

# Interação Científica na América Latina: Opinião e Relato Pessoal

P.M.C. de Oliveira\*

A ciência praticada na América Latina é incipiente. Para se tornar robusta no cenário mundial, melhor que seus países juntem esforços. Nesse sentido, a UNILA e em particular a presente revista são instrumentos preciosos.

## 1. Introdução

Há os que concordam com o resumo acima. Há também um segundo grupo daqueles que advogam ser melhor continuar cada país da AL ligado primordialmente à ciência praticada no primeiro mundo, separadamente dos demais. Não pretendo convencer ninguém. Portanto não preciso aqui dar argumentos geopolíticos em favor do meu ponto de vista, embora haja muitos. Este texto é para leitores do primeiro grupo.

Parte da responsabilidade de fomentar uma maior interação científica entre os países da América Latina é dos próprios cientistas. Infelizmente, a procura de interação científica com colegas de outros países da AL por parte dos cientistas brasileiros é pequena. Eu próprio tenho sido muito pouco efetivo nessa procura, ao longo de minha já vetusta carreira científica. Percebi essa óbvia lacuna em minha atuação profissional há muito pouco tempo, quando o editor Carlos Alberto dos Santos me propôs escrever esse texto/depoimento sobre minhas interações científicas com colegas de outros países da AL. Apesar de meu posicionamento em defesa de uma política de maior interação científica Brasil/AL, eu mesmo não cumpri muito bem a minha parte. Meu único consolo pessoal é que estou em absoluta maioria entre os brasileiros, consolo ruim porque na verdade expõe a amplitude do problema. Resolvi, então, aceitar o desafio de Carlos Alberto e contar em prosa histórias sobre minhas poucas interações científicas com colegas da AL. Tento explicar de forma coloquial os assuntos científicos tratados, e as anedotas envolvidas. Como o material é pouco, o texto é pequeno, e, espero, de leitura agradável.

## 2. Queda e multifragmentação de gotas de mercúrio

No início dos anos 80, recebi telefonema de um colega de outra instituição a recomendar uma palestra que poderia ser ministrada na UFF. O palestrante seria Hans Jürgen Herrmann que eu não conhecia, e estava de visita ao

Rio de Janeiro. Disse-me o colega ao telefone que Hans iria me ligar. Pensei comigo “Vai falar em alemão no telefone, e não vai dar certo. Tomara que fale inglês.” Dois dias depois recebi a ligação, e do outro lado falava uma voz rouca em bom portunhol. Hans e eu ficamos bons amigos desde então. Na época, ambos éramos recém doutores, eu havia recentemente trocado a posição de professor auxiliar na PUC/RJ pela de professor adjunto na UFF, ele trabalhava em Orsay, França, como *directeur de recherche* do CNRS. Na realidade Hans era cubano, criado em Havana na infância e em Cartagena, Colômbia, na adolescência. Havia cursado seu programa de doutorado em Colônia, Alemanha, e agora estava em Orsay.

Uma década depois, em 1993, já amigos frequentes, fui visitar Hans em Jülich. Agora ele dirigia um laboratório no KFA, importante centro de pesquisa da Alemanha. Passei lá uns 20 dias. Cheguei pela manhã, Hans me levou direto a uma oficina mecânica onde solicitou uma bicicleta para eu me deslocar entre o KFA e a minúscula cidade de Jülich, uns 5 km de distância. Me arrumaram uma bicicleta bem velha, estacionei-a na porta do laboratório e seguimos eu e Hans para a cidade no carro dele. O caminho é através de uma pequena estrada deserta que cruza uma floresta. Depois de passarmos pela casa da família onde me hospedaria, para conhecer o caminho e depositar minha mala, fomos até a praça principal de Jülich onde Hans tinha que cumprir a missão caseira de fazer compras no mercado. O carro era um Toyota velho, todo arrebitado, cheio de irregularidades, com placa francesa. Era o mesmo carro que Hans antes usava quando trabalhava no alto do morro em Orsay. Ao voltar para casa em Paris, primeiro descia o morro no carro velho, o deixava estacionado no sopé do morro e seguia de trem. No dia seguinte pela manhã, saltava do trem e subia o morro no carro. Na praça principal de Jülich, para meu espanto, Hans largou o Toyota estacionado num local evidentemente proibido, mas próximo ao mercado. Sequer as janelas foram fechadas, a porta não trancava. Indaguei se não iria ter problemas com a polícia alemã, e ele desdenhou “A placa é francesa, os policiais alemães nem olham”. Compramos o que constava na lista trazida de casa, tomamos o carro de volta para o trabalho no KFA. Relatei este episódio para mostrar que de alemão Hans tem apenas o nome e o passaporte. A mentalidade é completamente latina. A malandragem é cubana, colombiana ou brasileira, tanto faz. Passaporte ele tinha dois, um cubano de nascença e outro alemão de ancestralidade (seu avô havia nascido na Alemanha). Há alguns anos entrou em Cuba para visitar uma tia com um passaporte e saiu com o outro. Deu um nó na burocracia cubana, que penso

\*Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense. Av. Litorânea s/n, Boa Viagem, Niterói 24210-340, RJ, Brasil. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia: Sistemas Complexos. pmco@if.uff.br

não foi ainda desatado.

No mesmo dia de minha chegada, de volta ao KFA, fomos direto almoçar com o séquito de estudantes e *pós-docs* orientados pelo Hans. Era um ritual, todos almoçavam sempre juntos na “Mensa”, depois o séquito rumava até a cafeteria onde cada um saboreava um sorvete. Eu me juntei a esta turma. Ritual também era o seminário que ocorria todos os dias depois do almoço. O seminarista era algum membro do citado séquito. Um deles era Cristian Moukarzel, um argentino que não chegou a proferir nenhum dos seminários durante minha visita. Ficava sentado na lateral da sala, calado. Era o termômetro do Hans. Durante o seminário alheio, quando surgia alguma dúvida e alguém sugeria uma explicação, Hans olhava para Cristian que reagia apenas balançando a cabeça. Caso o balanço fosse no plano vertical, a explicação era considerada correta, o seminário prosseguia. Caso o balanço de cabeça fosse no plano horizontal, o seminário não continuava enquanto a dúvida não fosse sanada. Com a solução devidamente aprovada por Cristian.

Ainda no meu primeiro dia em Jülich, permaneci a trabalhar no KFA até tarde da noite. Às 23h, todos já haviam se retirado, decidi ir dormir. Rumei para a estrada na velha bicicleta. Logo no início, descobri que sua luz não funcionava, me lembrei do Toyota. Numa escuridão ameaçadora, atravessei a floresta sem enxergar o que estava à frente. Depois de longos minutos, avistei as luzes da cidade e pensei “Estou salvo”. Então, fui interceptado por policiais. Pensei em novo embate com a língua alemã, que felizmente também não ocorreu. Um dos policiais me interpelou em inglês “A luz de sua bicicleta está apagada, você não pode andar assim”. Retruquei “Minha bicicleta, não! Sua! É uma bicicleta do KFA, portanto do governo alemão, como você.” O policial riu e me advertiu “Amanhã de manhã você conserta isso”. Assim fiz.

Adquiriti mais um amigo fraterno, Cristian Moukarzel. Uma década depois, morou quatro anos em Niterói, trabalhando no nosso grupo de pesquisa da UFF. Hoje é professor em Mérida, México. Durante a estadia em Niterói, tivemos uma publicação conjunta [1] e uma segunda posteriormente à ida para Mérida [2]. Ambas se baseiam num experimento pioneiro [3] de outro grupo latino-americano, de Cuba: uma gota de mercúrio é largada de uma certa altura, e quando cai no chão se divide em muitas gotas menores de diferentes tamanhos. A distribuição de tamanhos (raios das gotas) é crítica, muitas gotas pequenas, poucas grandes, num decaimento em lei de potência com expoente crítico característico. O gráfico do número de gotas maiores que um certo tamanho em função deste tamanho, em escala *log-log*, é uma reta decrescente. Sua inclinação define o citado expoente crítico. Fizemos um modelo de fragmentação que simulamos no computador, e segundo este modelo haveria duas retas no gráfico, com duas inclinações distintas, uma para gotas grandes e outra para as pequenas. Isso indicaria o cruzamento de dois comportamentos críticos distintos aquém ou além de um tamanho típico. O grupo cubano mediu os tamanhos com microscópio óptico, a pequena resolução não permitia que gotas

extremamente pequenas fossem consideradas. Apenas o comportamento das gotas grandes era obtido.

Resolvemos repetir o experimento fotografando as gotas no chão, e posteriormente medindo seus tamanhos na fotografia. Cristian preparou um programa de computador que detectava as gotas na foto, media seus tamanhos e as contava. Primeiro [1] usamos uma câmara digital de (na época) alta resolução, com resultados compatíveis com o cruzamento esperado segundo o modelo computacional. Mas o novo trecho do gráfico onde se observavam as gotas menores ainda era muito pequeno. A “alta resolução” da câmara não era alta o suficiente. Posteriormente, com a ajuda da então doutoranda Cinthya Valeska Chianca, repetimos o experimento mais uma vez fotografando as gotas no chão usando uma câmara tradicional com filme de alta resolução. A estatística é menor, porque cada foto tem que ser quimicamente revelada em negativo, copiada e ampliada para positivo, depois escaneada. Mas a resolução é bem melhor, pudemos observar gotas menores e verificar claramente o cruzamento de duas inclinações.

Este problema de multifragmentação, não apenas de gotas de mercúrio que caem no chão, mas também de núcleos pesados que sofrem colisões, gotas d’água que pingam de uma torneira, arraste de frentes de magnetização em histereses, relaxação de superfícies amassadas e outros sistemas dinâmicos complexos de ruptura e/ou relaxação foram tratados pelo mesmo modelo computacional. Curiosamente, nosso modelo dinâmico foi inspirado em [4], um método para equilíbrio estático. Ao inventar nossa versão dinâmica (publicada originalmente em [5]) pedi a opinião de meu amigo Hans Herrmann, coautor da versão estática original [4], sobre a possibilidade de bons resultados. Sua resposta foi categórica: não vai dar certo! Estava enganado. Vários outros pesquisadores latino-americanos também atuaram neste problema de multifragmentação, por exemplo Raul Donângelo do Uruguai, com quem nosso grupo de pesquisa na UFF teve várias discussões produtivas.

### 3. Envelhecimento biológico, especiação, difusão de cultura, etc.

Em 1995 Hans havia voltado para a França, desta vez na *École de Physique et Chimie* em Paris. Nos convidou para lá estagiar durante o mês de agosto, eu, Suzana Moss e Dietrich Stauffer. Este último, alemão de verdade, é guru dos outros três (Hans costuma chamá-lo de “His Majesty”). A PC é uma escola tradicional por onde passaram Pierre e Marie Curie, Langevin, Joliot-Curie, e mais recentemente Pierre Gilles deGenes e Georges Charpak. No seu prédio há uns apartamentos que são alugados a preço de custo para cientistas visitantes. Em agosto ficavam ociosos. Resultado: trabalhamos lá, eu Suzana e Stauffer, durante 16 anos seguidos, todos os meses de agosto. Hans logo voltou para a Alemanha, desta vez Stuttgart, portanto quase não participou destes trabalhos frenéticos durante os verões parisienses. Mas o novo diretor continuou a con-

vidar os dois brasileiros e o alemão. Algumas vezes alguns outros brasileiros penetraram nesta turma, em particular o professor da UFF Jorge Sá Martins e o professor Adriano de Oliveira Sousa, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Ambos realizaram seus programas de doutorado em Niterói. Outro frequentador dos meses de agosto em Paris foi Américo Tristão Bernardes, professor da Universidade Federal de Ouro Preto. Outro ainda foi o alemão Veit Schwämmle, que realizou seu programa de doutoramento inteiramente na UFF, orientado por Suzana Moss, embora oficialmente matriculado em Stüttgart, onde Hans era professor na época. É o contrário do conhecido programa de doutoramento sanduiche, estudante do primeiro mundo a realizar seu doutoramento no Brasil. Mesmo sendo alemão, Veit merece ser citado neste texto sobre América Latina, porque antes do doutoramento morou um ano em Havana, e é casado com uma bióloga cubana, Ileana. Hoje, ambos trabalham em Copenhague onde moram com seu filho pequeno, Niels, dinamarquês como o famoso físico. O que mais se fez em Paris foram simulações computacionais de modelos de agentes. Cada agente carrega uma tira de bits onde se armazena seu estado atual. Regras de reprodução, morte, e outras características são seguidas no computador, e a população de agentes monitorada a cada instante.

O melhor exemplo é o modelo Penna [6] de envelhecimento biológico. Na sua versão mais simples, a tira de bits de cada agente contém uma projeção cronológica de seu genoma, construída ao nascer e mantida o mesmo durante toda a vida do agente. A sequência de bits corresponde a uma ordem cronológica de “doenças genéticas” que irão se manifestar durante a vida do agente. A propensão à doença de Alzheimer é genética, já está no genoma desde o nascimento mas só se manifesta aos 60 anos. Ao longo da tira, se o bit correspondente à idade  $A$  for 1, então (mais) uma “doença genética” se manifestará a partir de quando o agente atingir tal idade. Se o bit for 0, o agente nada acumula nessa idade. Se o número total de “doenças genéticas” já acumuladas ultrapassar um limite predeterminado, este agente morre. Mortes aleatórias, independentes do genoma, também ocorrem na medida adequada para controlar o tamanho da população.

A escala de tempo do modelo é a idade mínima de reprodução  $R$ , definida a priori. Ao atingir a idade  $R$ , o agente reproduz, e repete a cada ano seguinte que lograr sobreviver (ou outra unidade de tempo que se queira adotar). Na reprodução (a projeção cronológica de) seu genoma é passado ao filho com algumas poucas mutações aleatórias. O resultado obtido é puramente Darwiniano: depois de muitas gerações, o genoma típico presente na população contém mais 0s do que 1s antes da idade  $R$ , o contrário depois de  $R$ . A seleção natural empurra as doenças inevitáveis para mais tarde, depois que o agente já reproduziu. Em outras palavras, aqueles em que “doenças genéticas” se manifestam em demasia nas idades iniciais não têm oportunidade de deixar seu genoma para a posteridade, porque morrem antes de reproduzirem.

Esse modelo Penna foi inventado por nosso colega Tha-

deu Penna, da UFF, numa visita sabática de 6 meses que Stauffer havia feito a Niterói no ano anterior, 1994. Trouxe a ideia de estudar o envelhecimento biológico através de modelos de agentes. Várias modificações foram feitas nesse modelo original a partir dos estágios em Paris, por nós mesmos ou outros pesquisadores espalhados pelo mundo. Um resultado simples e surpreendente é o que se obtém com uma simples modificação: o agente reproduz *apenas* na idade  $R$ , não nas idades posteriores. Depois de muitas gerações *todos* os agentes morrem com a idade  $R$ , logo depois de reproduzir, porque deixa de haver pressão seletiva a partir desta idade [7,8]. É justamente o que acontece com as espécies semélparas, como por exemplo o salmão que aos 11 ou 12 anos de idade sobe um longo rio para reproduzir, e jamais volta a repetir tal experiência.

Outra modificação bem mais sofisticada é a introdução de outras tiras de bits, em várias circunstâncias. Por exemplo, duas tiras de bits paralelas simulam o par de cromossomos homólogos nas espécies diplóides [9-12]. A reprodução agora é sexuada, outras questões entram em cena, como dominância e recessividade, cruzamento (crossing-over) de cromossomos homólogos, etc. Qual a vantagem de ser diplóide, comparado com haplóide? O então doutorando Armando Ticona Bustillos estudou essa questão [13], ver também a publicação posterior [14].

Armando é professor da Universidade de San Andres, em La Paz, Bolívia. Morou em Niterói durante os quatro anos de seu programa de doutoramento. Outrora acostumado à altitude de La Paz, ao voltar para lá ficou uma semana inteira de cama por conta da mesma altitude. Ele também promoveu a inclusão de outra tira de bits adicional, desta vez ligada à “cultura” adquirida pelo agente durante a vida. Essa tira de bits adicional, também ordenada cronologicamente, é totalmente preenchida por bits 0 no nascimento, uma tábua rasa. Durante a vida, a cada ano que passa, o agente pode adquirir algum conhecimento obtido de outros agentes (pais, professores, companheiros, etc). Conhecimentos adquiridos lhe dão vantagens de sobrevivência. Quando ocorrem numa idade específica, o bit correspondente da tira cultural vira 1. Adquirir ou não um conhecimento depende dos outros agentes com quem interage o terem adquirido anteriormente. O resultado global das simulações computacionais desse modelo [15] é a compensação de “defeitos genéticos” herdados no nascimento por conhecimentos úteis adquiridos durante a vida. E uma correlação entre qualidade genética ao nascer e quantidade de conhecimentos úteis adquiridos durante a vida, nos casos em que a aquisição de conhecimentos é racionada, não amplamente disponível. Como na sociedade real, em que a educação não é igualmente distribuída a toda a população, os problemas de saúde se concentram nos menos afortunados.

A Bolívia é um belo país, com um povo simples, alegre e muito hospitaleiro. Sua história antiga, muito pouco conhecida, é por outro lado extremamente interessante. Eu e Suzana Moss fomos muito bem tratados durante nossas visitas, quando participamos entre outros eventos da reunião da Sociedad Boliviana de Física que promove mini

cursos muito úteis para os jovens estudantes. De lá também veio Karen-Luz Burgoa Rosso realizar seu programa de doutoramento em Niterói, sob orientação de Suzana. Ela é hoje professora da Universidade Federal de Lavras, em Minas Gerais, onde há um pequeno grupo de físicos (a maioria oriundos da UFF) a fazer pesquisa de qualidade em interação com o tradicional campo de pesquisa em agropecuária em torno do qual a universidade foi criada.

Karen também promoveu a inclusão de novas tiras de bits no modelo Penna. Estudou especiação [16-21], principalmente na forma simpátrica em que não há barreiras geográficas ou físicas a separar a população da espécie original em partes estanques. Na especiação simpátrica, uma mesma espécie sexuada se divide em duas partes que perdem a capacidade de reprodução uma com a outra, embora ambas continuem a dividir o mesmo ambiente. Karen e os outros membros do grupo propuseram que dois ingredientes são necessários para que esse fenômeno ocorra. Primeiro, seleção sexual em que as fêmeas escolhem seu parceiro sexual pelos atributos físicos os mais parecidos possível com os seus próprios. Por exemplo, numa espécie de peixes coloridos, alguns mais puxados para o azul, outros para o vermelho, as fêmeas mais avermelhadas escolhem um parceiro preferencialmente vermelho. O contrário ocorre entre as fêmeas de cor azul. As diferenças entre as intensidades de azul e vermelho aumentam à medida que as gerações passam. Karen introduziu um par adicional de tiras de bits, homólogas, hereditárias, sujeitas a cruzamento (crossing-over) e pequenas mutações. A quantidade total de bits 1 ou 0 nestas tiras corresponde à intensidade da cor vermelha ou azul do agente. O segundo ingrediente necessário para a completa especiação é a disputa por alimentos disponíveis em dois tipos, por exemplo sementes grandes ou pequenas às quais as aves se adaptam com bicos maiores ou menores, como os famosos “finches” de Darwin. Ou, no caso dos peixes, o tamanho da boca e conseqüentemente do próprio peixe, como ocorre no lago Apoyo, na Nicarágua, e no lago Vitória, na África. Esse fenótipo também é simulado pelo número de bits 1 ou 0 ao longo de outro par independente de tiras de bits, também homólogas, hereditárias e sujeitas a cruzamento e mutações. O resultado, caso estes dois ingredientes estejam presentes com suficiente intensidade na dinâmica evolutiva, é que ao final de muitas gerações, só há peixes grandes vermelhos, ou pequenos azuis, que não se cruzam, duas espécies distintas. Duas características independentes, cor e tamanho, sem influência direta de uma na outra, são gradativamente correlacionadas pela própria dinâmica até atingir a correlação total. A evidência de que estas duas características são realmente independentes pode ser comprovada por um fato curioso. Rodando o programa da simulação outra vez, com os mesmíssimos parâmetros e apenas uma semente diferente para o gerador de números pseudo aleatórios que comandam as contingências, pode-se encontrar no final apenas peixes grandes azuis ou pequenos vermelhos, combinação de cor e tamanho invertida em relação à rodada anterior. Karen tem um filho Daniel, brasileiro, filho tam-

bém de outro professor de Lavras oriundo da UFF, José Nogales.

## 4. O método dos histogramas largos

Num de nossos estágios em Paris no final dos anos 90, conhecemos o colombiano José Daniel Muñoz Castaño, hoje professor da Universidad Nacional de Colombia, em Bogotá. Mais um latino-americano no nosso entorno, como colega e amigo. Na época era doutorando em Stüttgart sob orientação de Hans. Ótimo físico, muito competente, desenvolveu sua tese com uma generalização do *Broad Histogram Method* [22], que eu, Thadeu e Hans havíamos inventado meia década antes. Estávamos os três em Porto Alegre, onde participávamos de um congresso. As palestras daquele horário não nos interessaram, então fomos para o bar e conversamos sobre o assunto a seguir. A questão era como calcular médias termodinâmicas em simulações computacionais (tipo Monte Carlo), sem a necessidade de se fixar a temperatura. Como determinar diretamente o espectro energético do sistema (quantos estados para cada energia), que não depende da temperatura. Havia um método antigo [23] (posteriormente reinventado com o termo “novo” no título [24]), no qual se fazia uma simulação Monte Carlo normal, com temperatura fixa, e depois o resultado era estendido para outras temperaturas vizinhas através de repesagens das médias. Porém, quanto maior fosse o sistema tratado, menor a vizinhança de temperaturas que se poderia alcançar. Os autores estranhamente adotaram apenas tamanhos minúsculos de sistemas que eles mesmos haviam simulado muito maiores anteriormente. Isso me havia deixado com a pulga atrás da orelha. Posteriormente, eles próprios otimizaram o método [25]: propuseram a simulação independente de várias temperaturas, estendendo pelo seu método (ou de Salsburg e colaboradores) cada resultado para as temperaturas vizinhas, completando assim todo o intervalo de temperaturas de interesse. Não era isso que queríamos, e sim uma única simulação para todas as temperaturas. A discussão em Porto Alegre foi em torno deste assunto. De volta a Niterói, na verdade numa visita de fim de semana à casa de familiares em Búzios, me veio a ideia da solução que descrevo a seguir.

Em equilíbrio termodinâmico, a média de uma grandeza  $M$  se escreve

$$\langle M \rangle = \frac{\sum_s M_s e^{-E_s/kT}}{\sum_s e^{-E_s/kT}}$$

para uma temperatura fixa  $T$ , onde  $k$  é a constante de Boltzmann.  $M_s$  e  $E_s$  são respectivamente os valores da citada grandeza e da energia do sistema no possível estado  $s$ . As somas varrem todos os estados  $s$ . A maneira tradicional de se realizar estas somas é por amostragem, como no famoso método de Metropolis de 1953, que deu origem a vários outros hoje denominados genericamente como métodos de Monte Carlo. O número de possíveis estados, para

um sistema macroscópico, é enorme. Em vez de somar todas as parcelas somam-se apenas algumas (muitas) aleatoriamente escolhidas da seguinte forma. Fixa-se uma dada temperatura de interesse, e arruma-se um jeito de sortear os estados de forma que a probabilidade de um estado  $s$  ser sorteado seja proporcional a  $e^{-E_s/kT}$ . Então, realizam-se as somas usando somente os estados sorteados, sem incluir o fator de Boltzmann  $e^{-E_s/kT}$ . O numerador fica  $\sum_s M_s$  e o denominador é apenas o número de estados sorteados. O citado "jeito" foi "arrumado" segundo inúmeras receitas, além da pioneira de Metropolis. O calcanhar de Aquiles de todas elas é a necessidade de se fixar uma dada temperatura. Se o interesse é estudar a variação da média termodinâmica  $\langle M \rangle$  com a temperatura  $T$ , todo o processo necessita ser repetido para cada nova temperatura.

Mas pode-se rearranjar os termos das somas, colocando-se em evidência o fator de Boltzmann de uma dada energia, as somas parciais varrendo apenas os estados correspondentes a cada energia

$$\langle M \rangle = \frac{\sum_E g(E) \langle M(E) \rangle e^{-E/kT}}{\sum_E g(E) e^{-E/kT}}$$

onde  $g(E)$  é a contagem de estados com energia  $E$ , e  $\langle M(E) \rangle$  é a média microcanônica da grandeza  $M$  (média simples dos valores  $M_s$  apenas para os estados com energia  $E$ ). Ambos são independentes da temperatura. Portanto, caso se conheça  $g(E)$  e  $\langle M(E) \rangle$ , a média termodinâmica  $\langle M \rangle$  poderá ser calculada para qualquer temperatura  $T$ . O *Broad Histogram Method* resolve justamente este problema, determina  $g(E)$  e  $\langle M(E) \rangle$  numa única varrida de estados no computador. O método é descrito a seguir.

Primeiro se define um protocolo de mudanças permitidas, que se pode realizar no estado atual  $s$  para transformá-lo em outros estados  $s'$ . A única restrição é que o protocolo seja simétrico, se a transformação de  $s$  em  $s'$  é permitida, então a de  $s'$  em  $s$  também é. No modelo de Ising, por exemplo, cada sítio de uma rede tem um "spin" que pode apontar para cima ou para baixo. O citado protocolo pode ser, entre outros, a inversão de um spin qualquer. Em seguida, adota-se um pequeno intervalo de energias  $\Delta E$  e definem-se duas grandezas  $N_{up}$  e  $N_{dn}$  para um dado estado  $s$ .  $N_{up}$  é o número de movimentos permitidos que aumentam a energia do sistema de um valor  $\Delta E$ .  $N_{dn}$  é o número de movimentos que diminui a energia do mesmo valor  $\Delta E$ . As médias microcanônicas  $\langle N_{up}(E) \rangle$  e  $\langle N_{dn}(E) \rangle$  podem ser determinadas por qualquer amostragem obtida varrendo-se uniformemente os estados de uma dada energia (a mesma probabilidade para todos os estados de uma dada energia, requerimento satisfeito por qualquer receita de Monte Carlo). Então, a equação

$$g(E) \langle N_{up}(E) \rangle = g(E + \Delta E) \langle N_{dn}(E + \Delta E) \rangle$$

permite obter  $g(E)$  para todas as energias que se queira (em intervalos  $\Delta E$ ), a menos de um fator multiplicativo irrelevante — porque  $g(E)$  aparece no numerador e no denominador da média termodinâmica.

A validade da equação acima, que define o *Broad Histogram Method* é completamente geral, para qualquer sistema. É fácil compreendê-la [26]. Imagine uma tabela

com duas colunas, a da esquerda com todos os estados  $s$  com energia  $E$ , a da direita com todos os estados  $s'$  com energia  $E + \Delta E$ . O citado protocolo de movimentos permitidos corresponde a um conjunto de setas que ligam cada estado  $s$  da coluna da esquerda com os estados  $s'$  da direita, cujo movimento seja permitido pelo protocolo. O lado esquerdo da equação conta exatamente o número destas setas. Como o protocolo é simétrico, as setas reversas que ligam a coluna da direita à da esquerda são as mesmas. O lado direito da equação conta justamente seu número, daí a igualdade.

Numa publicação posterior [27] o *Broad Histogram Method* é renomeado e formalizado em termos de matrizes de transição. Antes, o autor senior havia mostrado o método em uma palestra internacional, sem nos citar. Para azar dele, Hans estava na platéia e o questionou. Posteriormente, fomos citados em [27], assim como Salsburg e coautores haviam sido citados em [24]. Conto esse pequeno episódio porque é uma mostra de como é estúpido avaliar qualidade de uma pesquisa científica pelo prestígio/audiência da revista em que foi publicada, como infelizmente virou moda no Brasil.

A generalização para espectros energéticos contínuos [28-30] foi feita por José Daniel em sua tese de doutoramento. Tenho uma cópia desta tese em minha estante.

## Agradecimentos

A Carlos Alberto dos Santos, pela insistência em me convencer a escrever este texto. Espero ter correspondido às expectativas. Também a Suzana Moss que leu e corrigiu o original, e pela perene colaboração nos trabalhos e episódios descritos.

## Referencias

- [1] Dynamic Drop Models  
P.M.C. de Oliveira, T.J.P. Penna, A.R. Lima, J.S. Sá Martins, C.F. Moukarzel e C.A.F. Leite  
Trends in Statistical Physics, v. 3, n. 137, 2000, ed. Research Trends, (COND-MAT 0101184)
- [2] Fragmentation Experiment and Model for Falling Mercury Drops  
P.M.C. de Oliveira, C.A.F. Leite, C.V. Chianca, J.S. Sá Martins e C.F. Moukarzel  
Physica A375, 375 (2007) (www.arXiv.org COND-MAT/0612367)
- [3] Criticality in Droplet Formation  
O. Sotolongo-Costa, Y. Moreno-Vega, J.J. Lloveras-González e J.C. Antoranz  
Phys. Rev. Lett. 76, 42 (1996)
- [4] A Stochastic Method to Determine the Shape of a Drop on a Wall  
S.S. Manna, H.J. Herrmann e D.P. Landau  
J. Stat. Phys. 66 1155 (1992)
- [5] Simulating the Complex Behavior of a Leaky Faucet  
P.M.C. de Oliveira e T.J.P. Penna

- J. Stat. Phys 73, 789 (1993)
- [6] A Bit String Model For Biological Aging  
T.J.P. Penna  
Journal of Statistical Physics 8, 1629 (1995)
- [7] Mutation Accumulation and the Catastrophic Senescence of Pacific Salmon  
T.J.P. Penna, S. Moss de Oliveira e Dietrich Stauffer  
Phys. Rev. E52, 3309 (1995)
- [8] Exact Results for the Catastrophic Senescence of Pacific Salmon  
S. Moss de Oliveira e T. J. P. Penna  
Eur. Phys. J. B5, 1697 (1995)
- [9] Strategies for reproduction and ageing  
A.T. Bernardes  
Ann. Physik 5, 539 (1996)
- [10] Monte Carlo Simulations of Sexual Reproduction  
D. Stauffer, P.M.C. de Oliveira, S. Moss de Oliveira e R.M. Zorzenon  
Physica A231, 504 (1996)
- [11] Ageing with Sexual and Asexual Reproduction: Monte Carlo Simulations of Mutation Accumulation  
S. Moss de Oliveira, P.M.C. de Oliveira e D. Stauffer  
Braz. J. Phys. 26, 626 (1996)
- [12] On the Uselessness of Men - Comparison of Sexual and Asexual reproduction  
D. Stauffer, J.S. SáMartins e S. Moss de Oliveira  
Int. J. Mod. Phys. C11, 1305 (2000)
- [13] Haploid x Diploid Organisms  
A. Ticona e P.M.C. de Oliveira  
Int. J. Mod. Phys. C12, 1075 (2001) (COND-MAT 0107269)
- [14] The Evolutionary Advantage of Diploid Sex  
A.O. Sousa, S. Moss de Oliveira e J.S. Sá Martins  
Phys. Rev. E67, 032903 (2003)
- [15] Evolutionary Model with Genetics, Aging and Knowledge  
A. Ticona e P.M.C. de Oliveira  
Phys. Rev. E69, 021903 (2004) (Q-BIO.PE 0312018 e [www.vjbio.org](http://www.vjbio.org))
- [16] Computer Simulation of Sympatric Speciation with Penna Ageing Model  
K. Luz-Burgoa, S. Moss de Oliveira, J.S. Sá Martins, D. Stauffer e A.O. Sousa  
Braz. J. Phys. 33, 623 (2003)
- [17] The Penna Model for Biological Ageing and Speciation  
S. Moss de Oliveira, J.S. Sá Martins, P.M.C. de Oliveira, K. Luz-Burgoa, A. Ticona e T.J.P. Penna  
Computing in Science and Engineering 6, 74 (2004)
- [18] Computer Simulations of Sympatric Speciation in a Simple Food Web  
K. Luz-Burgoa, T. Dell e S. Moss de Oliveira  
Phys. Rev. E72, 011914 (2005)
- [19] Phase Transition in a Mean-Field Model for Sympatric Speciation  
V. Schwämmle, K. Luz-Burgoa, J.S. Sá Martins e S. Moss de Oliveira  
Physica A369, 612 (2006)
- [20] Monte Carlo Simulations of Parapatric Speciation  
V. Schwämmle, A.O. Sousa e S. Moss de Oliveira  
Eur. Phys. J. B51, 563 (2006)
- [21] Thermodynamic Behavior of a Phase Transition in a Model for Sympatric Speciation  
K. Luz-Burgoa, S. Moss de Oliveira, V. Schwämmle e J. Sá Martins  
Phys. Rev. E74, 021910 (2006)
- [22] Broad Histogram Method  
P.M.C. de Oliveira, T.J.P. Penna e H.J. Herrmann  
Braz. J. Phys. 26, 677 (1996) (COND-MAT 9610041)
- [23] Application of the Monte Carlo Method to the Lattice Gas Model. I. Triangular Lattice  
Z. W. Salsburg, J. D. Jacobson, W. Fickett e W. W. Wood  
J. Chem. Phys. 30, 65 (1959)
- [24] New Monte Carlo Technique for Studying Phase Transitions  
A.M. Ferrenberg e R.H. Swendsen  
Phys. Rev. Lett. 61, 2635 (1988)
- [25] Optimized Monte Carlo Analysis  
A.M. Ferrenberg e R.H. Swendsen  
Phys. Rev. Lett. 63, 1195 (1989)
- [26] Broad Histogram Relation is Exact  
P.M.C. de Oliveira  
Eur. Phys. J. B6, 111 (1998) (COND-MAT 9807354)
- [27] Transition Matrix Monte Carlo Reweighting and Dynamics  
J.-S. Wang, T. K. Tay e R. H. Swendsen  
Phys. Rev. Lett. 82, 476 (1999)
- [28] Broad Histogram Method for Continuous Systems: the XY-Model  
J.D. Muñoz e H.J. Herrmann  
Int. J. Mod. Phys. C10, 95 (1999)
- [29] Extending the Broad Histogram Method for Continuous Systems  
J.D. Muñoz e H.J. Herrmann  
Comp. Phys. Comm. 121, 13 (1999)
- [30] Broad Histogram Method: Extension and Efficiency Test  
M. Promberger, M. Kastner e J.D. Muñoz  
Phys. Rev. E62, 7422 (2000)