não têm zoom, mas apenas duas ampliações possíveis, 20x e 40x. No entanto, foram feitas fotos com estas lupas bastante promissoras. Sempre que possível é bom ancorar estas etapas na imagem obtida de 1:1, de forma que o observador não perca a ligação à realidade do que vê, à vista desarmada: o objectivo é o estudo de cada substância e de que forma a podemos encontrar na Natureza, no Laboratório ou simplesmente no Meio. A Viagem ao Interior da Matéria culmina com uma ampliação de 100 milhões de vezes, do Angström ao centímetro, 1: 10<sup>8</sup> graças aos modelos das redes cristalinas Beevers, hoje comercializados pela empresa Miramodus Molecular Models® Figs.83-87. Assim “vemos” as ligações químicas, os espaços vazios das estruturas, o tipo de coordenação que apresentam os complexos, os impedimentos estereoquímicos, etc. o que faz aumentar substancialmente a informação sobre as propriedades físicas e químicas, incluindo muitos dos aspectos da estabilidade e reactividade. Enriquecemos assim a nossa informação sobre cada cristal. Ao penetrar no interior da matéria o nosso conhecimento aumenta! Esta viagem foi inspirada pelo famoso projecto Potências de 10 [33]. A história destes modelos no Técnico e do projecto Rede Cristalina (anteriormente designado por “Rochas Ornamentais e Minerais Sintéticos”) foi publicada num podcast da coleção 110 Histórias I 110 Objetos, Os Modelos de Redes Cristalinas, episódio 17, organizada pela ACIM, Área de Comunicação, Imagem e Marketing do IST (110 anos de História do Técnico) [18]. A entrevista com Marco António (jornalista) nesse contexto, leva-nos ao inventor destes modelos, o cristalógrafo inglês Cecil Arnold Beevers, fundador desta empresa como spin off da Universidade de Edimburgo. Convém ouvir a versão curta da entrevista, de cerca de 15 minutos, mas também a versão completa, onde são abordados temas de interesse para quem gosta de cristais, Figs. 83- 95. E para quem deles gosta, e até porque não se pode estar sempre a escrever a mesma coisa, remete-se o leitor para a bibliografia já publicada: definições de **cristal**, **cristal químico**, **minerais** e **rochas**, **redes de Bravais**, **sistemas cristalográficos**, **classificação de cristais quanto ao tipo de ligação química** e outras noções fundamentais para o entendimento destas unidades tão belas e úteis à sociedade. Esta viagem foi apresentada pela primeira vez em 1999 numa workshop para Professores de Química, Física e

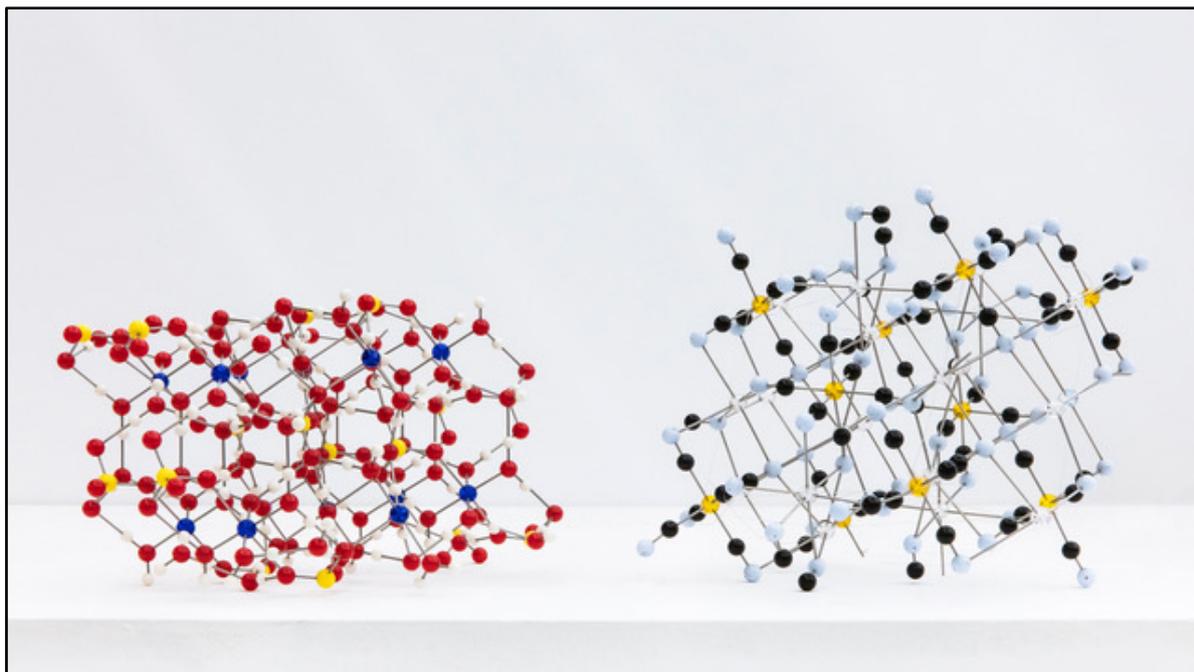
Geologia num Congresso da SPQ em Aveiro. Fez-se uma espécie de circuito com os vários modelos representando as células unitárias dos compostos “On the Rocks” e puzzles com perguntas quanto aos tipos de ligação química, e formas de chegar à estequiometria de cada composto. Mais tarde a coleção foi apresentada na Exposição “Pedras Que Brilham”, da Fundação Eugénio de Almeida [5], e finalmente integrada no programa de Química de Engenharia Física Tecnológica durante 3 anos. Aí chegou mesmo a determinar-se a densidade do alúmen de potássio, com uma aproximação incrível em relação aos dados experimentais. Tal é possível porque os modelos são rigorosos, respeitando as geometrias, números de coordenação, comprimentos de ligação e ângulos entre as ligações. Os modelos Beevers, agora considerados vintage, encontram-se por vezes à venda por preços avultados em sites de colecionismo. Atendendo ao seu valor didático irão em breve ser integrados na coleção de Museologia do Departamento de Engenharia Química.



**Figura 83.** A vitrine do Complexo do IST, onde há mais de 25 anos se expõem materiais didáticos deste projecto. Nunca é igual, vai-se renovando, mas é visita obrigatória em muitas acções de divulgação do Centro de Química Estrutural/DEQ: quadros da Química da prata, Arbores Diana, Química do Magnésio, composições gráficas de M. Conceição Oliveira, feitas com fotomicrografias de Clementina Teixeira e Hermínio Diogo [19]; Beevers Miniature Models; cubo rotativo com padrões de Química explorando as simetrias e colagens, apresentados nas secções anteriores. Esta imagem está relacionada com o botão de chamada da Exposição Virtual, Fig. 68.



**Figura 84.** A entrevista com Marco António, caricaturizada com o Avatar, onde aparece o “gato morto” no microfone e com cristais de prata obtidos por reação a servir de fundo. Em destaque, o modelo da rede cristalina (estrutura cristalina) do nitrato de gálio, oferecido pela Professora Maria José Calhorda.



# Sulfato de cobre pentahidratado



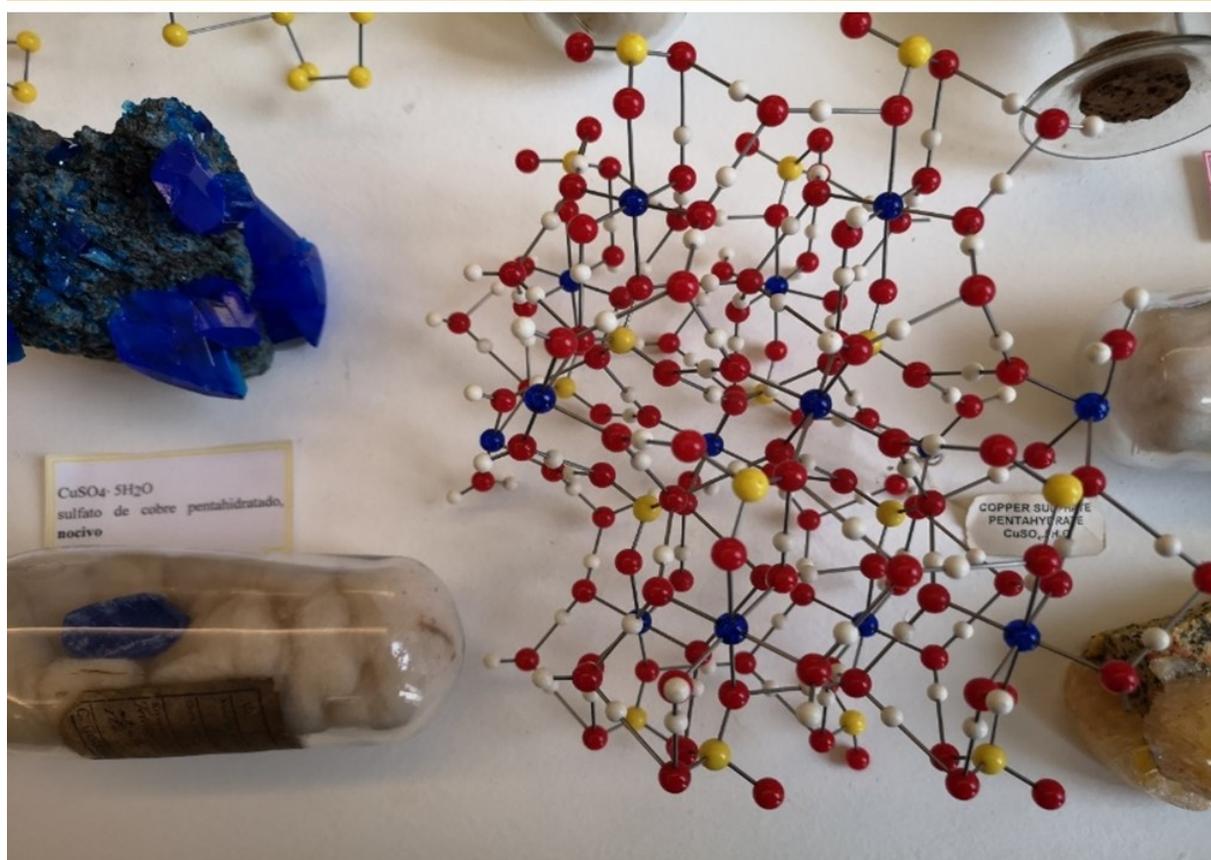
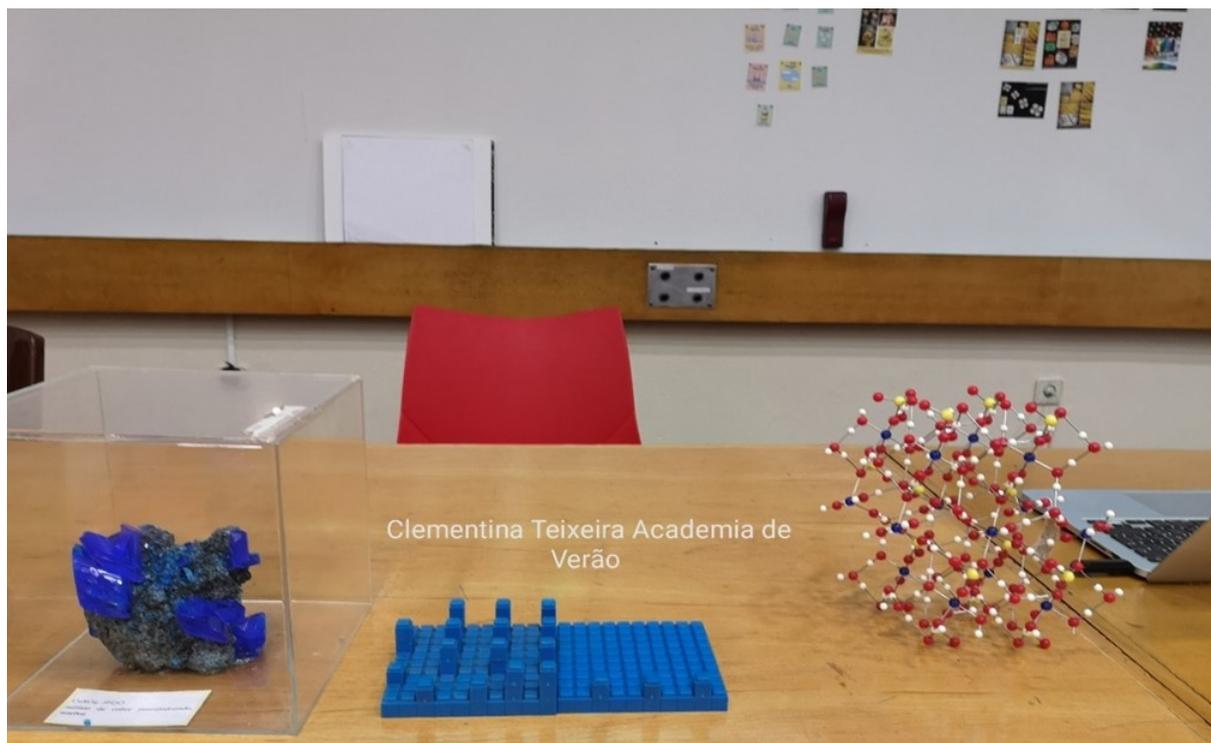



Episódio 17

## Os Modelos de Redes Cristalinas

110.tecnico.ulisboa.pt

**Figura 85.** Os modelos das Redes Cristalinas. Coleção de podcasts com versão curta e longa no site do IST destinado a comemorar os 110 anos do Instituto Superior Técnico. À esquerda o modelo Beevers do sulfato de cobre penta-hidratado (duas células unitárias, sistema triclinico) e à direita, o modelo do ferricianeto de potássio (1,5 células unitárias, sistema monoclinico). Em baixo, a capa de acesso ao podcast [18]. As bolas vermelhas representam o oxigénio, as amarelas o enxofre, as azuis o cobre, as brancas, mais pequenas, o hidrogénio, no primeiro modelo. No segundo, os carbonos estão a preto, o ferro a amarelo transparente, o potássio incolor, transparente, e o nitrogénio a azul. As esferas representam o centro de massa dos átomos ou iões de cada elemento, estão ligadas por segmentos metálicos de comprimento igual ao comprimento da ligação. As bolas têm todas o mesmo tamanho, embora as do hidrogénio sejam mais pequenas. Fotografia de Débora Rodrigues. Coordenação de Joana Lobo Antunes. Jornalista: Marco António.



**Figura 86.** Em cima, a rede cristalina do sulfato de cobre pentahidratado e o cristal “On the Rocks”. Um brinquedo didático estilo Lego para demonstrar a formação de cristais por repetição da célula unitária, correspondente a um pequeno bloco. Em baixo, detalhe da última exposição feita no DEQ, Laboratórios Abertos 2020, com o cristal “On the Rocks” em rocha vulcânica, um cristal de sulfato de cobre dentro de uma ampola de vidro antiga e o modelo Beever's.



**Figura 87.** Cristais On the Rocks e Redes Cristalinas, Beavers Miniature Models. Foto: 2005, Laboratórios Abertos 2005, Viagem ao Interior da Matéria e aulas de Química (Engenharia Física Tecnológica). A estante “Cubo In” simula a rede cristalina, cada bloco uma célula unitária cúbica de um cristal imaginário, com partilha de “átomos” (esferas de união dos blocos). Cada esfera de encaixe está dividida em 8 partes, podendo ser partilhada com outros cubos. Cada cubo tem  $1/8$  desta esfera, a que corresponde  $8 \times (1/8) = 1$  esfera por cada cubo. São contas deste tipo que nos permitem, para cada célula unitária, chegar à estequiometria do composto a que corresponde o modelo. Os modelos foram colocados de forma a evidenciar os espaços abertos, todos alinhados, o que é perceptível no modelo do sulfato de cobre ao pé da lâmpada, por baixo da rede do enxofre (amarelo).

## Viagem ao interior da Matéria - Laboratórios Abertos 2005

*Podemos continuar a observar o mundo à nossa volta tal como ele se nos apresenta. Isso não custa muito a fazer, basta manter os olhos bem abertos.*



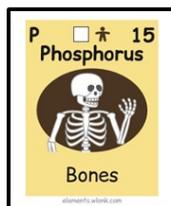
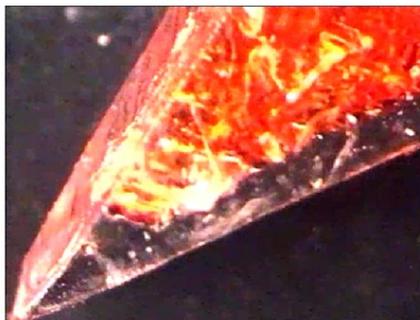
**Alúmen de potássio  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$**   
**“On the Rocks”, aglutinando amostras de quartzo e vulcanito. Hábito octaédrico truncado com cubo**

**Solução sólida de alúmenes de potássio e de cromo “On the Rocks”**



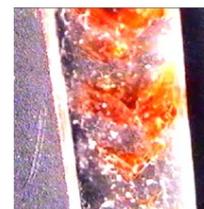
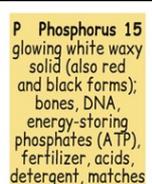
https://www.researchgate.net/publication/337490758\_Rochas-Ornamentais-e-Minerais-Simeticos-720mp4

*Porém, graças ao desenvolvimento científico e tecnológico, podemos fazer muito mais... Basta utilizar um simples microscópio comum/lupa e a nossa visão dos objetos é ampliada até cem vezes o seu tamanho.*



**Cristais de di-hidrogenofosfato de amónio (ADP) coloridos com corante Ponceau 4R observados ao microscópio com diversos graus de ampliação à lupa estereoscópica**

**Fosfato mentiroso  $(NH_4)_2H_2PO_4$**



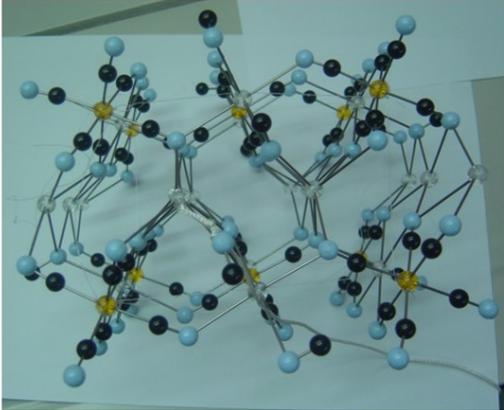
[https://www.researchgate.net/publication/235638165\\_Crescimento\\_de\\_cristais\\_por\\_nucleacao\\_heterogenea\\_On\\_the\\_Rocks\\_revisited](https://www.researchgate.net/publication/235638165_Crescimento_de_cristais_por_nucleacao_heterogenea_On_the_Rocks_revisited)

**Figura 88.** Viagem ao interior da Matéria, Laboratórios Abertos 2005 e fichas da Tabela Periódica dos Elementos de Keith Enevoldsen, publicadas em 2019, no Ano Internacional da Tabela Periódica [34]. No caso do dihidrogenofosfato de amónio o cristal, do sistema tetragonal, foi colorido por oclusão de solução de corante nos interstícios da rede. Forma desenhos em forma de V, com o corante preenchendo espaços vazios entre várias etapas de crescimento (sombras de crescimento), preparação de ADP de Vânia André [27].

Instituto Superior Técnico

Prof. Sampaio Cabral, Prof. Raquel Aires de Barros, Laboratórios Abertos 2005, Departamento de Engenharia Química

*Se formos mais ambiciosos a nossa curiosidade levar-nos-á muito mais longe! Podemos penetrar nos puzzles das redes cristalinas dos cristais, ampliando-as  $10^8$  vezes, cem milhões de vezes, passando do angström ao centímetro.*



Al 13  
Aluminum

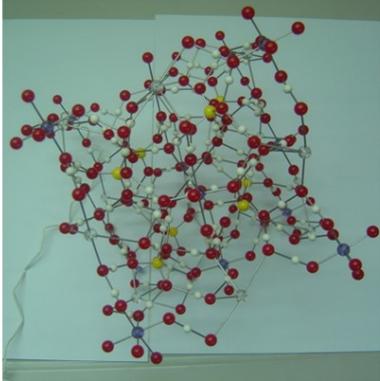


Airplanes

Fe 26  
Iron



Steel Structures



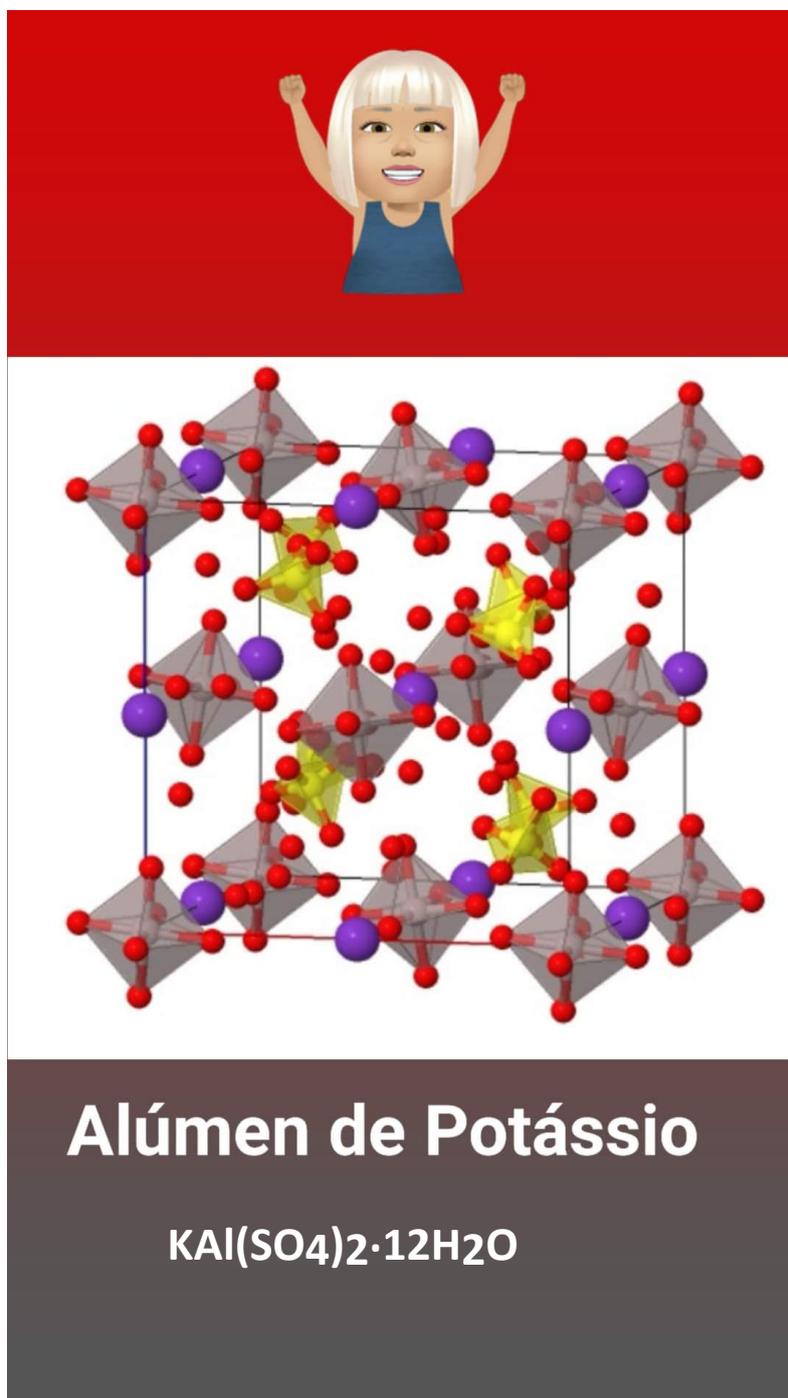
Rede cristalina do alumínio de potássio, sistema cúbico, Al-CFC  
Rede cristalina do ferricianeto de potássio, sistema monoclinico

**Beevers Miniature Models**

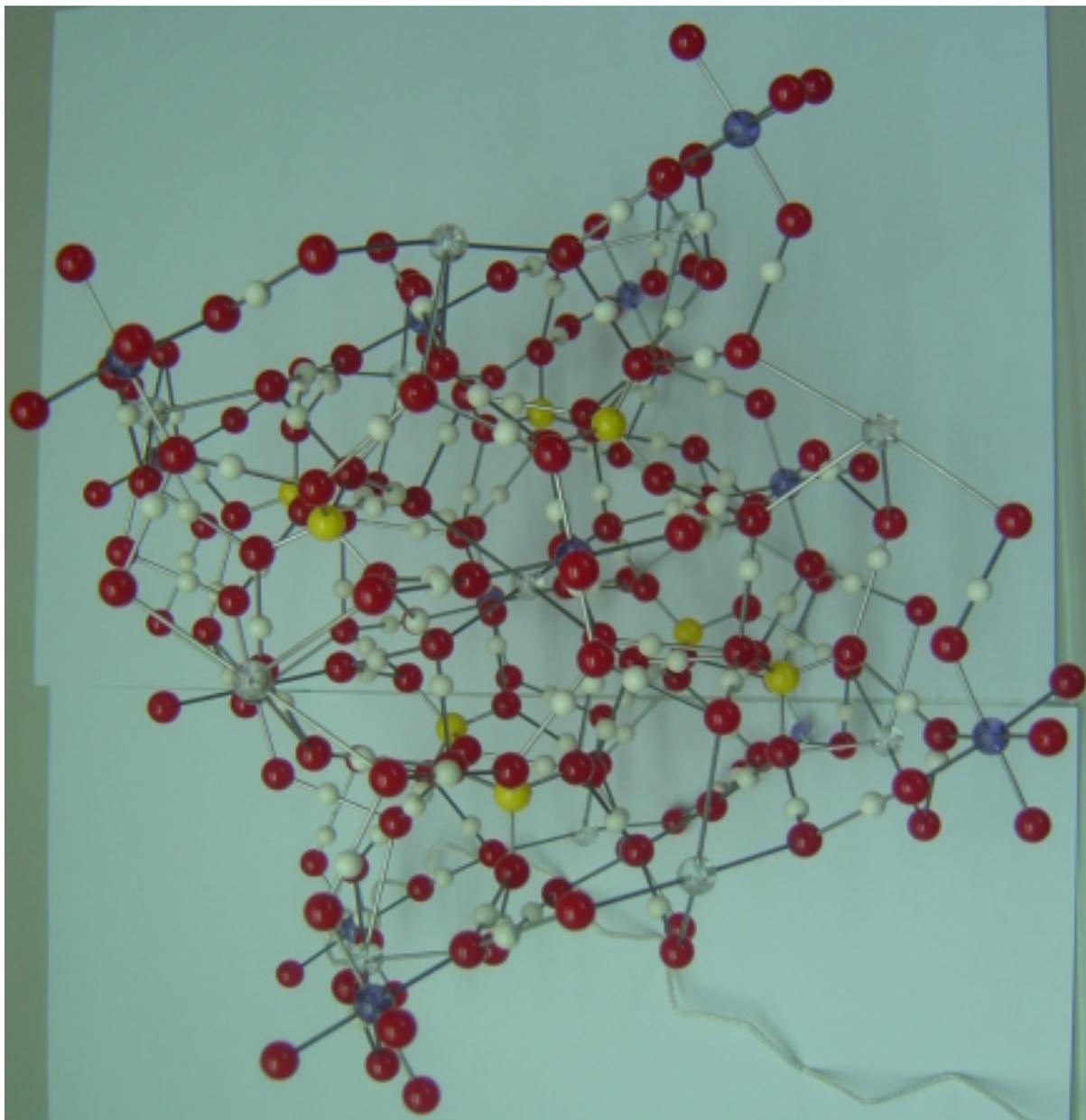
**Figura 89.** Viagem ao Interior da Matéria. De novo a rede cristalina do ferricianeto de potássio e a célula unitária do cristal de alumínio de potássio (alumínio bola roxa, oxigénio bola vermelha, enxofre bola amarela, potássio bola transparente incolor e bola branca para o hidrogénio). Os iões  $\text{Al}^{3+}$ , cada um coordenando 6 moléculas de água, formam uma Rede Cúbica de Faces Centradas, CFC. Sobre este último modelo, um dos mais fáceis de entender, consultar as Figs. 90-92.

Para usufruir destas redes é necessário manipular os modelos com muito cuidado. A observação permite então caracterizar os tipos de ligações químicas, classificar os interstícios da estrutura cristalina e estabelecer as relações aritméticas de partilha, ou seja, determinar o número de partículas (átomos, moléculas, iões que se situam nos nós da rede) por célula unitária, de forma a chegar à estequiometria do composto. A vantagem destes modelos, além do seu rigor, é a possibilidade de ver melhor os espaços vazios e a sua geometria, o que não acontece em modelos com esferas de diferentes tamanhos encostadas umas às outras de forma compacta. É nestes espaços que se podem inserir corantes por oclusão molecular, como é o caso do cristal da Fig. 88, em baixo, permitindo colorir cristais incolores tornando-os mais atractivos. Este tipo de estudos da estrutura cristalina costuma ser feito para o cloreto de sódio, nas cadeiras de Química Geral do IST: o anião cloreto forma uma rede cúbica de faces centradas e o catião sódio também, Figs. 93,94. Cálculos idênticos são feitos para os cristais metálicos, pelo menos para as estruturas CFC, cúbica de faces centradas, CC, cúbica de corpo centrado, CS, cúbica simples, e HC, hexagonal compacta. Nesta exposição, com os modelos em vitrine, não os podemos observar convenientemente, mas esperamos uma nova visita, à Coleção

Museológica do DEQ, onde em breve serão integrados! Na Fig. 95, um testemunho da utilização dos modelos num Congresso e nos Laboratórios Abertos 2005.



**Figura 90.** Modelo simplificado do Alúmen de potássio,  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  de autor desconhecido. Cada octaedro representa o catião  $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ , numa rede cúbica de faces centradas; o anião sulfato  $SO_4^{2-}$  representado num tetraedro a amarelo, com os oxigénios a vermelho, dispõe-se nos interstícios tetraédricos da célula unitária. Os iões potássio aparecem a roxo, a meio da aresta do cubo e no centro de um interstício octaédrico, localizado no centro da célula CFC. O hidrogénio foi omitido nesta representação, bem como as águas de hidratação e ligadas ao ião potássio. O desenho falha na localização dos átomos de oxigénio, apenas perceptíveis nas ligações ao alumínio (no catião complexo) e ao enxofre, no anião tetraédrico sulfato.



**Figura 91.** Modelo Beevers, célula unitária da rede cristalina do Alúmen de potássio,  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ . Descrição resumida na Fig. 92. A orientação do modelo é fundamental para perceber a estrutura cristalina. Em fotografia torna-se um emaranhado de difícil compreensão.

### REDE CRISTALINA $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ Alúmen de potássio

Alúmenes  $R^{III}(R^{VI}O_4)_2 \cdot 12H_2O$  ( $R^I$  metal alcalino, amónio, ou ião monovalente;  $M^{III}$ , metal no estado de oxidação +3;  $R^{VI}$ , enxofre, selénio ou telúrio).  
São todos sais duplos hidratados isoestruturais, cristalizando no sistema cúbico, podendo muitos deles formar soluções sólidas entre si, com cores variadas.

Sistema cúbico. Os cátions **alumínio** (III) definem uma célula unitária cúbica de faces centradas, CFC.

Os cátions **alumínio** (III) formam com as moléculas  $H_2O$ , o complexo octaédrico hexaquoalumínio(III),  $[Al(H_2O)_6]^{3+}$

Os cátions potássio (incolors) formam unidades  $K(H_2O)_6^+$  ligadas por forças electrostáticas ião-dipolo (ver no centro)

Os cátions potássio dispõem-se um, no centro; os outros, a meio de cada aresta da célula unitária CFC. Preenchem os interstícios octaédricos da estrutura CFC.

Nos aníons sulfato o **enxofre** liga-se ao **oxigénio** formando tetraedros. Apresentam um eixo de simetria ternário. Preenchem os interstícios tetraédricos da estrutura CFC.

Pontes de hidrogénio: facilmente identificáveis pela sequência **bola vermelha**—bola branca—**bola vermelha**

Ligações primárias iónicas entre os dois cátions  $K^+$ ,  $Al^{3+}$  e os aníons  $SO_4^{2-}$ .

Ligações covalentes dativas no ião complexo octaédrico  $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ .

Ligações covalentes intramoleculares nos restantes grupos  $H_2O$  e  $SO_4^{2-}$ .

Forças electrostáticas não direccionais ião-dipolo nas unidades  $K(H_2O)_6^+$ .

Pontes de hidrogénio entre os vários grupos reforçam as forças iónicas da rede.

No estado sólido tudo está ligado!  
 $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ =Unidade formular

O alúmen de potássio hidratado é um sal duplo pois possui dois tipos de cátions na sua estrutura.

Figura 92. O resumo do Puzzle relativo à célula unitária da rede cristalina do alúmen de potássio, modelo miniatura Beevers, tal como foi apresentado nos Laboratórios Abertos 2005.

*Podemos observar o mundo à nossa volta tal como ele se nos apresenta. Isso não custa muito a fazer, basta manter os olhos bem abertos. Podemos depois passar a utilizar lupas, como fazem os ourives, os antiquários, os relojoeiros e todos aqueles que vêm mal, ou precisam de ver um pouco mais de perto – facilmente obteremos imagens ampliadas para o dobro, para o triplo...*

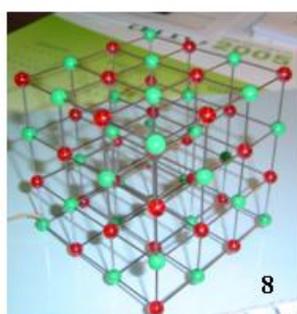
*Porém, graças ao desenvolvimento científico e tecnológico, podemos fazer muito mais...*



*Basta utilizar um simples microscópio comum e a nossa visão dos objectos é ampliada até cem vezes o seu tamanho e por aí fora, 400, 500 vezes, até que perdemos as nossas referências e quase caímos na abstracção, se não soubermos exactamente o que estamos a observar.*



*Se formos mais ambiciosos a nossa curiosidade levar-nos - á muito mais longe! Podemos penetrar nos puzzles das redes cristalinas dos cristais, ampliando-as  $10^8$  vezes, com milhões de vezes, passando do angström ao centímetro. Estes modelos de redes cristalinas são construídos a partir das estruturas obtidas pelos métodos de difracção de raios X. Nelas podemos localizar os iões sódio e cloreto na rede cristalina rigorosa do cloreto de sódio.*



Rede cristalina rigorosa do cloreto de sódio, sistema cúbico

Cl<sup>-</sup> - rede cúbica de faces centradas CFC; seis iões Na<sup>+</sup> rodeiam cada anião (NC=6)

Na<sup>+</sup> - CFC, preenchendo os interstícios octaédricos da rede dos aniões cloreto. NC= 6

Modelo miniatura Beavers.

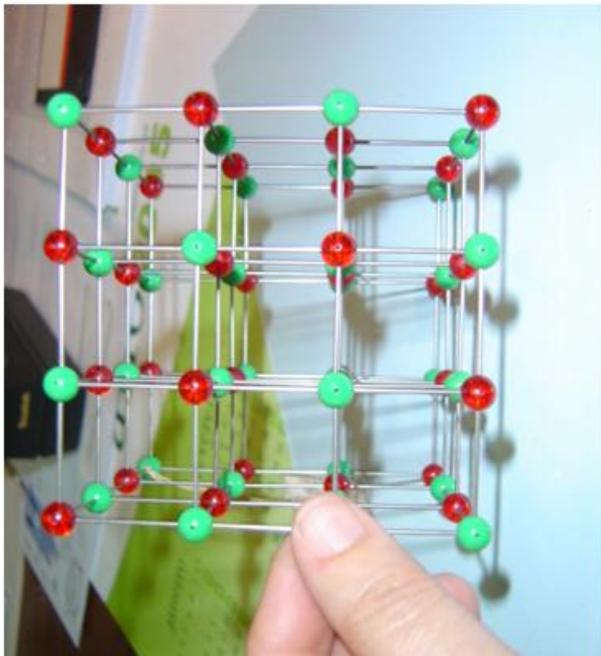


9

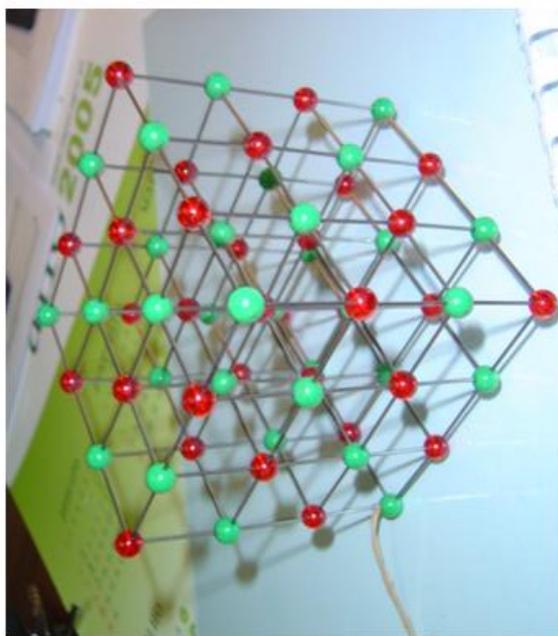
Figura 6 - Viagem ao interior da Matéria - O estudo do cloreto de sódio. 1- Experiência de purificação do sal no Infantário da APIST. 2,3 - Crescimento de cristais de NaCl em rocha vulcânica. 4-Observando cristais com uma lente de Fresnell -Agrupamento Ribeiro Sanches, Penamacor, 1ºciclo do ensino básico, estudo do meio. 5,7- Cristais de NaCl de hábito octaédrico ampliados 63 x . 6 - Observação de cristais de sais de banho coloridos com a lupa estereoscópica Nikon, acoplada a câmara digital Sony. 8- A rede cristalina do NaCl. 9-Sal amorfo, obtido por fusão/solidificação a 801 °C.

**Figura 93.** Publicação no Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, a Viagem ao Interior da Matéria para o cloreto de sódio [36].

***Se formos mais ambiciosos a nossa curiosidade levar-nos-á muito mais longe! Podemos penetrar nos puzzles das redes cristalinas dos cristais, ampliando-as 10<sup>8</sup> vezes, passando do angström ao centímetro.***



**Rede cristalina do cloreto de sódio, sistema cúbico, Na<sup>+</sup>-CFC; Cl<sup>-</sup> - CFC, Beavers**



**Figura 94.** Rede cristalina do cloreto de sódio: podemos visualizar a célula unitária definida em relação aos aniões cloreto, a verde, e assim teremos mais do que uma célula unitária, com os cloretos nos vértices de um cubo e com todas as faces centradas. Podemos fazer o mesmo em relação aos catiões sódio, a vermelho. Se estudarmos as partilhas chegaremos à conclusão de que a célula unitária contém quatro aniões cloreto e quatro catiões sódio, o que leva à estequiometria NaCl.



**Figura 95.** Modelos Beevers, redes cristalinas rigorosas nos Laboratórios Abertos 2005. Em cima, rede cristalina do enxofre ortorrômbico,  $S_8$  (amarelo), cristal molecular.

## Agradecimentos

Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Portugal, Centro de Química Estrutural – Projetos UIDB/00100/2020, UIDP/00100/2020, IMS- LA/P/0056/2020. Vasco Bonifácio, Webmaster da Exposição Química, Arte e Inteligência Artificial. Financiamento da autora principal, mecenato.

## Referências e Notas

- [1] Clementina Teixeira, Os Cristais no Ensino e Divulgação da Química, Colóquio Ciências, Fundação Calouste Gulbenkian, 25, 20-36 (2000).
- [2] Clementina Teixeira, Ciência e Padrões Decorativos do Técnico no Agrupamento de Escolas de Ribeiro Sanches Penamacor, Semana da Ciência e da Tecnologia 2021, curadoria de Antonieta Salgueiro, Exposição de 22-28 de Novembro 2021, prolongada até Janeiro de 2022. Colaboração de Maria Filomena Pires, Carolina Ramos, Luísa Carreirinho Tavares.  
[https://www.cienciaviva.pt/semanact/2021/eventos.php?acao=showactivities&id\\_activity=1395](https://www.cienciaviva.pt/semanact/2021/eventos.php?acao=showactivities&id_activity=1395)
- [3] <https://www.facebook.com/media/set/?set=a.768165109891037&type=3> (Álbum com Poen de Wijs);  
<https://www.facebook.com/media/set/?set=a.1243864185654458&type=3> (Álbum com Poen de Wijs e Jantina Peperkamp. Resumos de apresentações em Congressos da Casa das Ciências.
- [4] Clementina Teixeira, “Química, Arte e Inteligência Artificial”, Exposição virtual dos Laboratórios Abertos 2021 online, edição de Vasco Bonifácio, Departamento de Engenharia Química, Instituto superior Técnico, Universidade de Lisboa, 22-26 de Fevereiro 2021.
- [5] Clementina Teixeira, Exposição “Pedras que Brilham”, Fundação Eugénio de Almeida, Évora, de 5 de Outubro a 20 de Novembro de 2002, (Exposição de cristais “On the Rocks” e Redes Cristalinas, observação de cristais à lupa estereoscópica, Workshop e palestra).
- [6] Várias fotografias macro das esculturas de cristais foram apresentadas pelo Museu de Geociências do IST no evento promovido pela Associação de Estudantes do Instituto Superior Técnico, no Dia Internacional dos Museus-Museus do Técnico, a 16 de Maio de 2020. <https://aeist.pt/blog/2020/05/16/dia-internacional-dos-museus/>. Como as esculturas de cristais não foram devidamente acreditadas, as fotos passaram a ser incluídas nas publicações do projecto. Este irá ser integrado na Coleção Museológica do Departamento de Engenharia Química.
- [7] Clementina Teixeira, Exposição “Química, Arte e Cristais”, Biblioteca Municipal de Penamacor, 2-27 de Novembro 2020. Evento on-line, com catálogo.  
[https://www.researchgate.net/publication/345181465\\_Exposicao\\_Quimica\\_Arte\\_e\\_Cristais\\_Biblioteca\\_Municipal\\_de\\_Penamacor\\_2-27\\_de\\_Novembro\\_2020\\_p1-56\\_Evento\\_on-line](https://www.researchgate.net/publication/345181465_Exposicao_Quimica_Arte_e_Cristais_Biblioteca_Municipal_de_Penamacor_2-27_de_Novembro_2020_p1-56_Evento_on-line)
- [8] Clementina Teixeira, Artesãos do Século XXI: Poderá a Química ligar-se à Arte? Experiências com cristais inspiradas pelo mar, “Cristais, Arte e Mar”, edição de autor, p1-49, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 26/9/2020. DOI: 10.13140/RG.2.1.30204.97920.  
[https://www.researchgate.net/publication/344388937\\_Artesaos\\_do\\_Seculo\\_XXI\\_Podera\\_a\\_Quimica\\_ligar-se\\_a\\_Arte\\_Experiencias\\_com\\_cristais\\_inspiradas\\_pelo\\_mar](https://www.researchgate.net/publication/344388937_Artesaos_do_Seculo_XXI_Podera_a_Quimica_ligar-se_a_Arte_Experiencias_com_cristais_inspiradas_pelo_mar)
- [9] Clementina Teixeira, “Artesãos do Século XXI” - Artesanato observado ao microscópio, Catálogo da exposição, edição de autor, Projecto Ciência Viva, CV 100-2009/432, Biblioteca Municipal de Penamacor, 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 de acesso aberto ao público.
- [10] Clementina Teixeira, Artesãos do Século XXI, álbum de fotos no FB  
<https://www.facebook.com/media/set/?set=a.576179665756250&type=3>
- [11] Programa matemático GeCla, Gerador e Classificador de Simetrias, Associação Atractor,  
<https://atractor.pt/mat/GeCla/>
- [12] Existem muitos programas que permitem encomendar artigos personalizados, para isso basta fazer uma pesquisa no Google usando a frase “Create your own”, mas muitos são voláteis, outros pagos, outros obrigam a ver publicidade. Pode também recorrer-se às casas de fotocópias onde se podem adquirir esses artigos.

Exemplo, <https://www.zazzle.com> . Em alguns destes sites também se podem colocar à venda os nossos designs em artigos.

- [13] Clementina Teixeira, Erik Ceschini Panighel Benedicto, Gonçalo Santos em “Cristais Químicos em 3D e Exposição”, Livro dos Laboratórios Abertos 2020, eds. M. A. Lemos, C. Gomes de Azevedo, D. Simão, ISBN: 978-989-99508-7-0, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Fevereiro de 2020, p127-180. DOI: [10.13140/RG.2.2.20543.05287](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20543.05287) [https://www.researchgate.net/publication/340606494\\_Cristais\\_em\\_3D\\_e\\_Exposicao/stats](https://www.researchgate.net/publication/340606494_Cristais_em_3D_e_Exposicao/stats)
- [14] Clementina Teixeira, “Encontro com o Cientista”, Escola Ciência Viva, Pavilhão do Conhecimento, 31 de Maio de 2019, com Alexandra Souza e Carla Sofia Rocha. <https://www.facebook.com/media/set/?set=a.2952981321409394&type=3>
- [15] Clementina Teixeira, Exposição virtual, Ciência e Padrões Decorativos, Parte I, Biblioteca Municipal de Penamacor, 6 de Abril – 7 de Maio de 2021, Penamacor. DOI: [10.13140/RG.2.2.26694.60481](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26694.60481) [https://www.researchgate.net/publication/350640225\\_Ciencia\\_e\\_Padros\\_Decorativos](https://www.researchgate.net/publication/350640225_Ciencia_e_Padros_Decorativos)
- [16] Clementina Teixeira, Exposição virtual, Ciência e Padrões Decorativos, Parte III, Literalmente aos Papéis, Biblioteca Municipal de Penamacor, 6 de Abril a 7 de Junho de 2021, Penamacor. DOI: [10.13140/RG.2.2.29697.38246](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29697.38246), [https://www.researchgate.net/publication/351351022\\_Literalmente\\_aos\\_Papeis](https://www.researchgate.net/publication/351351022_Literalmente_aos_Papeis)
- [17] Clementina Teixeira, Exposição Ciência e Padrões Decorativos, Parte IV, Origami em Penamacor, Biblioteca Municipal de Penamacor, de 12 de Julho a 27 de Agosto de 2021, Penamacor, pg. 1-49, DOI [10.13140/RG.2.2.33272.98561](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33272.98561) [https://www.researchgate.net/publication/353951339\\_Origami\\_em\\_Penamacor](https://www.researchgate.net/publication/353951339_Origami_em_Penamacor)
- [18] Os Modelos das Redes Cristalinas, Coleção 110 Histórias 110 objectos, Episódio 17, ACIM, 22 de Outubro de 2021, Instituto Superior Técnico. <https://110.tecnico.ulisboa.pt/arquivos/episodio-17-os-modelos-de-redes-cristalinas/>. Coordenação de Joana Lobo Antunes, jornalista Marco António.
- [19] Maria Conceição Oliveira, Hermínio Diogo, Clementina Teixeira, Manuel Francisco Costa Pereira, Cristais “On The Rocks”, Microscopia Química: Fotografia Científica e Arte Digital, Poster, V Encontro Internacional da Casa das Ciências, Centro Cultural Vila Flor, Guimarães, 9-11 de Julho de 2018. (Centro de Química Estrutural e Museu Alfredo Bensaúde, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa). [https://www.researchgate.net/publication/326676156\\_Poster\\_Cristais\\_On\\_the\\_Rocks\\_Digital\\_Art\\_Photo\\_micrography](https://www.researchgate.net/publication/326676156_Poster_Cristais_On_the_Rocks_Digital_Art_Photo_micrography)
- [20] Clementina Teixeira, “Exposições para escolas. Padrões decorativos. Reações ácido-base, observação à lupa estereoscópica, HCl+NaOH “, Capítulo 6, em “Cristais Químicos. Observação à Lupa Estereoscópica. Exposições”, ed. Clementina Teixeira, Centro de Química Estrutural e Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 12 de Agosto de 2020, p1-58. DOI: [10.13140/RG.2.2.33329.61289](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33329.61289) (Livro dos Laboratórios Abertos On Line, 2021, ISBN: 978-989-99508-8-7). [https://www.researchgate.net/publication/343611271\\_Clementina\\_Teixeira\\_Exposicoes\\_para\\_escolas\\_Padros\\_decorativosReacoes\\_acido-base\\_observacao\\_a\\_lupa\\_estereoscopica\\_HClNaOH\\_Capitulo\\_6\\_em\\_Cristais\\_Quimicos\\_Observacao\\_a\\_Lupa\\_Estereoscopica\\_Exposicoes\\_e](https://www.researchgate.net/publication/343611271_Clementina_Teixeira_Exposicoes_para_escolas_Padros_decorativosReacoes_acido-base_observacao_a_lupa_estereoscopica_HClNaOH_Capitulo_6_em_Cristais_Quimicos_Observacao_a_Lupa_Estereoscopica_Exposicoes_e)
- [21] Clementina Teixeira, Vídeo da reacção HCl+ NaOH em presença de indicador universal de pH, 2007 (Semana da Ciência e da Tecnologia, atendimento de visitantes). <https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/videos/927196114451079>
- [22] Clementina Teixeira, “Mandei Vir os Ácidos, as Bases e os Sais: Aplicações da Microscopia Química”, Química, Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, 107, 41-45, 2007. [https://www.researchgate.net/publication/268521712\\_Mandei\\_Vir\\_os\\_Acidos\\_as\\_Bases\\_e\\_os\\_Sais\\_Aplicacoes\\_da\\_Microscopia\\_Quimica\\_Quimica\\_Boletim\\_da\\_Sociedade\\_Portuguesa\\_de\\_Quimica\\_107\\_41-45\\_2007](https://www.researchgate.net/publication/268521712_Mandei_Vir_os_Acidos_as_Bases_e_os_Sais_Aplicacoes_da_Microscopia_Quimica_Quimica_Boletim_da_Sociedade_Portuguesa_de_Quimica_107_41-45_2007)
- [23] Clementina Teixeira, “Observação de objetos de ourivesaria à lupa estereoscópica. Zircónias”, Cap.2, em “Cristais Químicos. Observação à Lupa Estereoscópica. Exposições”, edição de autor, Clementina Teixeira, Centro de Química Estrutural e Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Março 2020, p1-19. DOI: [10.13140/RG.2.2.31520.40966](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31520.40966) (Livro dos Laboratórios Abertos On Line 2021, ISBN: 978-989-99508-8-7). [https://www.researchgate.net/publication/341878673\\_Observacao\\_de\\_objectos\\_de\\_ourivesaria\\_a\\_lupa\\_e\\_stereoscopica\\_Zirconias\\_Capitulo\\_2\\_em\\_Cristais\\_Quimicos\\_Observacao\\_a\\_Lupa\\_Estereoscopica\\_Exposicoes\\_ed\\_Clementina\\_Teixeira\\_Centro\\_de\\_Quimica\\_Estrutural\\_e](https://www.researchgate.net/publication/341878673_Observacao_de_objectos_de_ourivesaria_a_lupa_e_stereoscopica_Zirconias_Capitulo_2_em_Cristais_Quimicos_Observacao_a_Lupa_Estereoscopica_Exposicoes_ed_Clementina_Teixeira_Centro_de_Quimica_Estrutural_e)

- [24] Clementina Teixeira, “Observação de artefactos de ourivesaria à lupa estereoscópica. Cristais metálicos: ouro, prata, cobre e ligas metálicas”, Cap.3, em “Cristais Químicos. Observação à Lupa Estereoscópica. Exposições”, edição de autor, Clementina Teixeira, Centro de Química Estrutural e Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Maio 2020, p1-15. DOI: 10.13140/RG.2.2.28717.92640 (Livro dos Laboratórios Abertos On Line 2021, ISBN: 978-989-99508-8-7). [https://www.researchgate.net/publication/341942420\\_Observacao\\_de\\_artefactos\\_de\\_ourivesaria\\_a\\_lupa\\_estereoscopica\\_Cristais\\_metalicos\\_ouro\\_prata\\_cobre\\_e\\_ligas\\_metalicas\\_Capitulo\\_3\\_em\\_Cristais\\_Quimicos\\_Observacao\\_a\\_Lupa\\_Estereoscopica\\_Exposicoes\\_ed\\_Cleme](https://www.researchgate.net/publication/341942420_Observacao_de_artefactos_de_ourivesaria_a_lupa_estereoscopica_Cristais_metalicos_ouro_prata_cobre_e_ligas_metalicas_Capitulo_3_em_Cristais_Quimicos_Observacao_a_Lupa_Estereoscopica_Exposicoes_ed_Cleme)
- [25] Clementina Teixeira, “Observação de artefactos de ourivesaria à lupa estereoscópica. Cristais metálicos: prata e ligas metálicas”, Capítulo 4, em “Cristais Químicos. Observação à Lupa Estereoscópica. Exposições”, ed. Clementina Teixeira, Centro de Química Estrutural e Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Junho de 2020, p1-28. DOI: [10.13140/RG.2.2.31116.54401](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31116.54401) (Livro dos Laboratórios Abertos On Line 2021, ISBN: 978-989-99508-8-7). [https://www.researchgate.net/publication/342004685\\_Observacao\\_de\\_artefactos\\_de\\_ourivesaria\\_a\\_lupa\\_estereoscopica\\_Cristais\\_metalicos\\_prata\\_e\\_ligas\\_metalicas\\_Capitulo\\_4\\_em\\_Cristais\\_Quimicos\\_Observacao\\_a\\_Lupa\\_Estereoscopica\\_Exposicoes\\_ed\\_Clementina\\_Teixeira#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/342004685_Observacao_de_artefactos_de_ourivesaria_a_lupa_estereoscopica_Cristais_metalicos_prata_e_ligas_metalicas_Capitulo_4_em_Cristais_Quimicos_Observacao_a_Lupa_Estereoscopica_Exposicoes_ed_Clementina_Teixeira#fullTextFileContent)
- [26] Clementina Teixeira, Erik Ceschini Panighel Benedicto, Gonçalo Santos, “Cristais químicos de limpa-pratas com tioureia. Árvores de prata. Observação à lupa estereoscópica”, Capítulo 5, em “Cristais Químicos. Observação à Lupa Estereoscópica. Exposições”, ed. Clementina Teixeira, Centro de Química Estrutural e Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Junho de 2020, p1-28. DOI: 10.13140/RG.2.2.29494.52803 (Livro dos Laboratórios Abertos On Line 2021, ISBN: 978-989-99508-8-7). [https://www.researchgate.net/publication/342215581\\_Clementina\\_Teixeira\\_Erik\\_Ceschini\\_Panighel\\_Benedicto\\_Goncalo\\_Santos\\_Cristais\\_quimicos\\_de\\_limpa-pratas\\_com\\_tioureia\\_Arvores\\_de\\_prata\\_Observacao\\_a\\_lupa\\_estereoscopica\\_Capitulo\\_5\\_em\\_Cristais\\_Quimicos\\_Obs](https://www.researchgate.net/publication/342215581_Clementina_Teixeira_Erik_Ceschini_Panighel_Benedicto_Goncalo_Santos_Cristais_quimicos_de_limpa-pratas_com_tioureia_Arvores_de_prata_Observacao_a_lupa_estereoscopica_Capitulo_5_em_Cristais_Quimicos_Obs)
- [27] Clementina Teixeira, Vânia André, Ana Sofia D. Ferreira, Elsa Lago, M. Fernanda 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. [https://www.researchgate.net/publication/267736264\\_C.\\_Teixeira\\_V.\\_Andr\\_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](https://www.researchgate.net/publication/267736264_C._Teixeira_V._Andr_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)
- [28] Afonso Cruz, Poema Carne, <https://www.youtube.com/watch?v=JuzvvpETIUc>
- [29] Clementina Teixeira, Dulce Simão, Anabela Graça, “Observação de cristais à lupa estereoscópica e sua articulação com outros módulos expositivos”, Cap.1, em “Cristais Químicos. Observação à Lupa Estereoscópica. Exposições”, edição de autor, Clementina Teixeira, Centro de Química Estrutural e Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Março 2020, p.2-26. DOI: [10.13140/RG.2.2.24508.05769](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24508.05769) (Livro dos Laboratórios Abertos On Line 2021, ISBN: 978-989-99508-8-7). [https://www.researchgate.net/publication/341827875\\_Observacao\\_de\\_cristais\\_a\\_lupa\\_estereoscopica\\_e\\_sua\\_articulacao\\_com\\_outros\\_modulos\\_expositivos\\_Capitulo\\_1\\_em\\_Cristais\\_Quimicos\\_Observacao\\_a\\_Lupa\\_Estereoscopica\\_Exposicoes\\_ed\\_Clementina\\_Teixeira\\_Centro](https://www.researchgate.net/publication/341827875_Observacao_de_cristais_a_lupa_estereoscopica_e_sua_articulacao_com_outros_modulos_expositivos_Capitulo_1_em_Cristais_Quimicos_Observacao_a_Lupa_Estereoscopica_Exposicoes_ed_Clementina_Teixeira_Centro)
- [30] Acetato de cobalto tetra-hidratado, lupa estereoscópica <https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/videos/683817378957982>  
 Papoila, Papaver rhoeas, lupa estereoscópica <https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/videos/1074318249703999>  
 Dente de Leão, Taraxacum officinale <https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/videos/389516405438842>  
 Capuchinhas, Tropaeolum majus, Nasturtium, Ciência e Arte de Poen de Wijs, lupa estereoscópica [https://www.researchgate.net/publication/306572362\\_Nasturtium](https://www.researchgate.net/publication/306572362_Nasturtium)  
[https://www.researchgate.net/publication/306954796\\_nasturtiumPoendeWijs#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/306954796_nasturtiumPoendeWijs#fullTextFileContent)  
<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.6647261281981361/1291483187559224>  
<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.6647261281981361/1291483277559215>  
<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.6647261281981361/1291483280892548>

- <https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.6647261281981361/1291483284225881>
- [31] Dente de Leão, *Taraxacum officinale*  
<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.5820163104691187/1256652164375660>  
<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.5820163104691187/1263725887001621>  
<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.5820163104691187/1263926196981590>  
<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.5820163104691187/1266669946707215>  
<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.5820163104691187/1357308594310016>  
Misturas de cristais de ferricianeto de potássio e tricloreto férrico hexahidratado, fotomicrografias,  
<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.568659676508249/1270634492977427>  
<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.568659676508249/1270634492977427>  
<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.2232775436763323/1268300409877502>  
<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira/photos/a.2232775436763323/1279318782108998>
- [32] Cartoon de Cristina Sampaio, [https://www.rtp.pt/noticias/politica/diario-de-campanha-cartoons\\_1289102](https://www.rtp.pt/noticias/politica/diario-de-campanha-cartoons_1289102)
- [33] Charles and Ray Eames, Powers of Ten, Potências de Dez,  
<https://www.youtube.com/watch?v=SwZ09VkyJwo>
- [34] Clementina Teixeira, “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.  
[https://www.researchgate.net/publication/331233915\\_Clementina\\_Teixeira\\_Quimica\\_e\\_Arte\\_Sugestoes\\_para\\_o\\_Ano\\_Internacional\\_da\\_Tabela\\_Periodica\\_2019\\_Livro\\_dos\\_Laboratorios\\_Abertos\\_2019\\_edos\\_MALemos\\_C\\_Gomes\\_de\\_Azevedo\\_D\\_Simao\\_Departamento\\_de\\_Engenharia\\_Quimica](https://www.researchgate.net/publication/331233915_Clementina_Teixeira_Quimica_e_Arte_Sugestoes_para_o_Ano_Internacional_da_Tabela_Periodica_2019_Livro_dos_Laboratorios_Abertos_2019_edos_MALemos_C_Gomes_de_Azevedo_D_Simao_Departamento_de_Engenharia_Quimica)
- [35] Clementina Teixeira, Marta Smith, Mafalda Lancinha Pereira, Carolina Belchior, Palmira Ferreira da Silva, Carla Pinheiro, Crescimento de Cristais Sobre Superfícies Rugosas. “On the Rocks” Revisited. Rede Cristalina. Laboratórios Abertos 2009 e Outros Eventos, ed. Clementina Teixeira, Centro de Química Estrutural, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 28 de Agosto de 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.31157.73441.  
[https://www.researchgate.net/publication/327262747\\_Clementina\\_Teixeira\\_Marta\\_Smith\\_Mafalda\\_Lancinha\\_Pereira\\_Carolina\\_Belchior\\_Palmira\\_Ferreira\\_da\\_Silva\\_Carla\\_Pinheiro\\_Crescimento\\_de\\_Cristais\\_Sobre\\_Superficies\\_RugosasOn\\_the\\_Rocks\\_Revisited\\_Rede\\_Cristal#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/327262747_Clementina_Teixeira_Marta_Smith_Mafalda_Lancinha_Pereira_Carolina_Belchior_Palmira_Ferreira_da_Silva_Carla_Pinheiro_Crescimento_de_Cristais_Sobre_Superficies_RugosasOn_the_Rocks_Revisited_Rede_Cristal#fullTextFileContent)
- [36] Clementina Teixeira, Vânia André, Sílvia Chaves, Hermínio Diogo, Nuno Lourenço, Filipe 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\\_sodio\\_purificacao\\_do\\_cloreto\\_de\\_sodio](https://www.researchgate.net/publication/234101140_gua_quase_tudo...e_cloreto_de_sodio_purificacao_do_cloreto_de_sodio)

# Equipa

## Coordenação

Dulce Simão

Vasco Bonifácio

NEQIST

## Logística

Cristina Ribeiro

Isabel Leiria

Jorge Teixeira

Lurdes Ribeiro

Marta Coelho

Nuno Simões

## Palestras

Amélia Almeida

Ana Cristina Fernandes

Ana Paula Dias

Ana Paula Serro

João Salvador Fernandes

José Paulo Farinha

Luísa Martins

Rosário Ribeiro

Vítor Geraldes

## Módulos Experimentais

Clementina Teixeira

Daniel Simões

Dulce Simão

Fátima Rosa

Pedro Mendes

Miguel Malheiro

Remígio Machado

Rosinda Ismael

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

Engenharia do Ambiente