

# PULSAR

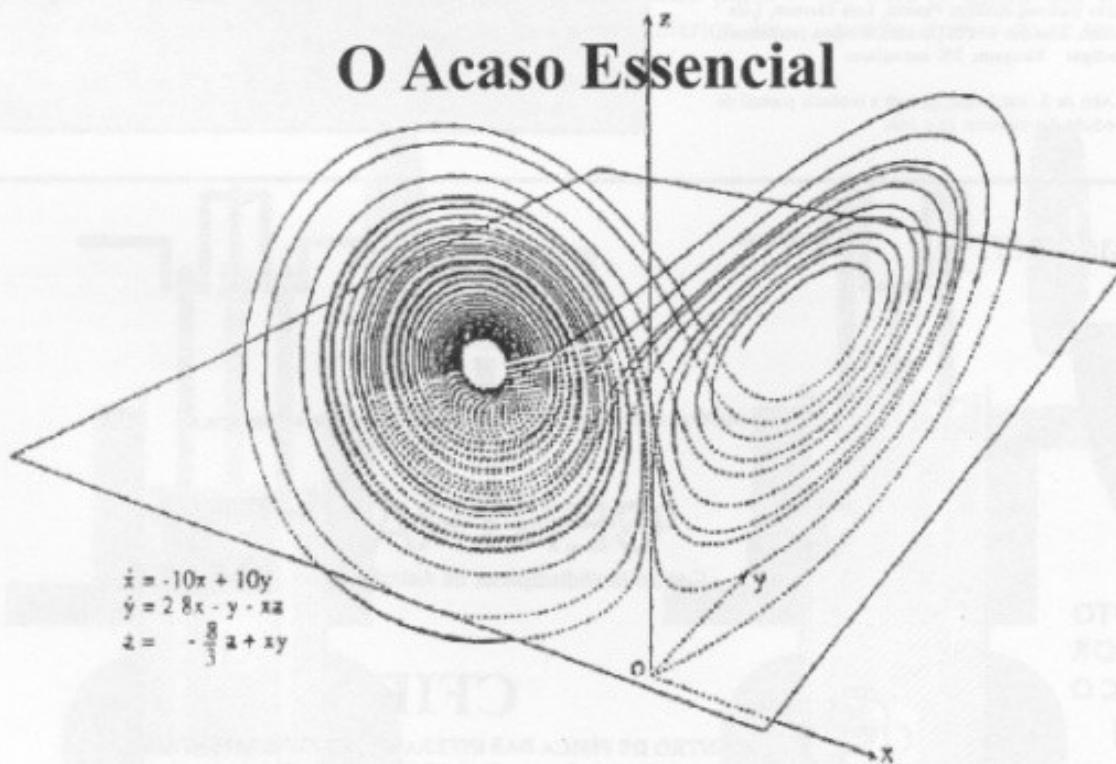
Jornal dos Estudantes de Engenharia Física Tecnológica - LEFT IST

Janeiro de 2000

NÚMERO 14

## Entrevista com o Prof. Claus Rolfs (2<sup>a</sup> parte)

### A Formação da Escala Temperada



**A Termodinâmica do Dia-a-Dia**

**Motor de Ar Quente**

## Sumário

- Entrevista com o Prof. Claus Rolfs - II pg. 3  
*Conduzida por: Rodrigo Pascoal, Mário Barbosa, Luís Oliveira e Rui Perdigão*
- A Formação da Escala Temperada pg. 10  
*Luis Guisado*
- O acaso essencial pg. 12  
*João Paulo Graciano*
- A Termodinâmica do Dia-a-Dia pg. 18  
*Luis dos Santos Cardoso*
- O Motor de Ar Quente pg. 19  
*Luis dos Santos Cardoso*
- Espaço cultural pg. 20  
*Poemas de autoria anónima*

### Ficha Técnica

Pulsar: Uma publicação do NFIST - Núcleo de Física do IST.  
Sede: Instituto Superior Técnico, Departamento de Física, Sala de Alunos da LEFT.  
Av. Rovisco Pais, 1096 LISBOA Codex  
Telefone: +351218419082 e-mail: pulsar@fisica.ist.utl.pt  
Editor: Rui Alexandre Pita Perdigão  
Secções científicas, cultural e de curso: asseguradas, interinamente, pelo Editor.  
Revisão técnica: em coordenação com a restante Direcção do NFIST.  
Colaboração neste número: Mário Barbosa, Rodrigo Pascoal, Luis Oliveira, Luis Guisado, João Paulo Graciano, Luis dos Santos Cardoso, e outros (anónimos).  
Arranjo Gráfico: Rui A. Pita Perdigão Tiragem: 500 exemplares

O Pulsar agradece à "Quinta do Alto de S. Jólio" (qasj.cjb.net) a cedência pontual de instalações e equipamento para a edição dos números 13 e 14.

## EDITORIAL

Caro leitor

Em pleno final de semestre de aulas, numa altura em que está passada a euforia das primeiras semanas, os locais tradicionais de estudo e confraternização dos alunos da LEFT reflectem a animada rotina dos muitos trabalhos e testes em preparação.

Inspirado nesta azáfama universitária, é publicado mais um Pulsar, com uma forte predominância de artigos de indole mais científica, produzidos por diversos alunos da LEFT.

O Pulsar 14 é dedicado a todos aqueles que, dia após dia (e/ou noite após noite...), se debruçam sobre os livros, os apontamentos... e o teclado... para produzir trabalhos como os agora publicados.

Lego ao leitor as páginas desta publicação, para que nelas possa sentir a essência destas breves palavras...

Até sempre

A Redacção

Patrocinado por:



INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO  
**CFN**  
CENTRO DE  
FUSÃO  
NUCLEAR



**CENTRA**  
Centro Multidisciplinar de Astrofísica



**CFIF**  
CENTRO DE FÍSICA DAS INTERACÇÕES FUNDAMENTAIS  
Instituto Superior Técnico-Edifício Ciência (Física)  
Av. Rovisco Pais P-1096 Lisboa Codex  
Tel: (351-1) 8419 092 Fax: (351-1) 8419 143



## Entrevista com o Professor Claus Rolfs (2ª Parte)

Conduzida por Rodrigo Pascoal, Mário Barbosa, Luís Oliveira e Rui Perdigão

Nas páginas que se seguem, é partilhado ao leitor o restante da entrevista feita com o Professor Claus Rolfs em Março de 1998, e saída parcialmente na passada edição nº13 do Pulsar. Nessa mesma edição, encontram-se as referências para uma mais correcta contextualização da entrevista.

### Energias Alternativas

**Pulsar:** O que pensa sobre a energia nuclear e os problemas energéticos que hoje enfrentamos?

**CR:** Tenho sempre grandes discussões com a minha mulher sobre este assunto: ela é completamente "verde" (risos)!

(...) Penso que existem alternativas que deviam ser desenvolvidas, sem dúvida, mas penso que não existem decisões incontestáveis, "preto no branco", em que apenas uma é boa e todas as outras são más. Por exemplo, se se explorarem mais minas de carvão traz-se mais radioactividade para a superfície, e as pessoas não estão cientes disso (A nossa Terra é quente no centro porque tem muitos elementos radioactivos no seu interior). Ainda por cima, polui imenso a atmosfera, temos as chuvas ácidas e todos esses problemas.

O que penso que esteve errado na energia nuclear foi o facto de se ter dito que era uma tecnologia absolutamente segura, e não há tecnologia completamente segura. Quanto mais complicada uma tecnologia mais controlo tem que haver sobre ela. O que aconteceu em Chernobyl foi um teste completamente estúpido (...). É comparável a sentares-te num avião e o piloto de repente decidir

"Gostava de fazer um teste desligando os motores. O que é que irá acontecer?"

**Pulsar:** Mas foi uma experiência?

**CR:** Foi uma coisa parecida, desligaram todos os itens de segurança.

**Pulsar:** Porquê?

**CR:** Isso mesmo... Porquê?! Porquê desligar um motor enquanto se voa? Sabe-se que se vão arranjar grandes problemas... (...) Penso que deveríamos fazer essas tecnologias de modo a que fossem muito mais automatizadas. É humano tornar-se descuidado quando as coisas funcionam durante muitos anos. Trabalha sempre e sempre e sempre, pensa-se que será sempre assim. De repente nota-se: "Oh!, está aqui uma luz vermelha. Ah, mas estava vermelha ontem e não aconteceu nada. Não se preocupem, continuamos a jogar cartas..." E agora está vermelha outra vez "Oh, ontem estava vermelha, continuemos, não aconteceu nada". De repente explode. Tem de haver pessoas bem treinadas no reactor. Puseram pessoas nos reactores (sobretudo nos Estados Unidos), "doras de casa", todo o tipo de coisas, para controlar um reactor, para reduzir custos, porque não queriam gastar dinheiro em

engenheiros para os dirigir. São pessoas que não têm um nível de educação adequado para entender o que significa quando uma lâmpada vermelha acende...

O outro ponto crítico é o lixo radioactivo. Será que temos o direito de pôr isto debaixo do chão poluindo mais a Terra para as próximas gerações? Não penso que o possamos fazer. Nós produzimos artificialmente estes radionuclídos de grande vida média, e sabemos que os podemos destruir de novo, bombardeando-os com partículas e convertendo-os em nuclídos de pequena vida média e assim resolvemos o problema num instante. Tem custos monetários e a nível de desenvolvimento tecnológico logo o lucro de gerir um reactor nuclear será menor. Claro está, se a destruição da "porcaria" que fizemos custar mais do que a energia que se conseguiu obter, então essa tecnologia deve ser abandonada. Julgo que isto é algo em que os físicos nucleares devem trabalhar: descobrir a técnica (de transmutação) adequada para cada um destes raros (cerca de uma dúzia) elementos de grande vida média. Aqui está, mais uma vez, algo que os laboratórios deviam ter nos seus programas. Só então,

penso eu, teremos um argumento válido para ter um plano nuclear: como uma das possibilidades de produzir energia.

No que diz respeito à energia solar e a todas as outras, penso que podemos poupar muita energia, mas não sou muito optimista quanto a serem suficientemente eficientes para mover máquinas. Para a indústria precisamos de petróleo, minas de carvão ou outros recursos poderosos.

Não devíamos queimar petróleo. Precisamos dele para produtos médicos. Não devíamos consumi-lo e deixar as próximas gerações sem petróleo para remédios. Não devíamos desperdiçá-lo.

O Carvão tem problemas com a atmosfera; ainda por cima pomos cá fora radioactividade.

A Fissão é uma tecnologia que nós entendemos, mas tem problemas: tem de ser tão automatizada que coisas como Chernobyl nunca voltem a acontecer. A negligência é absolutamente proibida! Se uma lâmpada vermelha acende tem de ser tudo desligado; e o lixo radioactivo tem de ser removido e não posto debaixo de terra. A maior parte das pessoas pensa que temos que viver com este lixo; não estão conscientes de que ele pode ser de novo destruído. Pensam que isto é feito pelos seres humanos e que agora temos de viver com isto para sempre! Do mesmo modo que o fizemos, a Humanidade fê-lo, também temos maneira de o destruir. Mas isso custa, agora, investimentos em pesquisa para

descobrir como o fazer. Será um longo processo, mas penso que será a única hipótese.

A Fusão, claro, se o Sol a faz isso é toda a motivação que é precisa... As pessoas dizem: "A Natureza faz, nós também podemos fazer." Mas não estou tão optimista quanto a conseguirmos resolver todos os problemas técnicos envolvidos. De qualquer das formas, no fim não estamos livres da radioactividade. Existe um grande fluxo de neutrões que irão activar as paredes do reactor de fusão. Existe também muito Trítio com que tem que se lidar, muitas toneladas de Trítio. Se algo acontece, o Trítio escapa para o ar e isso é perigoso para o Homem porque o Hidrogénio entra nos pulmões facilmente, e fica retido no nosso corpo (nós temos muito Hidrogénio no nosso corpo). Portanto, esta não é o que as pessoas normalmente chamam de fonte de energia limpa. Nada é completamente gratuito na vida. É como quando te casas; nada te garante que vais ser feliz. Podes ser feliz se tiveres sorte. É sempre um risco, o que quer que faças na vida. Com a produção de energia é a mesma coisa.

O que eu temo é outra crise no petróleo... Então as pessoas deixarão de se preocupar com a poluição desde que tenham a electricidade a sair da ficha! As pessoas não irão prescindir do seu frigorífico, da sua televisão, do rádio, e de tudo aquilo a que estão habituados e de que não estão dispostos a abdicar. Antes viver com radioactividade. Aí o pêndulo tenderá de tal forma para um lado em que as pessoas dirão: "Não

quero saber quão seguro é, desde que tenha electricidade a sair da parede." É por isso que eu penso que temos que continuar a trabalhar para melhorar em termos de segurança, para (ter a certeza) que as pessoas nas posições de responsabilidade tenham um nível de educação adequado, para que sejam testadas. As pessoas devem ser testadas todos os anos quanto às suas capacidades intelectuais, tal como os pilotos. Todo o piloto é examinado não só quanto a ser capaz fisicamente como mentalmente. "Será que ele ainda consegue reagir? Será que ainda está alerta?" Apenas devido a testes destes é que existem tão poucos acidentes de aviação. E temos de aplicar o mesmo perfil em todas as tecnologias onde as pessoas possam ser colocadas em risco... (...) Quando uma tecnologia deste tipo não está sob controlo é terrível para os seres humanos. Todas as tecnologias envolvem algum risco e devemos certificar-nos de que é minimizado.

(...)

### Um Futuro (?)

**Pulsar:** Qual vai ser a sua proposta ao ITN? (...) Os meus "espiões" disseram-me que está a tentar convencer o ITN a fazer alguma pesquisa para si.

**CR:** Não, não! Essas coisas surgiram quando eu estava por cá. Eu apenas fui convidado para falar. Só muito depois a Filomena me disse que as pessoas do reactor queriam que falasse lá, e por isso devia prolongar a minha estadia. Se não fosse isso, tinha ido para casa

hoje. Eu disse: "Ok, acho que devo cumprir o meu dever. Devo então responder a essa demanda". Mas fiquei a saber que o funcionamento desse reactor está a ser posto em causa. (...) Actualmente tenho tido também que defender o nosso acelerador em Bochum. Quando se gasta dinheiro dos impostos é legítimo que as pessoas perguntam: "O que é que andam a fazer com o dinheiro dos nossos impostos? Há ainda algo interessante a fazer?..."

**Pulsar:** Uma coisa é fazer perguntas, a outra é aquilo que estavam a fazer (...): estavam a pensar vender tudo e fazer condomínios. Uma coisa é perguntar: "Devem fazer ciência, mas que ciência estão a fazer?", a outra é...

**CR:** "Se não há mais ciência a fazer, então, por favor, fechem-no", decididamente. E por isso devia ser avaliado de um modo crítico. O que eu tentei foi ajudar-vos nas vossas próprias decisões, vendo o que, do meu ponto de vista, faria neste reactor. Vejo ainda grandes programas (de investigação) que podem ser feitos nos próximos 30 anos. O que acontecerá após 30 anos, não posso prever. Mas vejo um interessante programa de investigação que podia ser feito com estas instalações, sem ter de as fechar. Estou certo que, à medida que se avança e aparecem novos desenvolvimentos, outras coisas hão-de surgir, para a indústria ou qualquer outra coisa. Mas teriam como base um bom e sólido programa de investigação. Se eu fosse português, se estivesse aqui e não fosse tão velho como sou, era a isto que me agarrava, era isto que faria.

**Pulsar:** O que lhes irá dizer relativamente às novas experiências que podem fazer?

**CR:** Dir-lhes-ei onde existem questões em aberto, onde os neutrões produzidos num tal reactor podem constituir uma contribuição muito importante para a ciência.

**Pulsar:** Tais como?...

**CR:** Tais como... Como expliquei ontem relativamente aos processos S, tradicionalmente as secções eficazes para esta captura de neutrões foram medidas a uma só energia, nomeadamente a 30 keV. No entanto uma análise mais cuidada mostra que não existe somente uma energia para os neutrões no seio de uma estrela, mas a estrela evolui e portanto existe uma distribuição energética para os neutrões. Portanto, precisamos de uma secção eficaz ao longo de uma gama de energias mais vasta, qualquer coisa como até aos 150 keV. Para todos estes núcleos em que se dão processos S, há que voltar a medir a secção eficaz para a captura de neutrões desde os 30 keV até aos 150 keV. Isto é absolutamente necessário.

(...)

**CR:** Vejo que agora tenho o dever de ajudar a próxima geração a ter perspectivas. Faço esforços no meu campo no LUNA para conseguir instalar lá o próximo acelerador (LUNA II), e para garantir que mesmo a fase III do LUNA venha a caminho. Depois já posso morrer feliz, já sei que isto vai continuar. Talvez com este vosso reactor possa haver outra actividade científica, espero. Já não existem muitos reactores de

pesquisa no mundo. Na Alemanha fecharam completamente Karlsruhe, Jülide e München. Só em München é que vão construir um novo, e sabem para que campo? Para Astrofísica, para feixes radioactivos. Ora, vocês têm um reactor cá. Não têm o alto fluxo que estão a planear para München (alto fluxo é preciso quando se querem produzir nuclídos de muito pequena vida média), mas existe toda esta área de nuclídos de vida média mais longa, onde o vosso reactor pode ser muito útil. Portanto, se vocês não o fizerem, provavelmente nunca iremos compreender como as coisas se passam nas estrelas.

(...)

**Pulsar:** O nosso espião disse-nos também que o Professor Claus Rolfs provavelmente conhecia a realidade científica em Portugal. Isto é verdade?

**CR:** Não.

**Pulsar:** Sabe que temos tal reactor, tais instrumentos, e provavelmente está consciente de algumas das suas características e possibilidades. Isto levanta a suspeita de que dispõe de informação privilegiada, ou talvez algum poder de decisão sobre quem consegue...

**CR:** Não. Conheço o Soares muito bem (Ele é presentemente o director do ITN), mas eu sempre lhe teci as minhas críticas muito abertamente e sempre troquei impressões com ele. Somos colegas e conheço-o há já muitos anos. Pelo que comprehendo, e ele disse-me claramente, existe uma situação crítica no reactor: fechar ou não.

Eu comprehendo isto, eu estou numa situação semelhante com os meus aceleradores; nós somos avaliados. Julgo que temos de passar por esta avaliação, temos que pôr as cartas na mesa. "Quanto custa? Qual a perspectiva de futuro? O que é que se pode fazer?" E tem que haver uma decisão "Será que vale a pena continuar com este reactor?" Bem, eu não sei quantas pessoas, a nível nacional, estariam interessadas. "Temos alguma opção?" Tudo o que procurei foi, e não discuti isto ainda com o Soares, um programa de investigação. A Filomena perguntou-me directamente: "Que tipo de projectos se podem fazer ali?" Foi assim que eu comecei a pensar em progressos na discussão. Agora fica para o vosso país e para as pessoas envolvidas decidir se isto pode ser implementado ou não. Sentir-me-ia triste se isto não fosse implementado, mas esta é uma decisão que vocês têm que tomar. "Existe suficiente mão-de-obra? Existe interesse suficiente? Conseguimos encontrar um grupo destes ou não?" Reparem, vocês têm uma opção, devem discuti-la até ao fim. Não devem deixar isto escapar para as mãos de outras pessoas de forma a que vocês não estejam envolvidos na decisão. Devem meter o dedo. Mas no fim tornem claro se acharem "Oh, há outras coisas que são melhores para este país." Então votem dizendo não, não estão interessados. Mas não deixem de estar envolvidos na decisão porque são vocês, não o Soares nem eu (que em 5 ou 6 anos estamos reformados), serão vocês quem vai levar

a bola.

**Pulsar:** Mas o problema é "O que é que podemos fazer?"

**CR:** Peçam para serem membros dos comités que decidem sobre isto. Façam-no, é do vosso direito.

**Pulsar:** Mas nós somos cerca de 200 estudantes (aqui) em Física (...) e não temos força suficiente para lhes dizer: "Nós precisamos do reactor. Há campos em aberto por explorar. Portanto, nós gostaríamos de o ter aberto e de poder trabalhar nele." E eles dizem "Estão lá (e talvez só) 30 pessoas a trabalhar, é muito dinheiro..."

**CR:** Mas não deixem que esta decisão seja tomada somente por pessoas que não estejam envolvidas. Vocês estão num sistema democrático e deveriam estar (envolvidos), porque eles vão decidir sobre o vosso futuro.

**Pulsar:** É mesmo isso! Este é um sistema democrático e toda a gente paga o reactor, mas existem somente 30 pessoas a trabalhar lá. Poderíamos fazer como diz, chamá-los e tentar explicar-lhes qual a importância daquilo, tentar captar a sua atenção, o seu entusiasmo, mas... se não conseguirmos, eles vão fechar aquilo.

**CR:** (...) Em Inglaterra, jovens cientistas formaram um grupo chamado "Under 40", e eles estiveram envolvidos nas decisões em Inglaterra. Qual deveria ser a próxima grande instituição de investigação ou a próxima grande orientação. Aqui a questão não é a mesma. Aqui a questão é: "Você têm um reactor, será que devem continuar a tê-lo?" Mas... talvez daqui a 5 anos haja algo muito

"quente" com estes neutrões, e vocês terão desistido de tudo. Acho que todo o país deveria pelo menos manter, se é que já tem, algumas das suas instalações a funcionar. É a minha filosofia.

**Pulsar:** Se o fechamos, nunca mais voltamos a abri-lo porque não temos dinheiro para construir outro.

**CR:** É isso, absolutamente. Portanto envolvam-se, descubram quais são os argumentos, quer para fechar quer para o manter. Vocês têm que estar envolvidos porque é o vosso futuro (de alguns de vós), da vossa geração de Físicos, Físicos Nucleares em Portugal. Não deixem que a decisão seja tomada somente pelo Soares, juntamente com o Ministro ou juntamente com qualquer outra pessoa. Tentem pôr o pé na porta. Ajudem-nos com argumentos do vosso ponto de vista, ou desmontem argumentos que eles tragam. Mostrem-lhes que este não é, do vosso ponto de vista, um bom argumento, ou que talvez outro argumento seja mais forte. Envolvam-se! Estejam envolvidos na decisão final, qualquer que ela seja. Não estou a defender qualquer uma das hipóteses. Só quero alertar-vos para o facto de que esta é uma altura importante em que, àcerca de uma grande instituição, se vai tomar uma decisão crítica. Não deixem que isto vos escorregue, vocês percebem Física suficiente para seguir um ou outro aspecto, para fazerem perguntas ou para fazerem novos comentários, ou dizer "Queremos uma avaliação externa", ou qualquer outra coisa. Não deixem que tomem uma decisão demasiado rápida. Talvez

descubram que eles precisem de uma qualquer infraestrutura tal como um tamanho crítico para começarem algo de novo. E talvez a esta estrutura crítica tenha que ser dada muita liberdade e responsabilidade, possibilidade de decisão, que não tenham que ouvir do velhote que não está lá "Não, nós não queremos fazer isto." Não, tem que lhe ser dada uma oportunidade, se tal estrutura crítica puder ser encontrada, de que possam também pôr coisas em agenda. Isto era o que eu queria evitar, que vocês deixassem escapar isto, uma decisão que, se daqui a 5 anos surge algo, vos levará a dizer: "Céus!, agora podíamos fazer isto tudo aqui..."

(...)

**Pulsar:** Julgo que existe um problema com os estudantes de Física (pelo menos alguns dos que eu conheço): este curso implica um grande compromisso - e as pessoas têm vida pessoal - e portanto pouco fica para pensar no futuro. E as pessoas não gostam de dar uma opinião porque existem sempre professores ou alguém importante que discorda e eles temem sempre as consequências...

(...)

**CR:** O que é que eu deveria dizer ao Soares? (Vou estar com ele amanhã.) Devo dizer-lhe que ele deve ter envolvido um representante dos grupos de estudantes? Devo pressioná-lo para isso? Ele não queria ter este trabalho, eu sei, ele detestou. O Ministro forçou-o a ser o actual Director. Ele não gostou nada disso. Devem ver isto como um peso para ele. Ele recusou-se veementemente a fazer isto mas o Governo forçou-

-o a tomar o lugar. É um lugar ingrato, tem que decidir fechar uma coisa. (...) Não acho que tenha de ser dessa maneira. Tem de se criar novas condições fronteira para que um novo grupo tenha hipótese de começar. Pode ser um requisito: se se diz "Sim", então tem que se criar condições para que este "Sim" seja possível. Mas ele pode decidir antes e "Não". Então não há condições a impôr...

### "Crise? Qual Crise?"

**Pulsar:** Está a par da existência de uma crise de emprego em Física? Queremos dizer, em Portugal os que acabam o curso têm de ir para fora fazer um Doutoramento. Depois vêm e não têm onde trabalhar... Nós não temos onde trabalhar em Portugal.

**CR:** Depois de terem o vosso Doutoramento vocês conseguem encontrar lugar na Indústria?

**Pulsar:** A Indústria em Portugal não investe assim tanto na pesquisa. Temos algumas empresas que fazem e pagam investigação, mas não muito. A maior parte do nosso tecido empresarial é [feito de] pequenas empresas familiares. (...)

**CR:** Toda a grande empresa, por exemplo a IBM ou a Siemens ou assim, costumava ter um departamento de pesquisa muito grande. Mas nos últimos 10 anos reduziram estes laboratórios a uma quantidade ínfima. Preferem comprar as patentes noutro lado qualquer. Mas onde é que é este lado qualquer? (...) Estes eram sítios onde os Físicos encontravam um trabalho.

**Pulsar:** Temos alguém que acabou o curso há cerca de 2 anos e que está a trabalhar na Siemens, e que já é alguém importante lá dentro...

**CR:** A Siemens não seguiu esta linha Americana de reduzir os projectos de investigação até um nível negligível. Normalmente a Europa segue os Estados Unidos com algum atraso de fase. Espero que não, porque é uma decisão estúpida. (...) Julgo que devemos ter pesquisa tanto em campos básicos como aplicados. Nada que seja apenas por uma questão de cultura. Talvez o vosso país deva dar mais ênfase à pesquisa aplicada, dando-lhe talvez mais peso. Talvez eu esteja errado - não tenho uma visão suficientemente esclarecida de quanta pesquisa é feita nos vários locais, nas várias áreas de aplicação, esta pequena visita não me permitiu saber - mas eu acusei à Filomena: por aquilo a que fui exposto fiquei com a impressão de que a educação estava sobrecarregada de teoria. (...) Disse isto como uma crítica. (...)

**Pulsar:** Mais uma vez, acerca da crise (...), tenho algumas informações - não oficiais, não fidedignas, porque não me lembro exactamente dos números. Julgo que os Americanos fizeram um estudo e apenas 10 % dos físicos doutorados estavam de facto a trabalhar em Física. O resto... era de padres a neurocirurgiões...

**CR:** No passado, a maioria acabava em projectos de pesquisa militar, em "Los Alamos" ou em "Livermore"...

**Pulsar:** Existia um grande esforço, queriam de facto ver a Física a funcionar. Eles sabiam aquilo em que eram de facto bons.

**CR:** Eu penso que grande parte ainda consegue encontrar trabalho lá hoje em dia. Por todo mundo o número de estudantes de ciências naturais tem decrescido de um modo significativo com o passar dos anos. Não é apenas um problema da Física, é de todas as ciências naturais. Química...

**Pulsar:** Mas nós temos uma população em crescimento; no entanto o número de estudantes de Física e de cientistas em geral está a diminuir; qual é problema?

**CR:** Não me parece comprensível. "Para onde é que eles vão?" vamos encontrá-los, não na Biofísica - eu compreenderia se eles fossem para Biofísica - não, vão para Direito, Economia, ... Provavelmente acham que esse é o caminho que mais depressa lhes trará rendimentos. Mas se muitos estudantes escolhem esse caminho, vai haver falta de lugares para tanta gente e, além disso, haverá falta de outras coisas de que a economia necessita. É por isso que não entendo (há um movimento de massas, mas...). No meu país, por exemplo, o numero de engenheiros teve a maior redução, num factor de 3. Não entendo como é que o meu país vai sobreviver sem engenheiros. Por que é que os jovens não se interessam por nenhum dos campos das ciências naturais? Por que é que isso acontece? Tenho de fazer esta pergunta, não vocês, porque eu não consigo explicá-la. Abrem postos

de trabalho, na indústria. São necessárias pessoas para decidir, para desenvolver produtos. (...) Eu penso que, como agora há falta de gente, muitos empregos surgirão; é uma oportunidade única para entrar para estes campos. Existe agora uma oportunidade melhor que nunca para encontrar um emprego, mas não há interessados, Por que é que isso acontece?

**Pulsar:** Isso é bom para nós, para os interessados, teremos mais oportunidades ...

**CR:** (Risos) ... Eu estou-me a rir, mas devia era ficar triste ... Vem aí uma altura única, em que se poderão escolher os empregos. Mas a consequência é, quando o numero de estudantes diminui, a diminuição pelo governo do número de professores... (...)

**Pulsar:** Sabe que esta conversa é para um jornal de estudantes de Física. O que pensa que deve um curso de Física ter, como base standard, para que os seus estudantes estejam preparados quer para a indústria quer para trabalhar em Física Teórica?

**CR:** Temos um problema parecido na minha universidade (...) Penso que os novos empregos exigem um conhecimento mais interdisciplinar, quer se vá trabalhar como engenheiro ou como investigador em questões ecológicas, questões sociais ou qualquer outra coisa que necessite de conhecimentos de outras áreas; entender pelo menos as palavras e a terminologia. Por exemplo, se se quer ser investigador nesta área, tem de se saber Física, entender Química, um bocadinho de Biologia, e depois os aspectos sociais. Tem de se saber um pouco de tudo. Não

digo que se seja um especialista, mas digamos que devem ter os dois primeiros anos com tudo da Física, para aprender os princípios da Matemática, da Mecânica, da Termodinâmica, da Óptica, aprender Electromagnetismo, coisas básicas: corrente, carga, campos, ondas, vibrações, e por ai adiante. Se alguém estiver interessado em combinar tudo isto não pode ir tão a fundo como se se dedicar a apenas um dos domínios. O que a indústria gosta é de pessoas que possam combinar as coisas (nós desenvolvemos coisas para tornar melhor o ar ou a água ou o que quer que seja)...

**Pulsar:** No nosso curso temos 3 anos de Física e Matemática, podendo depois escolher de entre um vasto leque de opções. Pensa que, por exemplo, as cadeiras de laboratório são determinantes quando se pensa ir trabalhar para a indústria?

**CR:** Sim, absolutamente!

**Pulsar:** De que modo?

**CR:** Penso que não se necessita muito do formalismo profundo do Hamiltoniano e do Lagrangeano, de todas essas coisas muito elaboradas. Mas o fenómeno base, temos de "ter mão nele", e saber como trabalhá-lo, como estimar uma grandeza, ver para onde ela tende... Estas é que têm de ser as ferramentas base! Se vai até questões de microestruturas mais profundas, temos de ler, de investigar, temos de nos familiarizar com as coisas. Se, no entanto, se tratar de uma questão da nossa sociedade, a resposta não pode ser dada só por um Físico, por um Químico ou por um Biólogo. Tem de ser alguém que tenha uma

ligação interdisciplinar, alguém que consiga ver os "links"; é gente dessa que a indústria procura. É isso o mais necessário.

**Pulsar:** Será que a indústria e o próprio mercado estão cientes disso? Não estaremos a falar sózinhos? Está mesmo a notar-se que a indústria precisa de gente assim?

**CR:** Sim. Já existem cursos especiais a apontar nesse sentido, desenvolvidos na universidade de Estugarda, que é uma universidade muito técnica, lá têm esses cursos que combinam vários campos do conhecimento. Todos estes estudantes - a que não podemos chamar Físicos nem Químicos, não sei que nome lhes dar, mas estes "cientistas interdisciplinares" - encontrarão empregos muito facilmente.

**Pulsar:** Portanto, a Indústria precisa das pontes...

**CR:** Sim, porque as questões dos nossos dias parecem precisar de mais e mais conhecimentos entre disciplinas. Se só tens conhecimentos de uma área não podes perceber por que é que algo é um problema noutra. Não tens de perceber das outras áreas a ponto de conseguir um lugar de professor. Em vez disso precisas de perceber coisas básicas (como em Física: o que é um momento, uma massa, uma densidade, uma viscosidade...), não coisas muito complicadas. (...) Claro, existem depois várias combinações diferentes. Um estudante talvez gostasse de fazer Física, Química, e talvez estudar um pouco de Direito. Ou Biologia, Química, e algumas questões sociais. É isto um produto aceitável para a

Sociedade? Existirão depois empregos? (...) Existem várias combinações que um estudante pode escolher numa tal nova oferta de aulas. Existem demasiadas combinações, mas vocês devem conseguir o vosso curso dentro de um tempo finito, senão juntarias Física e precisariam de 8 anos, para Química 8 anos, 8 anos para Biologia, e quando finalmente és um especialista em todas as três áreas estás a reformar-te! (risos) Portanto temos de reduzir isto ao básico, tens de fazer uma escolha de talvez dois ou três campos. Depois não serás um especialista em Física como um diplomado normal seria, mas conseguiras falar com um Físico, perceberias o básico. Mas tens a vantagem, comparativamente a um Físico "puro", de ter um conhecimento básico em Química, conhecimentos básicos em Biologia...

**Pulsar:** É um maior potencial para aprender...

**CR:** Sim. E isso é complicado de implementar, uma vez que está fora de qualquer universidade. Quando se tem um diploma, tem-se um diploma em Física, em Química, em Biologia. Aqui tem de haver uma universidade imaginária combinando as três; não é linear a resolução deste problema. Estugarda encontrou uma solução. Criaram uma universidade "imaginária", todas as cadeiras têm um professor, e, no fim, escrevem um diploma da Universidade de Estugarda: "És engenheiro nisto, naquilo e naqueloutro". É este o teu grau dado por esta "faculdade para o desenvolvimento interdisciplinar".

Há que tentar, sempre que possível, descer à terra. Há que

tentar algumas técnicas, fazer algumas experiências laboratoriais. É isso que a indústria precisa, uma boa mistura de prática e de teoria. Não sei se já vos disse que Richard Feynman só aceitava um estudante para doutoramento se ele tivesse feito um trabalho experimental como projecto de curso. Só assim ele era aceite como estudante teórico.

**Pulsar:** O que diria então àqueles que não querem ter nada a ver com a indústria e que querem seguir a via teórica? O que lhes diria, qual o rumo que os aconselharia a seguir, uma vez que todos são necessários?

**CR:** Que... Tentem vários ramos, que tentem aprender o máximo de técnicas possíveis, e como fazer as coisas...

**Pulsar:** Acha que ainda há alguma possibilidade para os Físicos puramente teóricos?

**CR:** Sim, oh sim! Se se for suficientemente esperto para fazer teoria, não é muito diferente da Física experimental, só que aí, em vez de aprender a correr programas e a inseri-los nos melhores computadores, aprende-se a lidar com as coisas... bombas de vácuo e qual o seu princípio... É tudo Física, é tudo Física!

*No próximo Pulsar...*

*Especial sobre o Nobel da Física 1999, com a colaboração do Professor Gustavo Castelo Branco.*

O fenômeno do som consiste basicamente na propagação de uma onda de pressão no ar. Do ponto de vista musical interessa produzir som com determinadas características físicas, como tais a presença de oscilações bem definidas (frequências determinadas), que possibilita a obtenção de um som sustentado, que mantém as suas características de frequência por um determinado número de ciclos, com a presença de harmónicos. (O timbre é característico da cada instrumento e não é relevante na teoria das escalas musicais, apesar de apresentar um forte efeito estético introduzindo diversidade no espectro dos instrumentos).

Tomemos então arbitrariamente uma determinada frequência fundamental (de preferência dentro do espectro audível humano!!!) como a frequência padrão para a nossa primeira nota (tónica). A emissão desta nota é marcada pela presença de frequências harmónicas múltiplas inteiras da frequência fundamental.

Se produzirmos uma nota com frequência fundamental idêntica à de um dos harmónicos de outra, obtemos uma sensação auditiva natural pois as notas encontram-se em "simpatia" (termo musical), isto é, ocorre um fenômeno de ressonância porque a fundamental de uma nota coincide com o harmônico da outra.

Construamos pois a nossa escala musical como uma estrutura de  $n$  graus (notas ou semi-tonos<sup>1</sup>) sequenciais entre a nossa nota fundamental e a nota correspondente ao primeiro harmônico da fundamental (oitava), que tem frequência dupla desta.

Surgem agora as questões de quantos graus devem existir e, mais importante, que graus incluir nesta escala.

Precisamos, pois, de outra nota que dê estrutura à escala. É necessário, para que a escala nos pareça musicalmente equilibrada, que haja uma certa simpatia entre esta nova nota e a tónica, mas que simultaneamente introduza diversidade de harmónicos, pois não se constrói música apenas com oitavas.

A opção mais simples é a de escolher uma fre-

quência para a nossa nova nota (que é denominada dominante) que seja  $3/2$  da frequência da tónica, pois os seus harmónicos apresentarão a relação desejada:

Harmônico	Tónica	Dominante
1	F	$3/2 F$
2	$2F$	$3F$
3	$3F$	$9/2 F = (3+6)/2 F$
4	$4F$	$6F$
5	$5F$	$15/2 F = (9+6)/2 F$
6	$6F$	$9F$
...	...	...
p	$pF$	$3p/2 F$

Destes modo temos presente na dominante harmónicos que alternadamente pertencem à tónica (pares) ou não (ímpares).

Note-se ainda que as frequências que não pertencem aos harmónicos da tónica têm sempre o valor médio dos seus harmónicos vizinhos, o que confere à dominante um espectro de harmónicos muito equilibrado.

Determinada a nossa dominante, falta estabelecer o modo como os graus progridem na escala. Sabemos para já que a frequência vai aumentar partindo da tónica, passando pela dominante e atingindo a oitava.

Desejamos, porém, uma escala temperada, isto é, uma escala que permita ser transposta. A transposição é um conceito chave em teoria musical e basicamente consiste em que, dada uma composição musical que tenha como tónica uma nota de frequência  $F$ , se alterarmos a tónica para  $F'$  (pertencente à escala) subindo  $m$  meios-tons, todas as outras notas serão alteradas para notas de frequências ainda pertencentes à escala e também  $m$  meios-tons acima da sua posição anterior. Daí que tenhamos partido de uma fundamental arbitrária.

Assim obtemos a escala como uma progressão geométrica de frequências de razão  $r$ . (Se a progressão fosse outra a escala não seria temperada).

Temos, pois, três “axiomas” para formar a escala, justificados utilizando argumentos físicos e da teoria musical:

1- A escala estabelece-se na gama de frequências entre a tónica ( $F$ ) e a sua oitava ( $2F$ ) com  $n$  notas;

2- A escala contém uma nota (dominante) que tem a relação  $q$  com a tónica:  $Q=q.F$  ( $q=3/2$ );

3- A escala é temperada, isto é, as notas têm as frequências em progressão geométrica de razão  $r$ :  $F_m = F \cdot r^m$ .

Assim, aplicando 3 a 1 e 2 e combinando, obtemos a relação entre o grau da dominante e número de graus da escala:

$$\begin{cases} 2 \cdot F = F \cdot r^n \\ q \cdot F = F \cdot r^k \end{cases} \Rightarrow 2^{\frac{k}{n}} = q \Leftrightarrow \frac{k}{n} = \frac{\ln q}{\ln 2}$$

Sabendo que  $\frac{k}{n} \in \mathbb{Q}$ , e que, em geral,  $\frac{\ln q}{\ln 2} \in \mathbb{R}$ , não vai ser possível obter sempre uma escala com uma dominante exacta, podendo sempre obter uma com um erro tão pequeno quanto o desejado.

Façamos isto para  $q=3/2$ .

Obtemos a sucessão:

$$\frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{7}{12}, \frac{24}{41}, \frac{31}{53}, \dots$$

Calculemos agora  $r$  e a relação entre a dominante e a tónica, para estes 5 casos:

$\frac{k}{n}$	$r = 2^{\frac{1}{n}}$	$\frac{Q}{F} = \frac{F \cdot r^k}{F} = 2^{\frac{k}{n}}$
$\frac{1}{2}$	1.41421356237	1,41421356237
$\frac{3}{5}$	1,48698355	1,51571656651
$\frac{7}{12}$	1.05946309436	1,49830707688
$\frac{24}{41}$	1.0170497444	1,50041943306
$\frac{31}{53}$	1,01316414302	1,49994090308

Vemos que a primeira opção (1/2) tem uma dominante bastante grosseira ( $1,414 \neq 3/2$ ), mas já a segunda ( $3/5$ ) é aceitável melodicamente ( $1,516 \approx 1,5$ ). De facto, escalas pentatónicas (de 5 notas) com a dominante na terceira nota são usadas na música tradicional Chinesa e Peruana e até por alguns autores de música ocidental. Uma muito boa aproximação é a escala de 12 meios-tons com a dominante 7 meios-tons acima da fundamental ( $7/12$ ): a escala temperada ocidental. ( $1,498 \approx 1,5$ )

Podemos ainda prever uma escala seguinte, ainda sem uso divulgado (dir-se-ia mesmo apenas em uso experimental), uma escala com 41 meios-tons com a dominante no 24º meio-tom.

Apesar destas duas últimas hipóteses serem muito mais perfeitas a nível acústico, são mais complexas e difíceis de manejar: têm uma dominante mais perfeita e próxima da dominante pura, à custa da introdução de um maior número de graus na escala. Se levarmos o processo ao limite,  $r \rightarrow 1$  e  $q \rightarrow 3/2$ , pelo que obteríamos uma dominante perfeita à custa de uma escala com infinitas notas!

<sup>1</sup> Os termos diferem todos uns dos outros na teoria musical, mas serão aqui usados com o mesmo sentido

De todos os conceitos com que alguém se possa ter deparado, um dos mais intrigantes é o de acaso. E mesmo que o leitor não acredite em acaso (o que levanta questões interessantes acerca do seu livre-arbitrio), ele parece existir; surge, por exemplo, numa das mais importantes teorias científicas, a física quântica. Ao indivíduo pensador põe-se o dilema: nesse caso, como encarar a fenomenologia da realidade física, ordem ou acaso? Ou talvez o dilema seja aparente, e nesse caso prevaleça a opinião de Born: "*Our philosophy is dualistic in this respect; nature is ruled by laws of cause and laws of chance in a certain mixture*"[4]. Ou será que o problema reside apenas no nosso conceito de realidade? - "*I don't know what reality is*", afirma Peierls[10], outro importante físico deste século.

da teoria da catástrofe; outros ainda falam de comportamentos confusos, de variações do Dow Jones, de estratégias de jogo... e a noção é fundamentalmente a mesma. Algo relacionado com imprevisibilidade, irregularidade, comportamento desordenado, errático ou aleatório, ausência de regra - é assim que se concebe o acaso. Pois... então o leitor arranjou um processo (regra) para reconhecer o acaso: um comportamento diz-se ao acaso se e só se não possui qualquer regra. Mas se o acaso é característica do que não tem regra, então a regra do leitor não pode definir o acaso. E se a sua regra não define o acaso, então o acaso possui alguma regra (porque a sua regra diz que ele não tem). Mas se possui regra, é porque não é ao acaso, mas se for assim... (suspiro) - ao definir acaso, a contradição é

Um conceito de alguma forma relacionado com o acaso é o de complexidade. Todos temos a noção de que qualquer objecto, independentemente da sua natureza (imagem, som, cheiro, etc), é caracterizado por uma certa complexidade. Mas o que representa a complexidade?

A dificuldade em quantificar esta noção intuitiva é óbvia: encontrar uma medida que não restrinja todos os casos possíveis (físicos ou conceptuais) - como comparar, por exemplo, a complexidade de uma sonata de Beethoven com a complexidade de um quadro de Matisse?

Uma possível formalização é-nos fornecida pela teoria da computação, através da *complexidade algorítmica* (ou de *Kolmogorov-Chaitin*). Para calcular a complexidade-KC de uma sequência binária  $\langle S \rangle$  é necessário determinar o menor programa que imprime  $\langle S \rangle$  numa máquina de Turing<sup>2</sup> universal (o programa "elegante" de Chaitin[8] ou "canónico", segundo Calude[5]) - o tamanho desse programa, em bits, corresponde à complexidade algorítmica da sequência  $\langle S \rangle$ <sup>3</sup>. E o acaso é definido como complexidade-KC máxima, o que corresponde a afirmar que uma sequência ao acaso não é algorítmicamente compressível, isto é, não possui qualquer estrutura interior<sup>4</sup>. Há contudo um problema fundamental: não é possível criar um



Movimento browniano

A alguns, o acaso sugere um misterioso atrator estranho a «flutuar» num espaço n-dimensional; para outros, é uma referência a probabilidades e estatística ou até a certos aspectos

inevitável<sup>1</sup>. Gostaríamos de possuir uma lei para o acaso, mas todas as leis são, por definição, deterministas. Não será um contra-senso falar de «leis do acaso» (*"Le hasard, n'est-ce pas précisément ce qui est en dehors de toute règle, de toute loi?"*[3])?

algoritmo que, de uma maneira geral, nos dê a complexidade-KC de uma sequência<sup>5</sup>. E esta impossibilidade até parece razoável - de facto, se o leitor conseguiu

devolver qualquer resultado ("halting problem")?

Em jeito de resumo: estamos impossibilitados de calcular a complexidade-KC de

nossa problema continua em aberto.

Poderá o leitor pensar que este notável conceito de acaso se encontra apenas em determinados ambientes especiais, como a lógica ou a matemática, de que acabei de falar, ou mesmo em qualquer outro domínio certamente longe de si. De facto, é cada vez mais comum a observação de que o ser humano, na sua evolução em direcção sabe-se lá ao quê, tenta constantemente ordenar o seu meio-ambiente. Uma dessas tentativas, que já mencionámos, chama-se física quântica e é uma das grandes teorias actualmente aceites. É, por isso, sintomático que ela abrigue um conceito como o acaso: porque não prediz este ou aquele acontecimento individual (ao nível quântico), mas apenas as probabilidades, as proporções em que eles acontecem. É esta a origem da sua radicalidade: "We do not know how to predict what would happen in a given circumstance, and we believe now that it is impossible - that the only thing that can be predicted is the probability of different events", afirma Feynman nas suas *Lectures*[13]. Ou, para mencionar um caso concreto (próxima figura): "But, in the case of the photons and the polarizer, one might well find that two identical experiments produced different results, as one photon passed through the polarizer while another identical photon was blocked"[10].

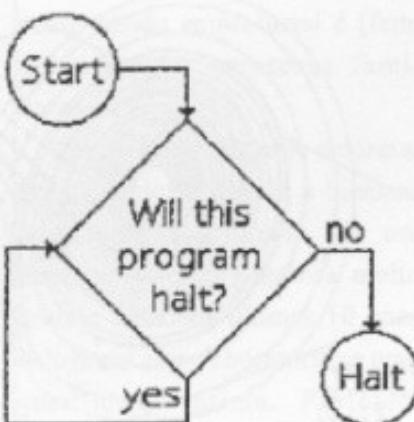


Pormenor da Capela Sistina, por Miguel Ângelo: "Criação das Plantas e dos Astros". Será esta pintura complexa? E porquê?

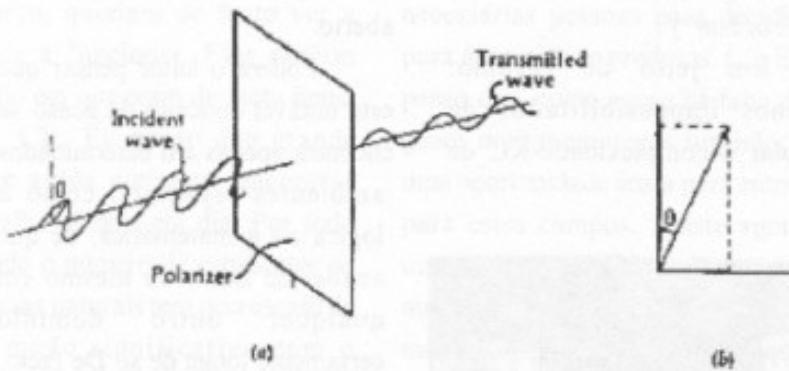
encontrar um algoritmo curto que descreva a sequência pretendida, isso não implica que eu o consiga também encontrar. E mesmo que todos tenham encontrado o mesmo algoritmo curto, isso certamente não o torna o *mais* curto.

À partida, o leitor poderia pensar em escrever todos os programas de computador com menos de  $|<S>|^6$  bits, executá-los na sua potente máquina de Turing e ver qual daria  $<S>$  como resposta. No entanto, também aqui surge um obstáculo importante: é que, de um modo geral, não é possível saber quando é que uma máquina de Turing vai terminar os cálculos e parar... pode ficar para sempre a funcionar, sem nunca parar e sem

uma sequência em geral. E se não podemos calcular a complexidade-KC, então não podemos determinar, pela definição, se uma sequência é, ou não, ao acaso - o



A irresolubilidade do problema da paragem ("halting problem").



Classicamente, um feixe de luz polarizada passa através do polarizador vertical com uma intensidade reduzida de  $(\cos\theta)^2$ , emergindo polarizada na vertical. Mas se considerarmos o feixe como um fluxo de fotões semelhantes, só podemos explicar este fenómeno se suposermos que alguns fotões passam enquanto outros, idênticos, são bloqueados - é esta seleção que se considera aleatória.

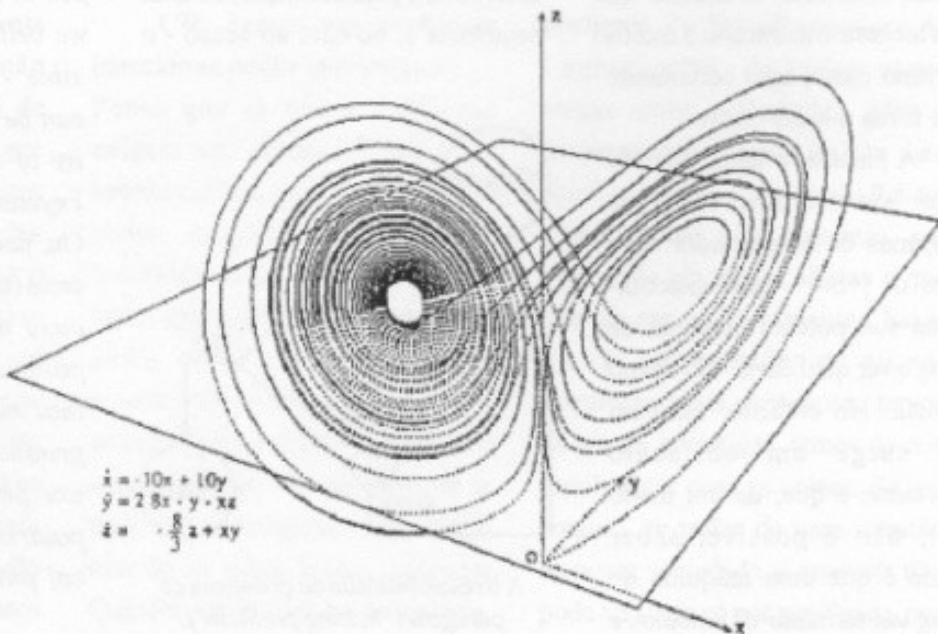
Mas vejo que os processos quânticos são um domínio tão afastado do senso-comum que não é de admirar nele a existência de um conceito tão estranho como o «acaso»...

Existe, no estudo de sistemas dinâmicos, uma expressão intimamente relacionada com o acaso: dependência sensível das condições iniciais<sup>8</sup>. Esta expressão qualifica o comportamento peculiar de certos sistemas não-lineares (estou a falar, por exemplo, da convexão, de reacções químicas, de pêndulos forçados, e outros[9]). Suponhamos que o leitor, no seu papel de cientista, vai investigar um destes sistemas que mencionei. Como cientista contemporâneo que é, vai comparar a evolução temporal do seu sistema com uma simulação em computador. Prepara a sua experiência, realiza-a e obtém uma série de

valores que correspondem à evolução de uma temperatura, de uma concentração ou outro parâmetro de interesse. Por outro lado, através da sua simulação, obtém outra sequência de valores: os valores previstos. Ao comparar estes dois conjuntos de valores, decerto ficará desiludido: é que as duas sequências, em relativamente pouco tempo, divergiram uma da outra ao ponto de nada terem em

comum entre si. As suas primeiras explicações para o sucedido incluirão certamente a má preparação da experiência ou até a modelação incorrecta do sistema físico. Mas não foi assim que Lorenz, um meteorologista do M.I.T., encarou a coisa quando algo parecido lhe sucedeu (Lorenz notou a discrepância entre duas simulações em computador, com condições iniciais próximas) - é que o leitor, ao utilizar na sua simulação valores experimentais (as condições iniciais), utilizou também o erro de que esses valores vinham afectados. E devido à dependência sensível das condições iniciais, esse erro cresceu, mascarando a previsão correcta<sup>9</sup>.

Se quiser, é uma peculiaridade da matemática dos sistemas que apresentam esta sensibilidade às condições iniciais (também sistemas caóticos): com



O atrator de Lorenz (de [25])

um pouco de acaso nas condições iniciais e após um período de tempo relativamente curto, obtemos muito acaso. Se for “caótico”, o sistema como que «transporta» a informação das pequenas escalas (não mensuráveis) para as grandes escalas (mensuráveis) - diz-se que possui uma taxa intrínseca de produção de informação<sup>10</sup>. E é este conjunto de informação, desconhecida para o cientista, que surge como acaso quando este compara a previsão que fez com as suas medidas experimentais.

Encontramos esta dualidade acaso/informação, por exemplo, na definição de Shaw[30]: “A number is «random» with respect to a particular body of information if it cannot be generated from that body by logical manipulations”. Mas mesmo que as manipulações lógicas sejam em número finito (existem certamente modelos em que o não são), o conjunto de todos os números possíveis de «realizar» é infinito - por muito que o leitor tente, pode nunca encontrar qualquer relação entre o «corpo de informação» e o «número ao acaso».

E quem fará as «manipulações lógicas»?; como não deixar de incluir nessa manipulação o funcionamento do próprio cérebro? Acho importante sublinhar este ponto de vista: um determinado padrão pode existir mas ser irreconhecível - “La suite des chiffres de  $2^{1/2}$  obéit, en effet, nécessairement à une loi, puisqu'elle est déterminée; mais nous ignorons cette loi”, faz notar Borél[3]. Esta maneira de encarar o acaso surge também, por exemplo, na Física Estatística.

Nos finais do séc. XIX, Boltzman inventou um maneira de quantificar, de certa forma, o acaso de um sistema dinâmico, através do conceito entropia, mais tarde utilizado por Shannon no âmbito da teoria da informação.

De acordo com Boltzman, a entropia de um sistema mede a quantidade de estados microscópicos correspondentes a um determinado estado macroscópico (caracterizado através das suas variáveis macroscópicas). Deste modo, a entropia é uma medida da nossa ignorância em relação ao estado microscópico do sistema físico - quanto maior a entropia, maior o acaso presente no sistema, no sentido em que é maior o número de estados microscópicos a que o estado pode aceder, para o mesmo estado macroscópico (cujas variáveis medimos experimentalmente<sup>12</sup>).

Já que falamos de Física Estatística, teoria do macroscópico por excelência, é de salientar a questão da escala. É curioso que, em certos sistemas dinâmicos, o acaso em pequena escala dê origem a uma certa ordem, apenas perceptível em grande escala - por exemplo, alguns movimentos atmosféricos. E o inverso também é verdadeiro. Como será, nestes casos, feita a transição de acaso para ordem, que factores serão preponderantes nesta evolução?

“Há realmente leis da natureza, ou cremos nelas devido ao nosso inato amor da ordem?”, pergunta Russel[27]. Poderíamos continuar: o que é que entendemos, afinal, por “natureza”? , em que medida os nossos

sentidos influem nessa noção e, em particular, na noção de acaso? Será razoável quantificar a ausência de regras (acaso) através de regras? Enfim, será este conceito racional<sup>13</sup>, como cita Ruelle no início do seu livro[25]?

Aparentemente, é já impossível expulsar o acaso do nosso “fragmento de realidade” - as ambiguidades que surgem são, na maior parte das vezes, enganadoras, pelo que ordem e acaso conseguem, até ver, coexistir na nossa descrição do universo. A posição do método científico é pragmática - qualquer que seja o sistema (quer tenha ou não acaso), deve ser possível determinar alguma lei.

No início do século XIX, a atitude predominante é espelhada nesta afirmação de Laplace: “All events, even those which on account of their insignificance do not seem to follow the great laws of nature, are a result of it just as necessarily as the revolutions of the sun”. Hoje, uma das mais fundamentais descrições do que nos rodeia, a física quântica, é de um carácter profundamente dualista - soube, como nenhuma outra teoria, incorporar nas suas leis o conceito de acaso. Posto isto, como não deixar de perguntar se a ordem que nos rodeia não é apenas aparente, reconhecendo que, provavelmente, o acaso tem o seu lugar fundamental no núcleo físico e conceptual daquilo a que chamamos *realidade*?

<sup>10</sup> Do que se disse, o leitor achará, porventura, que se trata apenas de um

trocadilho com palavras, uma curiosidade lógica. Não devia, no entanto, tornar como inofensivo este tipo de construções: foi através de um paradoxo (embora mais subtil do que este) que Gödel, no âmbito da lógica matemática, chegou ao seu teorema de incompletude.

<sup>2</sup> Pense numa máquina de Turing como um computador digital com memória infinita. Para uma definição formal, ver [20] ou [21]. Mas eis a grande vantagem: uma máquina de Turing pode computar qualquer função que, intuitivamente, seja computável ("Church-Turing thesis"). A computação efectiva de uma destas máquinas, apesar de tão poderosa, é executada de um modo clássico. Para os adeptos da Física Quântica, Deutsh[12] idealizou uma máquina quântica universal que, além de conseguir simular uma máquina de Turing, computa certas funções impossíveis de calcular nesta última (por exemplo, uma função que produza números ao acaso).

<sup>3</sup> Para ser exacto, a complexidade-KC varia consoante a máquina de Turing universal utilizada, mas apenas de uma constante, pelo que essa diferença não é, muitas vezes, considerada.

<sup>4</sup> O programa mínimo  $\langle L \rangle$  através do qual obtemos a complexidade-KC de uma sequência, terá de ser ao acaso! Pois suponhamos que não é. Então existe um programa menor,  $\langle M \rangle$ , que o consegue descrever (o programa cujo tamanho nos dá a complexidade-KC de  $\langle L \rangle$ ); mas então  $\langle L \rangle$  não é mínimo - contradição.

<sup>5</sup> Vamos supôr qu conseguimos calcular a complexidade-KC de uma sequência  $\langle S \rangle$ , e que essa complexidade-KC vale N bits. Não será difícil construir um outro programa

$\langle B \rangle$  que imprima a primeira mensagem com complexidade-KC maior ou igual a N bits. Mas  $\langle B \rangle$  é bastante curto: verifica a complexidade-KC de um conjunto finito de sequências e imprime um resultado. Na realidade, para N suficientemente grande, B terá muitos menos que N bits. E entramos em contradição: definimos uma mensagem com complexidade-KC > N através de um programa com menos de N bits (a contradição aqui utilizada é análoga ao paradoxo de Berry, bastante utilizado no trabalho de Chaitin).

<sup>6</sup> Significa o tamanho, em bits, de  $\langle S \rangle$ .

<sup>7</sup> Este resultado é bem mais forte do que aparenta ser à primeira vista. Na verdade, demonstra-se que o problema da paragem da máquina de Turing é irresolúvel (ver figura).

<sup>8</sup> Ou, de outra maneira, «existência de pelo menos um expoente de Lyapunov positivo».

<sup>9</sup> Considere-se o atrator de um sistema com dependência sensível das condições iniciais. Então a evolução de dois ponto perto um do outro no espaço de fases e dentro da bacia de atracção do atrator é tal que estes, localmente, se afastam um do outro a um ritmo exponencial (isto torna o atrator um «atrator estranho» [23],[26]).

<sup>10</sup> São de notar as consequências que um tal comportamento pode trazer à validade do método científico, como aponta Shaw[30], especialista em sistemas dinâmicos, na esperança de um sistema que produza acaso, e tendo à escolha duas ou mais teorias que expliquem o fenómeno, como escolher a melhor? É que todas devem diferir da medição experimental pelo menos no que respeita à taxa de produção de informação do sistema.

<sup>11</sup> Esta última questão conduz-nos à problemática de como encarar o

cérebro humano. É interessante aquilo a que Barlow[2] chama de *metáfora da mente mecânica*, contrapondo razões para defender a analogia a razões para que ela seja evitada (estas últimas, razões que Penrose[22] soube distinguir).

<sup>12</sup> A entropia de Shannon aparece mais tarde com uma generalização desta. Podemos, no entanto, abstrair-nos do sentido físico da coisa e falar apenas de esquemas probabilísticos; e notar que para probabilidades iguais obtemos a conhecida fórmula de Boltzman (se o esquema possuir as probabilidades iguais, a sequência infinita gerada terá uma frequência de símbolos também iguais - a sequência diz-se "normal no sentido de Borél").

<sup>13</sup> O que quer dizer "racional"?

## Bibliografia

- [1] BENNET, C.H., "Computational Measures of Physical Complexity", em STEIN, D.L.(ed.), "Lectures on the Sciences of Complexity", vol. 1, Addison-Wesley, 1989
- [2] BARLOW, H., "The Mechanical Mind", em GUTFREUND, H. e TOULOUSE, G.(ed.), "Biology and Computation: a physicist's choice", World Scientific, 1994
- [3] BOREL, É., "Sur les chiffres décimaux de et divers problèmes de probabilités en chaîne", em "Oeuvres de Émile Borel", tomo II, Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, 1972
- [4] BORN, M., "Natural Philosophy of Cause and Chance", Dover Publications, 1964
- [5] CALUDE, C., "What is a

- random string?", Journal of Universal Computer Science, vol. 1, nº 1, 1995*
- [6] CHAITIN, G., "Randomness and mathematical proof" e "The Berry paradox", em [www.cs.auckland.ac.nz/CDMTCS/chaitin](http://www.cs.auckland.ac.nz/CDMTCS/chaitin)
- [7] CHAITIN, G., "Randomness and complexity in pure mathematics", em Int. Journal of Bifurcation and Chaos, vol. 4, nº 1 (1994)
- [8] CHAITIN, G., "Information, Randomness & Incompleteness", 2th Edition, World Scientific Series em Computer Science, vol. 88, 1997
- [9] CVITANOVIC, P.(ed.), "Universality in Chaos", Institute of Physics Publishing, 1993
- [10] DAVIES, P.C.W. e BROWN, J.R., "The Ghost in the Atom", Cambridge University Press, 1997
- [11] DEUTSCH, D., "Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer", Proc. R. Soc. London, A 400, 1985
- [12] FERMI, E., "Thermodynamics", Dover Publications, 1956
- [13] FEYNMAN, R. P., LEIGHTON, R.B., e SANDS, M., "The Feynman Lectures on Physics", vol. 3, Addison-Wesley, 1966
- [14] FORD, J., "What is chaos, that we should be mindful of it?", em DAVIES, P. (ed.), "The New Physics", Cambridge University Press, 1993
- [15] GODEL, K., "On formally undecidable propositions of Principia mathematica and related systems" em FEFERMAN, S.(ed.), "Kurt Gödel - Collected Works", vol. 1, Oxford University Press, 1986
- [16] KINCHIN, A., "Mathematical Foundations of Information Theory", Dover Publications, 1957
- [17] KLEENE, S.C., "Mathematical Logic", John Wiley & Sons, 1967
- [18] LAPLACE, P., "A Philosophical Essay on Probabilities", Dover Publications, 1952
- [19] MENDES, R. Vilela, "A ciência da Complexidade", conferência realizada em 1 de Abril de 1998, no Salão Nobre da Academia de Ciências de Lisboa
- [20] MINSKY, M., "Computation: finite and infinite machines", Prentice-Hall, 1972
- [21] PAPADIMITRIOU, C., "Computational Complexity", Addison-Wesley, 1994
- [22] PENROSE, R., "A Mente Virtual", Gradiva, 1997
- [23] RUELLE, D., "Chaotic Evolution and Strange Attractors", Cambridge University Press, 1989
- [24] RUELLE, D., "Strange Attractors", em CVITANOVIC, P.(ed.), "Universality in Chaos", Institute of Physics Publishing, 1993
- [25] RUELLE, D., "O Acaso e o Caos", Relógio d'Água, 1994
- [26] RUELLE, D. e ECKMANN, J.-P., "Ergodic Theory of Chaos and Strange Attractors", em "Reviews of Modern Physics", vol.57, nº3, Part I, July, 1985
- [27] RUSSEL, B. "História da Filosofia Ocidental", vol. 1, Livros Horizonte, 1977
- [28] SCHWARTZ, L., "Les vraies chances de gagner", em "Sciences et Avenir", Agosto, 1994
- [29] SHANNON, C.E., "A Mathematical Theory of Communication", in The Bell System Technical Journal, vol. 27, July-October, 1948
- [30] SHAW, R., "Modelling Chaotic Systems", em HAKEN, H.(ed.), "Chaos and Order in Nature", Springer-Verlag, 1984
- [31] SMULLYAN, R.M., "Godel's Incompleteness Theorems", Oxford University Press, 1992
- [32] ZUREK, W.H., "Algorithmic information content, Church-Turing Thesis, Physical Entropy, and Maxwell's Demon", em ZUREK, W.H.(ed.), "Complexity, Entropy and the Physics of Information", Addison-Wesley, 1990
- [33] ZUREK, W.H., "Algorithmic randomness and physical entropy", em Physical Review A, October 15, 1989
- [34] ZUREK, W.H. (ed.), "Complexity, Entropy and the Physics of Information", vol. VIII, Addison Wesley, 1990
- [35] WOLFRAM, S., "Cellular Automata and Complexity: collected papers", Addison-Wesley, 1994
- [36] "The Church-Turing Thesis" em ZALTA, E.N.(ed.), "Stanford Encyclopedia of Philosophy", em [www.plato.stanford.edu](http://www.plato.stanford.edu)

- Uma panela com água pode estar no fogão regulado ao máximo. No entanto, vazia, queima-se facilmente. Porquê?

Como toda a gente sabe, a água ferve a 100°C, mais ou menos, dependendo da pressão atmosférica e sua pureza. O calor cedido pela chama aquece-a até atingir este ponto, a partir do qual toda a energia disponibilizada é usada para levar a água do estado líquido ao gasoso. É o calor latente de evaporação o responsável pela manutenção da temperatura. Apesar de a panela estar em contacto com uma bem superior, da chama, a pequena espessura das paredes e a boa condução do metal de que é feita, mantém-na a uma temperatura que não consegue ultrapassar muito a do seu conteúdo. Mas se este é nulo, não há regulação, e todo o calor em jogo participará no aquecimento das suas paredes. As correntes de convecção que possam surgir no seio do ar circundante não são, em princípio, suficientes para remover o calor, e a temperatura sobe descontroladamente (até centenas de graus), deteriorando o objecto, pelo menos para o uso culinário habitual.

- É verdade que o Sol por trás dos vidros é mais quente?

Não, mas assim parece porque o vidro, transparente aos infravermelhos e radiação visível, é bastante opaco aos ultravioleta. Não é assim de estranhar que o Sol não nos danifique a pele, enquanto a sentimos aquecer, agravada pelo facto de estarmos num recinto

abrigado, com pouca ventilação (senão, o que estaremos a fazer por trás de um vidro?).

- Porque suamos?

O suor é uma reacção do nosso corpo ao calor, todos sabemos, mas não porque os líquidos sejam intrinsecamente frescos. À parte de motivos higiénicos e estéticos, seria totalmente diferente suor à base de lípidos ou à base de água, como é de facto.

Para se conhecer o sentido de evolução de sistemas químicos, define-se um potencial partindo da energia de Gibbs, o qual tende para um valor mínimo, que na prática se traduz por uma procura não só de uma energia mínima como também de uma entropia máxima. Um líquido tem pouca energia e entropia; se se evapora ganha nas duas. Isto quer dizer que se atinge estabilidade máxima num meio termo, com as duas fases em presença mútua, razão pela qual a água se vai evaporando em recinto amplo ou aberto, mesmo que nunca atinja os 100°C. Num dia quente e seco de Verão as gotas de suor procuram este equilíbrio, evaporando-se; para isso absorvem energia, ou seja, calor, cumprindo o seu objectivo. Imaginem-nos agora num clima tropical, ou numa sauna, onde a pressão parcial de vapor de água é elevada, o que compromete seriamente a evaporação do suor. O nosso sistema de refrigeração falha, daí a sensação de abafamento, mesmo que a temperatura ambiente não seja muito elevada.

- Porque é que os metais são mais "frios" que outras substâncias, quando lhes tocamos?

Antes de começar, convém relembrar que os nossos sentidos não medem a temperatura; comparam-na com a da zona do corpo que usamos - relembrar a clássica experiência de mergulhar as mãos uma em água quente outra em fria; pouco depois cada uma terá uma sensação diferente de água tépida. De volta ao problema, salvo as excepções óbvias (ferros de engomar ligados, frigoríficos, etc. que geram variações de temperatura) os objectos expostos à temperatura ambiente adquirem-na também, mais tarde ou mais cedo, como se pode constatar com o auxílio dum termómetro. É porque a temperatura ambiente costuma ser inferior aos 37°C do nosso corpo que sentimos os objectos mais ou menos "frios", isto consoante estes nos roubam mais ou menos calor da pele o que, efectivamente, depende das suas temperaturas reais. Mas diferentes materiais, apesar de poderem estar em equilíbrio térmico, continuam a diferir em pelo menos duas propriedades físicas características de cada um: a condutibilidade térmica e o calor específico. É aqui que os metais se destacam, com grandes valores para a primeira; isto quer dizer que se a nossa pele ceder calor a um metal, em pouco tempo este se terá propagado a um grande volume e em breve ele estará a pedir mais. Pelo contrário, a superfície dum bom isolador térmico atinge rapidamente o equilíbrio térmico com a nossa pele pois o pouco calor transferido não se difunde com rapidez; a nossa pele arrefece pouco, logo parece-nos lógico concluir que o material é mais quente. Mas suponhamos agora que dois materiais, para além da mesma temperatura, têm condutibilidades térmicas iguais. Mais uma vez a sensação de temperatura pode não ser a

mesma, pois aquele que tiver maior capacidade calorífica absorverá mais calor da nossa pele até atingir o equilíbrio. O resultado é parecer mais frio.

Já agora, vejamos o que se passa, depois dos sólidos, em líquidos e gases. Os segundos parecem-nos deveras "frios" porque, apesar de não terem condutibilidade térmica

excepcional, compensa-lhes a sua grande mobilidade. Não vai Maomé à montanha, vai a montanha a Maomé - o líquido em circulação como que aumenta a superfície de contacto, permitindo uma rápida remoção de calor. No caso particular da água há ainda outro factor, a sua elevadíssima capacidade calorífica, que a torna

indicada para sistemas de refrigeração. Os gases, gozando dumha mobilidade ainda maior, têm, pelo contrário, um calor específico muito reduzido. Assim, na rua, é possível termos uma sensação de conforto ainda que esteja uma temperatura baixa, desde que não haja vento.

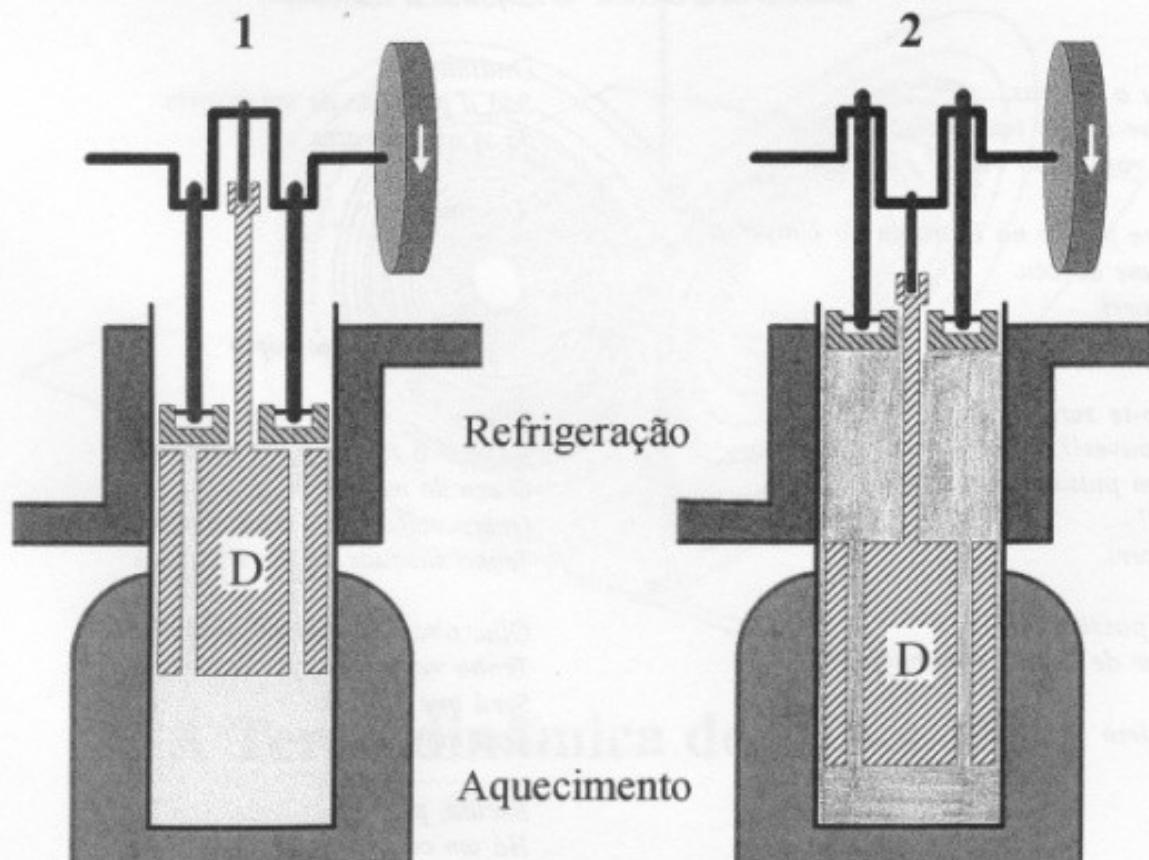
## Motor de Ar Quente

Luis dos Santos Cardoso

Tendo visto um motor de ar quente (ou Stirling, seu inventor) no laboratório de Termodinâmica, fiquei curioso acerca do seu funcionamento, que me pareceu, a princípio, pouco evidente. Apesar de haver um grupo responsável pela sua montagem e capaz de explicar o seu mecanismo, resolvi antecipar-me e procurá-lo sozinho, pelo sim pelo não.

Uma vez em esquema, percebe-se a sua simplicidade: não há circulação de ar; ele apenas se expande e contrai dentro de um cilindro. O truque é obrigar-lo a alternar a sua posição entre uma zona aquecida e uma outra arrefecida, por meio de um deslocador D. Começemos por analisar o esquema 1, onde grande parte do ar está na metade inferior do

cilindro, que é continuamente aquecida. A temperatura do ar aumenta, e com ela a pressão; os êmbolos são empurrados para cima, o que faz descer o deslocador (o veio deste é suficientemente fino para não afectar o aumento de volume que se pretende) - e atingiu-se a configuração 2. Veja-se agora que o ar ainda quente, apesar de se ter dilatado,



está neste momento em contacto com uma superfície refrigerada. Aqui arrefece, e a sua diminuição de pressão provoca a descida dos êmbolos, retomando-se as posições em 1.

Este motor, de pouco uso, tem ainda assim alguns pontos de interesse:

- uma fonte quente externa - como para este fim é habitual o uso de combustões, nesta situação temos a possibilidade de que elas sejam completas, o que torna este motor menos poluente;
- baixo ruído e vibrações - há poucas peças em movimento, e nenhum deles é brusco;
- rendimento - estes processos são sem dúvida irreversíveis, pelo que o cálculo teórico é, senão impossível, muito difícil; porém, a prática parece apontar para um rendimento quase duplo do das máquinas motoras de combustão convencionais.

## Espaço cultural

Poemas de autoria anónima



Paz

Vá lá...  
Dá-me a tua paz...  
Envolve-me no teu sorriso...  
É tão raro e tão belo.

Faz-me perder na Entropia do Universo.  
Leva-me ao céu.  
Vá. Sorri.  
...Com este último verso.

Odeio-te surda  
Não ouves!?  
Há um pulsar na podridão.  
SIM!!!  
Já morri.

Será possível?  
Deixar de viver e continuar a amar!

Anónimo

Água

Um som.  
Mata-me a sede, a saudade.  
Dá-me a liberdade, ó mar.  
Traz no teu sal a minha verdade.

Mar cruel.  
Mar salgado  
E Mar saudade.  
Não tenhas inveja de mim.  
É já tua a eternidade.

Ondinhas.  
São a perdição de um homem.  
Já vi que a trazes.

Anónimo

Estetoscópio

Quero.  
...Ouvir o teu coração bater.  
O eco do meu amor aí.  
Quero voltar para onde nunca estive.  
Tenho saudade de ti.

Olha p'ra mim quando olho p'ra ti.  
Tenho vergonha...  
Será que não vês?  
Será que não sentes?

Escuta, porra!  
Há um coração que bate por ti.

Anónimo