

Cronobiologia: uma multidisciplinaridade necessária



JOHN FONTENELE ARAUJO
NELSON MARQUES

Resumo

A cronobiologia é um campo científico multidisciplinar? Para nós, essa pergunta tem uma resposta afirmativa. Por que a cronobiologia é essencialmente multidisciplinar? O que há nesse campo científico que atrai profissionais de áreas tão diferentes? São as perguntas desse tipo que tentaremos responder neste texto. Analisamos os aspectos históricos da cronobiologia como disciplina científica e os diversos modelos usados em seu desenvolvimento. Terminamos o artigo avaliando o estado atual da cronobiologia como ciência, sugerindo que essa disciplina poderá ter três futuros, que podem ser exemplificados como vertentes: a vertente da consolidação e a vertente da superação e vertente da multidisciplinaridade. Por isso, justificamos o título deste artigo.

Palavras-chave: cronobiologia; multidisciplinaridade; complexidade; ritmos biológicos; teoria científica.

Abstract

Is Chronobiology a multidisciplinary scientific field? For us this question has an affirmative answer. Why is Chronobiology essentially multidisciplinary? What is it in this scientific field that attracts professionals from so different areas? These type questions are the ones we will try to answer in this text. We analyze the historical aspects of the Chronobiology as scientific disciplines, using diverse models of development of science. We finish the article evaluating the current state of the chronobiology as science, suggesting that this discipline will be able to have three

futures, where these futures can be as following: the source of the consolidation, the source of the overcoming, and the source of the multidisciplinary. Because of this, we justify the title of this article.

Key-words: chronobiology; multidisciplinary; complexity; biological rhythms; scientific theory.

A cronobiologia é uma disciplina científica que se caracteriza como um ramo da ciência que estuda a organização temporal dos seres vivos. Como organização temporal compreendemos a capacidade dos seres vivos de expressarem seus comportamentos e controlarem sua fisiologia de uma forma recorrente e periódica. A essa recorrência periódica damos o nome de ritmos biológicos. Por isso, podemos também definir a cronobiologia como o ramo da biologia que estuda os ritmos biológicos.

Como disciplina científica formal, a cronobiologia é recente. Apesar dos primeiros relatos empíricos dos ritmos biológicos datarem de 1729, somente em 1960 é que a cronobiologia foi caracterizada como disciplina científica.

Fazendo uma avaliação das primeiras reuniões científicas na área de cronobiologia, principalmente o Cold Spring Harbor Symposium on Biological Clock – 1960, encontramos como seus participantes uma diversidade de profissionais. Profissionais da área biológica, da matemática, da física, da medicina e até das ciências humanas. Essa característica tem acompanhado a cronobiologia desde então.

Ao lado disso, um outro aspecto, que sempre chama atenção em qualquer evento científico, é o interesse pela cronobiologia por profissionais de diversas áreas. Por isso, levantamos a seguinte questão: é a cronobiologia um campo científico multidisciplinar? Para nós essa pergunta tem uma resposta afirmativa. Nestes tempos em que buscamos a multidisciplinaridade, a interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade, e, por outro lado, temos dificuldade de realizá-lo na prática, por que a cronobiologia é essencialmente multidisciplinar? O que há nesse campo científico que atrai profissionais de áreas tão diferentes? São as perguntas desse tipo que tentaremos responder neste texto.

A nossa hipótese inicial é a de que a cronobiologia é um campo multidisciplinar atualmente e como resultado disso esse campo já nasceu multidisciplinar. Os argumentos que fortalecem nossa hipótese inicial são:

1. O tempo é uma questão que interessa a todos.
2. A cronobiologia surgiu em um momento histórico especial, quando a ciência estava em crise e muitos buscavam novos campos de pesquisa, em que a pesquisa científica tivesse um caráter multidisciplinar.
3. A cronobiologia tem um impacto social muito forte.

O tempo na biologia

A ritmicidade biológica pode ser entendida como a expressão cíclica de

um fenômeno biológico. Essa expressão é periódica e mais ou menos estável. As características clássicas dos ritmos biológicos são: o ritmo é gerado endogenamente, tendo como expressão a sua persistência em livre-curso; é capaz de ser sincronizado por um ciclo ambiental e também apresenta compensação às variações de temperatura.

Essas características necessitam ser atualizadas em dois aspectos: primeiro, os ritmos podem ser gerados endogenamente em todos os níveis de organização — em uma célula, em um tecido, em um órgão, em um sistema e no organismo como um todo; segundo, há a necessidade de redefinir a idéia de ambiente, considerando não somente o meio ambiente, mas incluindo, também, o ambiente interno. Desta forma, quando falamos de ambiente, temos que considerar o meio ambiente e o meio interno.

Com essas considerações passamos a entender como ritmos biológicos não somente os que apresentam um correlato com ciclos geofísicos, mas ritmos com períodos diferentes e sem correlatos com pistas do meio ambiente. Afinal, a endogenicidade dos ritmos biológicos proporciona à espécie uma capacidade antecipatória, que lhe permite organizar recursos e atividades antes que sejam necessárias.¹ Desse modo, a expressão de um determina-

do ritmo biológico pode ser fundamental para antecipar uma mudança que ocorrerá no ambiente, antecipando uma fase mais propícia do ciclo ambiental para a sobrevivência da espécie. Por outro lado, a expressão de um ritmo biológico pode ser fundamental para garantir uma determinada função — bomba cardíaca e respiração, por exemplo — ou antecipar uma mudança no meio interno — como a secreção de um determinado hormônio.

Assim, passamos a considerar que a compreensão da ritmicidade biológica não passa apenas pelo entendimento dos ritmos circadianos (“circa” – próximo – e “diano” – dia) e/ou outros circa-ritmos, mas também pelos ritmos de outras frequências e sem correlatos com os ciclos geofísicos. A classificação dos ritmos biológicos, proposta inicialmente por Halberg — ritmos circadianos, infradianos e ultradianos —, é bastante usada e aceita atualmente. Essa classificação, porém, ainda é muito simplista e induz a alguns erros, apesar de seu didatismo. O primeiro erro cometido é a supervalorização dos ritmos circadianos, já que todos os outros ritmos são classificados em relação à frequência de um ciclo a cada 24 horas. O segundo erro é que essa classificação não tem significado funcional. Talvez uma melhor classificação fosse dividir os ritmos biológicos em duas categorias: *os ritmos com correlatos com ciclos geofísicos* e *os ritmos sem correlatos com ciclos geofísicos*. Os primeiros estariam relacionados funcionalmente com a antecipação de uma mudança no meio am-

1. PITTENDRIGH, C. H. (1960), Circadian rhythms and circadian organization of living systems. Cold Spring Harbor Symp. *Quant. Biol.*, n. 25: 159-182.

biente e os segundo com a antecipação de uma mudança no meio interno.

Atualmente, é comum o uso do conceito de sistema de temporização circadiana. Adicionando este à nossa consideração acima, propomos o conceito de sistema de temporização biológica, incluindo tanto os ritmos com correlatos, quanto os sem correlatos com ciclos geofísicos, pois consideramos que há um sistema de organização temporal, em que os diversos subsistemas interagem entre si.

Um novo paradigma na fisiologia

A compreensão de qualquer fenômeno natural passa por um exame crítico dos seus fundamentos conceituais, tanto teóricos como práticos, os quais são produzidos pelas ciências empíricas, ou seja, a própria dinâmica da ciência. Entender a história, a dinâmica de um processo, é evidenciar as forças internas e externas que promovem o desenvolvimento, tanto no sentido de facilitá-lo como no sentido de evitá-lo.

A ciência, como uma atividade social humana, tem sua dinâmica própria, e entendê-la é essencial para o próprio desenvolvimento científico. Atualmente, há vários modelos explicativos para a dinâmica da ciência, todavia, nenhum deles consegue explicar em sua totalidade o desenvolvimento científico. Esses modelos foram construídos como explicações de exemplos específicos do desenvolvimento científico. Para nós, no entanto, consideramos que, embora não tenhamos um modelo unificador, cada

modelo tem uma grande utilidade explicativa em relação a alguma faceta do desenvolvimento científico.

Acreditamos que um modelo de dinâmica da ciência tem que ser composto pelas seguintes variáveis: (a) os fatores internos e externos que levam ao surgimento de algo novo na ciência; (b) os fatores que promovem o aprofundamento de um determinado conhecimento; (c) a forma da organização de uma comunidade científica determinada, especialmente sua hierarquia, suas publicações e reuniões, e (d) a relação com os outros ramos do conhecimento e em especial com a sociedade. O ponto central de um modelo de dinâmica da ciência é que a ciência seja estudada como um processo em movimento e em mudanças.

Neste trabalho iremos discutir ainda alguns pontos da história da cronobiologia, como dissemos, uma disciplina de constituição formal recente, que para nós apresenta-se como um objeto de estudo ideal, que pode nos fornecer elementos para a construção de um quadro mais geral de como a ciência se organiza e funciona.

Os anos 1930 – 1950. O início

Para a maioria dos pesquisadores que se preocupam com o problema da ritmicidade biológica, a realização do simpósio Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology: Biological Clocks (CSHSQB, vol. 25), organizado por Colin Pittendrigh em 1960, em Massachusetts, EUA, é considerada como o marco inicial da cronobiologia

como uma disciplina formal. Dois tópicos principais do simpósio fizeram desse novo campo do desenvolvimento científico, a cronobiologia, um novo ramo da ciência biológica. No primeiro, enfatizaram-se novas regras e novas diretrizes relativas à maneira de como se deve conduzir a pesquisa cronobiológica — propõe teorias e o modo de realizar experimentos.² No segundo, demonstrou-se a necessidade do uso de métodos rigorosos de coleta e de análise, propondo-se o desenvolvimento de métodos estatísticos específicos.

Nesse simpósio ficou caracterizada uma clara mudança científica, em que são apresentadas estruturas conceituais de larga escala que podemos chamar de *paradigma cronobiológico*, utilizando o termo desenvolvido por Thomas Kuhn. Poderíamos também chamar de *teoria global cronobiológica* (Feyerabend), *programa de pesquisa cronobiológica* (Lakatos), *tradição de pesquisa cronobiológica* ou *suposições diretivas cronobiológicas*.³ Todos esses termos apresentam significados semelhantes. Mesmo o termo “paradigma” foi muito criticado, principalmente pelos múltiplos significados que o próprio Kuhn lhe deu e os múltiplos usos que vários autores fizeram dele. Mesmo Kuhn chegou a aceitar a possibilidade do uso de outro termo para evitar contradições e múlti-

plas interpretações.⁴ Apesar de todas as restrições que já se colocaram, usaremos aqui o termo “paradigma”, o qual entendemos como as realizações científicas universalmente reconhecidas e que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência.⁵

A mudança científica que ocorre com o nascimento da cronobiologia é caracterizada pela incorporação, por parte da biologia, de uma preocupação temporal, colocada na base dos mecanismos funcionais de todos os seres vivos. Como consequência, temos a aceitação da existência dos ritmos biológicos, a superação do debate exógeno *versus* endógeno para a determinação dos ritmos biológicos (que caracterizou durante certo tempo o estudo dos ritmos biológicos) e a formulação do conceito de relógio biológico. Não pretendemos aqui utilizar a história da cronobiologia para testar os atuais modelos de teoria da ciência, mas estamos mais preocupados em compreender as mudanças que ocorreram na biologia a partir da introdução da cronobiologia e com isso entendermos o porquê de ela ser um campo multidisciplinar. Por isso iremos utilizar elementos de vários modelos da teoria das ciências, mesmo que alguns pontos sejam discordantes entre si. O mo-

2. ASCHOFF, J. (1960), Exogenous and endogenous components in circadian rhythms. Cold Spring Harbor *Symp Quant Biol*, n. 25, pp. 11-28.

3. LAUDAN, L et al. (1993), “Mudanças científicas: modelos filosóficos e pesquisa histórica”. *Estudos Avançados*, n. 7, pp. 7-89.

4. SANTOS, S. I. R. (1979), *Os fundamentos sociais da ciência*. São Paulo, Editora Polis, 1979.

5. KUHN, T. S. (1969), *The structure of scientific revolutions*. Chicago, The University of Chicago Press.

delo que iremos utilizar como padrão será o de Thomas Kuhn. Mostraremos, no entanto, algumas divergências existentes entre alguns pontos dos diversos outros modelos e tentaremos justificar nossa escolha. É claro que neste estudo não estamos de forma alguma testando uma teoria em particular, mas, sim, fazendo aplicações dos modelos teóricos de mudanças científicas ao caso particular da cronobiologia. Queremos apenas evidenciar alguns aspectos ainda negligenciados da história da cronobiologia e com isso contribuir para a compreensão do desenvolvimento atual de algumas questões cronobiológicas para as quais pretendemos sugerir algumas explicações.

Com o estabelecimento do marco histórico inicial da cronobiologia no CSHSQ — Biological Clocks, enquanto institucionalização disciplinar, vamos mostrar o que ocorreu antes desse marco e o que vem se desenvolvendo desde então.

Descrições sobre ritmicidade entre os seres vivos são conhecidas há muito tempo. Desde o início da ciência formal, com o desenvolvimento dos conhecimentos da Astronomia, já se conheciam as flutuações sazonais na agricultura. Em um dos fragmentos dos poemas do poeta Archilochus, que viveu em Paros em 650 a.C., encontramos a seguinte afirmação: “identifique o quanto os ritmos governam o homem”. Em Hipócrates temos “*Dies et nox ad summum et minimum considerantur*”, que J. Aschoff traduziu livremente como “Acrofases podem ocorrer em alguma fase do circadiano”. Se-

gundo Galeno, “Um período é o tempo no qual há o resultado de tensão e relaxamento nas doenças”.⁶ Mas o primeiro relato que podemos considerar como realmente científico sobre a ritmicidade biológica ocorreu no século XVIII, em 1729, quando o astrônomo francês J. J. De Mairan relatou à Academia Francesa de Ciências que os movimentos das folhas de uma planta chamada sensitiva permaneciam oscilando, com um período de 24 horas, mesmo quando a planta era isolada da alternância ambiental do claro e escuro.

A primeira tese formal sobre ritmos biológicos foi escrita por Julien-Joseph Virey em 1814, por ocasião de seu doutorado: *Ephémérides de ses phénomènes dans la santé et les maladies*. Para Aschoff, Virey foi o primeiro a introduzir o termo relógio biológico na sua descrição do sistema circadiano, em que diz:

N'est-ce pas ainsi comme une système des rouages engrenes l'un dans l'autre, une sorte d'horloge vivante, montré par la nature et entraînée par le mouvent rapide de notre sphère et soleil?

Apesar dessas evidências, no entanto, apenas na primeira metade do século XX é que o debate sobre os ritmos biológicos foi enfrentado mais seriamente pela comunidade científica. Como exemplos desse debate vamos comentar os relatos de três pesquisadores: Jurgen Aschoff, Franz Halberg

6. Apud ASCHOFF, J. (1974), Speech After Dinner. *Chronobiologia*, 1 (suppl 1): pp. 483-495.

7. Idem.

e Alain Reinberg. São eles alguns dos principais responsáveis pela organização da cronobiologia como uma disciplina formal. Procuraremos enfatizar os aspectos que cada um compartilha com o outro, principalmente nas situações com que eles se depararam com achados experimentais novos. Nesses relatos os autores comentam sobre como enfrentaram as suas dificuldades empíricas para explicar os resultados experimentais obtidos e para os quais as teorias conhecidas até então não ofereciam previsões.

O primeiro fato relevante a ser destacado desses três relatos refere-se a que, apesar de os relatos sobre a ritmicidade biológica serem antigos, somente na segunda metade do século XX é que surge uma preocupação mais formal e contínua com esta área da Biologia. Reinberg e Smolensky chamam a atenção para esse fato, quando levantam a questão do porquê desse desenvolvimento tardio da cronobiologia.⁸ Para nós, isso é explicado, provavelmente, pela própria dinâmica da ciência e pelos mecanismos que geram as mudanças científicas.

Nos três textos referidos acima encontramos alguns outros pontos importantes para compreender esse processo. Seus autores relatam a sua surpresa ao se depararem com a ritmicidade biológica, quando avaliaram seus

resultados. Isso fica bastante claro em Franz Halberg, “*confusa variabilidade: sem aparente razão*”, em Alain Reinberg e seus colaboradores, “*Nossa surpresa diante desse resultado foi grande*”, e em Jurgen Aschoff “*Uma clara variação na perda de calor não descrita previamente*”. A ritmicidade violava suas expectativas ante o conhecimento estabelecido na época. Por que a ritmicidade era considerada uma confusa variabilidade? Para Thomas Kuhn, quando os resultados experimentais violam as expectativas paradigmáticas que governam a ciência normal, estamos ante uma anomalia.⁹

O “paradigma” para o qual a ritmicidade mostrava-se como uma anomalia é bem identificado por Alain Reinberg em seu texto de 1977.¹⁰ Como Kuhn chama a atenção, é o estudo dos paradigmas que prepara, basicamente, o estudante para ser membro de uma comunidade científica na qual atuará mais tarde. Reinberg cita:

tant à la Faculté des Sciences qu’ à la Faculté de Médecine, ne nous avait jamais parié de ces variations rythmiques. Au contraire l’enseignement que j’avais reçu me donnait à penser que tout un ensemble de systèmes neuro-endocriniens fonctionne dans l’organisme de manière à maintenir constants les milieux cellulaires et extra-cellulaires.

8. REINBERG, A. e SMOLENSKY, M. H. (eds.). (1983), Introduction to Chronobiology. In: *Biological Rhythms and Medicine: Cellular, Metabolic, Physiopathologic, and Pharmacologic Aspects*. New York, Springer-Verlag.

9 KUHN, T. S. (1977), *The essential tension*. Chicago, University of Chicago Press.

10. REINBERG, A. (1977), *Des Rythmes Biologiques à la Chronobiologie*. Paris, Bordas.

A suposição diretiva predominante na época era da homeostasia, expressa ironicamente por Reinberg como a “Santa Homeostasia”, em que o sistema biológico deveria permanecer constante.

Nos textos, tanto Franz Halberg quanto Alain Reinberg, inicialmente, duvidaram dos seus próprios resultados e os consideraram perturbações experimentais, vindas da manipulação dos próprios animais ou interferência alimentar, respectivamente. Mas quando as condições experimentais foram controladas, a ritmicidade permaneceu ou foi mais ainda exacerbada.

No texto de Reinberg ficam claros os traços da emergência gradual e simultânea de um reconhecimento, tanto no plano conceitual como no da observação, da tomada de consciência da anomalia e da crítica à homeostasia. A mudança de “paradigma” não deve ser vista individualmente, pois, por definição, ela só é válida para uma determinada comunidade científica. Thomas Kuhn reconhece isso, principalmente em suas últimas publicações.¹¹ De modo geral, a mudança dos paradigmas é acompanhada, naturalmente, por muitas resistências.

Na primeira metade do século XX, um dos grandes debates na área dos ritmos biológicos era o de como eles seriam “controlados”, se endógena ou se exogenamente. Os que defendiam a natureza endógena dos ritmos biológicos consideravam a ritmicidade, e não a constância, como predizia a homeos-

11. KUHN, T. S. (1977), *The essencial tension*, op. cit.

tasia, como um aspecto fundamental dos seres vivos. Como exemplo desse debate temos as conferências da Internationale Gesellschaft für Biologische Rhythmusforschung. Na conferência de 1949, a abertura foi uma defesa da ritmicidade exógena e, entre os trinta trabalhos apresentados, somente um citava dados que, hoje, poderíamos interpretar como sugestivos, sobre ritmo em livre-curso.¹² Já na conferência de 1953, Erwin Bünning apresentou uma série de trabalhos demonstrando a endogenicidade dos ritmos biológicos, sendo, a partir de então, a referência para muitos jovens pesquisadores, dentre eles o próprio Jurgen Aschoff.¹³

O paradigma cronobiológico pode ser resumido na idéia de que há uma organização temporal da matéria viva.

Após as primeiras dificuldades empíricas, aqueles pesquisadores que se dedicaram à ritmicidade biológica passaram à pesquisa de fatos mais recônditos; esse aprofundamento em nível de pesquisa requereu:

- a) um refinamento conceitual (idéias de relógio biológico, de oscilações biológicas, de curva de resposta de fase, de arrastamento, de mascaramento, de sincronização, etc.);
- b) o desenvolvimento de um vocabulário técnico e, algumas vezes, até mesmo esotérico (como livre-curso, “zeitgeber”, cosinor, acrofase,

12. ASCHOFF, J. (1990), “Sources of thoughts from temperature regulation to rhythm research”. *Chronobiol. Int.* n. 7, pp. 179-186.

13. Ibid.

- circadiano, ultradiano, infradiano, etc.);
- c) a elaboração de técnicas e a construção de equipamentos científicos mais requintados (tais como unidades de isolamento, de sistemas de controle ambiental, da auto-ritmometria, de uma coleta de dados mais sensível, etc.).

Dentre esses fatores, destacaríamos o surgimento da idéia de relógio biológico, uma das mais belas metáforas da Biologia. O termo surge propondo a existência de estruturas biológicas capazes de gerar e contar o tempo.

Resumindo, podemos afirmar que, desde o princípio, o paradigma homeostático foi universalmente reconhecido e forneceu, até um determinado momento, explicações para problemas científicos variados e propôs soluções modelares para a comunidade científica. O estudo experimental subsequente, entretanto, mostrou anomalias que colocaram o paradigma homeostático em crise. A solução, para a explicação destas anomalias, levou ao surgimento de um novo paradigma, o paradigma cronobiológico, que teve o seu clímax no encontro do Cold Spring Harbor de 1960.

Os anos 1960-1970. A formação da disciplina¹⁴

Esse processo não foi linear como possa ter sido sugerido pelo exposto,

14. O estudo da formação de uma disciplina científica tem sido proposto como um instrumento

mas é importante destacar que ele é e continua sendo dinâmico, e a discussão cronobiologia *versus* homeostasia ainda é polêmica, principalmente na Medicina e na Fisiologia, disciplinas que sofrem grande influência de uma visão reducionista do procedimento científico. Tanto Franz Halberg, em 1967, quanto Alain Reinberg, dez anos depois, propõem uma revisão radical do conceito de homeostasia. Outros têm pontos diferentes. Jurgen Aschoff, em 1979, sugere que a cronobiologia seja uma complementação da homeostasia. Já Colin Pittendrigh, em 1960, não leva em conta a necessidade de revisão do conceito de homeostasia, mas, sim, de sua especificação temporal. Moore-Ede em 1986,¹⁵ por outro lado, discute o conceito de homeostasia em dois níveis, a homeostasia reativa, que é originada a partir da perturbação da estabilidade do sistema, e a homeostasia antecipativa, que inclui o paradigma cronobiológico. Mais recentemente, Mrosovsky propõe o termo reostasia em um livro chamado "*Rheostasis: The Physiology of Change*".¹⁶ Ele discute a necessidade da revisão do conceito de

para a sociologia da ciência. Um estudo detalhado da formação da cronobiologia como disciplina científica encontra-se em CAMBROSIO, A. e KEANTING, P. (1983), "The disciplinary stake; the case of chronobiology". *Social Studies of Science*, n. 13, pp. 323-353.

15. MOORE-EDE, M. (1986), "Physiology of the circadian timing system; predictive versus reactive homeostasis". *Am. J. Physiol.*, n. 250, pp. R737-R752.

16. MROSOVSKY, N. (1990), *Rheostasis, the physiology of change*. New York, Oxford University Press.

homeostasia a partir da compreensão do sistema biológico, que é composto por múltiplos sistemas funcionais interligados. Reostasia implica que os limites de controle (os chamados “*set point*”) dos diversos sistemas funcionais não sejam fixos e que podem mudar em várias situações. Além disto, essas modificações tanto podem ser programadas previamente, quanto ser apenas reativas. Essa discussão entre homeostasia e cronobiologia pode ser comparada, de certa maneira, ao debate relatividade einsteiniana e dinâmica newtoniana. A relatividade superou a mecânica de Newton, mas, para o mundo macroscópico, como, por exemplo, para se construir uma bicicleta, a mecânica de Newton nos basta. Todavia, ela não explica os fenômenos em escalas astronômicas ou microscópicas. De maneira semelhante, a homeostasia explica os reflexos de ajuste da pressão arterial como sendo em razão das mudanças posturais, todavia, ela não consegue explicar as variações rítmicas. É por meio da dúvida em relação ao paradigma homeostático que o superamos e, ao mesmo tempo, conservamos sua riqueza, e somente por meio da dúvida em relação ao paradigma cronobiológico é que o obtemos e o conservamos vivo.¹⁷

17. Nessa polêmica, estamos de acordo com a posição de Yates, que, baseado em uma discussão sobre aplicações da teoria de sistemas dinâmicos na Biologia, sugere que a estabilidade biológica no espaço e no tempo deveria ser vista sob um ângulo diferente da homeostasia, sugerindo o termo hemoedinâmico. YATES, F. E. (1987), *Self-Organizing System*. New York, Plenum Press.

No processo de organização da cronobiologia como disciplina, surgiu uma outra polêmica. Desta vez relativa aos rumos que os estudos dos ritmos biológicos deveriam tomar. Essa discussão deu-se principalmente entre os que defendiam a formalização de uma disciplina científica independente. Isso teria como consequência imediata, dentre outras, a criação de periódicos especializados, a organização de sociedades científicas e de cursos universitários diferenciados. A outra posição defendia a idéia de que o estudo da ritmicidade biológica ficasse apenas como uma parte não formal da Biologia, já que ele não seria uma especialidade, mas, sim, apenas, o objetivo de trabalho de um biólogo. Para Colin Pittendrigh, o estudo da ritmicidade biológica começou com a demonstração da existência dos “relógios biológicos” e dos modelos de “osciladores auto-sustentados.”¹⁸ Esses foram os primeiros passos para se chegar à descoberta das propriedades fundamentais dos ritmos circadianos e às bases biológicas dos osciladores e de seus mecanismos. Entretanto, para Franz Halberg, esse estudo deveria incluir não somente os ritmos circadianos, mas também outras questões, como o crescimento, o desenvolvimento, o envelhecimento, sem dúvida envolvendo outras frequências, como os ritmos ul-

18. PITTENDRIGH, C. H. (1974), “Circadian oscillations in cells and the circadian organization of multicellular systems”. In: SCHIMITT, F.O. e WORDEN, F.G. (eds.). *The Neurosciences— Third Study Program*. Cambridge, MIT Press.

tradianos e infradianos. Para Franz Halberg, o modelo proposto por Colin Pittendrigh era um obstáculo para o desenvolvimento da cronobiologia, enquanto para Colin Pittendrigh a direção que seria dada por Halberg iria fracionar os conceitos e se afastava das bases da ritmicidade.¹⁹

Uma parte dos pesquisadores, seguindo a proposta de Franz Halberg, organizou a International Society for Chronobiology (ISC) e a edição de periódicos especializados em cronobiologia, tais como as revistas *Chronobiologia* e *Chronobiology International*. Esse grupo passou a ser identificado como o dos *cronobiologistas* em senso lato. Por outro lado, alguns outros seguiram a proposta de Colin Pittendrigh, criando a Society for Research on Biological Rhythms, não participando nem dos congressos organizados pela ISC e também não publicando nos periódicos acima citados e, sim, em outras revistas especializadas, principalmente na área de fisiologia e alguns outros ramos da biologia. Esse último grupo passou a ser identificado mais com a procura dos relógios biológicos enquanto estruturas discretas. Essa disputa acirra-se com a projeção científica dos dois grupos em que os *cronobiologistas* penetram lentamente no meio médico, com trabalhos de cronoterapêutica e diagnóstico, e os outros mais entre pesquisadores de áreas básicas.

As divergências agravam-se, principalmente após o aparecimento dos

primeiros trabalhos mostrando que o núcleo supraquiasmático, que se localiza na região anterior do hipotálamo, era o relógio biológico responsável pelos ritmos circadianos dos mamíferos.

Esse debate, algumas vezes muito acirrado, concorda plenamente com uma das afirmações consensuais dos diversos modelos de teoria de mudanças científicas. Estes afirmam que a coexistência de conjuntos rivais de paradigmas é a regra e não a exceção e que o debate desses paradigmas não é alternado com períodos de assentimento universal a um conjunto, mas ocorre constantemente.²⁰ Para nós, a discussão neste momento não era efetivamente uma disputa entre paradigmas rivais, pois só existia um paradigma, o cronobiológico, e uma única comunidade científica; todavia, o que existia era realmente uma disputa pela acumulação do “capital simbólico” com o objetivo de dominar o “mercado científico”, como propõe Bourdieu.²¹ Bourdieu, diferentemente de Kuhn, considera que a manutenção e a ruptura na ciência ocorre devido às estratégias dos cientistas na busca de crédito científico:

Normas, valores, consenso e recompensas não são as causas da atividade social, mas resultados desta atividade

19. CAMBROSIO, A e KEATING, P., op. cit.

20. LAUDAN, L. et al. op. cit.

21. HOCHAMAN, G. (1994), “A ciência entre a comunidade e o mercado. Leituras de Kuhn, Bourdieu, Latour e Knorr-Cetina”. In: POTOARRERO, V. (org.). *Filosofia, história e sociologia das ciências I: Abordagens contemporâneas*. Rio de Janeiro, Fiocruz.

dade, que existe através das estratégias adotadas pelos investidores na busca de maximização de capital simbólico. Todos querem maximizar os lucros, obter, acumular e manter o seu capital científico, autoridade/competência científica reconhecida.²²

O que havia nesse período era uma disputa de estratégias diferentes para obter maior maximização. Tal explicação, baseada no modelo de Bourdieu para esta fase do desenvolvimento da cronobiologia, parece-nos muito interessante, principalmente após realizarmos uma entrevista estruturada com Robert Moore, um dos pesquisadores mais próximos de Pittendrigh. Este relatou que nessa fase ele e os vários outros pesquisadores não participavam da Sociedade Internacional de Cronobiologia por não reconhecerem a autoridade/competência científica de Halberg.

Nessa fase, a cronobiologia encontrava-se na etapa de seu desenvolvimento histórico, em que buscava informações mais detalhadas e descrições mais precisas, no sentido de produzir uma integração maior entre teoria e observação. De forma geral, podemos dizer que a cronobiologia inicialmente privilegiou um único padrão temporal, o circadiano. Apesar da posição de Franz Halberg e Alain Reinberg, acabou predominando a visão reducionista, que buscava a explicação da ritmicidade biológica unicamente em osciladores discretos, localizados no

22. Ibid.

sistema nervoso central. Esse direcionamento ocorreu sobretudo porque os ritmos circadianos apresentam uma expressão mais exuberante em relação aos ritmos com outras frequências. Além disso, a metodologia aplicada para detectar os ritmos circadianos é mais simples. Ritmos com frequências lentas, como os circanuais, dependem de longas séries temporais para serem detectados. Por outro lado, ritmos com frequências rápidas, os ritmos ultradianos dependem de técnicas de coletas mais sensíveis, capazes de detectar pequenas flutuações em curtos intervalos de tempo.

A concepção reducionista ganhou bastante força com os resultados iniciais que demonstraram a perda da expressão do ritmo circadiano de atividade-repouso, de ingestão de líquido e da secreção de cortisol, em ratos, após a lesão bilateral dos núcleos supraquiasmáticos.²³ Consideramos essa visão reducionista por supor que os organismos nada mais são que um agregado de estruturas, átomos e moléculas, que exibem propriedades que correspondem às de suas partes, ou seja, julgam que o conhecimento do todo é derivado de seus elementos (reducionismo ontológico). Supõe também que o problema da ritmicidade biológica deve ser

23. MORRE, R. Y. e EICHLER, V. B. (1972), "Loss of circadian adrenal corticosterone rhythm following suprachiasmatic lesions in the rat". *Brain Res*, n. 42, pp. 201-206 e STEPHAN, J. e ZUCKER, I. (1972), "Circadian rhythms in drinking behavior and locomotor activity of rats are eliminated by hypothalamic lesions". *Proc Natl Acad Sci, USA*, n. 69: pp. 1583-1586.

investigado exclusivamente pelo estudo dos relógios biológicos (reduccionismo metodológico ou estratégico).²⁴ Essa posição fica clara através de duas diferentes citações de dois expoentes dessa vertente. O primeiro é o mesmo Robert Moore:

A função primária do núcleo supraquiasmático é gerar e regular o sistema circadiano... O sistema de temporização circadiano é um sistema multioscilar, o núcleo supraquiasmático é ele mesmo um sistema multioscilar.

O segundo é Fred Turek:

Os ritmos circadianos são regulados por um(s) marcapasso(s) circadiano principal ("master") localizado no núcleo supraquiasmático dos mamíferos.

Essa visão reducionista é um reflexo da concepção localizacionista que dominou as neurociências, de maneira geral, durante as décadas de 1960 e 1970.

Com a dominância dessa visão, os modelos cronobiológicos foram centrados quase que exclusivamente no sistema circadiano, tendo como fundamental, ainda, a existência de osciladores. Esses modelos representam, em sua maioria, uma única frequência, explicando apenas os ritmos com correla-

tos geofísicos, e os modelos são hierárquicos em sua essência.

Conforme discutimos anteriormente, os diversos modelos de desenvolvimento científico não explicam a totalidade do fazer ciência, mas apenas algumas fases desse fazer. Por isso, ao analisamos essa fase da cronobiologia, consideramos que nesse momento o que ocorre é a formação de dois campos científicos com um único paradigma, o cronobiológico. Para nós, a explicação dessa fase é mais bem descrita pelo modelo de Latour, que sugere uma ampliação do conceito de crédito para credibilidade. Latour mantém algumas idéias de Bourdieu, mas acrescenta a

idéia de que o principal para os pesquisadores é o reinvestimento contínuo dos recursos acumulados, formando um ciclo de credibilidade.²⁵

O ciclo de credibilidade vai definir o que Latour chama de campo científico, e é por isso que propomos que nessa fase há a formação de dois campos científicos com um mesmo paradigma. Um campo científico que chamamos de "*campo científico cronobiológico*", em que o ciclo de credibilidade estava em torno de Halberg, e que a interação entre os pesquisadores ocorria com uma composição multidisciplinar, principalmente porque o ciclo de credibilidade neste era decorrente das implicações e das aplicações que o paradigma cronobiológico

24. AYALA, F. J. "Biological reductionism. The problem and some answers". In: YATES, F. E. (ed). (1987), *Self-Organizing System*. New York, Plenum Press.

25. Idem HOCHMAN, 1994.

ganhava. No outro lado, o “*campo científico ritmos biológicos*” mantinha seu ciclo de credibilidade em torno de um modelo reducionista de ciência e seus principais créditos eram a descoberta do NSQ e dos genes que regulavam a ritmicidade circadiana em moscas de frutas.²⁶

Podemos fazer ainda uma outra leitura dessa primeira fase da cronobiologia. No final dos anos 1950 e início dos 1960, temos o aparecimento do paradigma cronobiológico e da comunidade científica dos cronobiólogos. Quando olhamos para o final de 1960 e início de 1970 encontramos o mercado cronobiológico sendo disputado, e essa disputa ocorre entre duas estratégias diferentes de como maximizar o “capital simbólico cronobiológico”. No momento seguinte temos o crescimento e o fortalecimento dos dois grupos, constituindo o que chamamos aqui de “campo científico cronobiológico” (Halberg) e “campo científico ritmos biológicos” (Pittendrigh). O fortalecimento do campo científico ritmos biológicos ocorre devido à credibilidade do grupo, após a descoberta do NSQ e dos aspectos genéticos da ritmicidade circadiana. Com isso ocorre o fortalecimento da interação e troca de informação entre os pesquisadores vinculados a modelos experimentais de biologia molecular

26. A denominação “campo científico cronobiológico” e “campo científico ritmos biológicos” originam-se das duas principais sociedades formadas pelos dois grupos. Sociedade Internacional de Cronobiologia (Halberg) e Sociedade de Pesquisa em Ritmos Biológicos (Pittendrigh).

e neuroanatomia. No outro lado, o fortalecimento do campo científico cronobiológico ocorre devido às implicações e aplicações da cronobiologia, onde o fortalecimento da interação ocorre entre pesquisadores de diversas áreas, e por isso é o campo científico cronobiológico que mantém a multidisciplinaridade dentro da cronobiologia.

Os anos 1970-1980. O aparecimento das ambigüidades

Nessa fase, continua a disputa entre o campo científico cronobiológico e o campo científico ritmos biológicos, as duas concepções dentro da cronobiologia. Essa disputa fica clara em publicações como as de E. Powell *The Master Clock Illusion*,²⁷ em que faz uma crítica ao dogma de que o núcleo supraquiasmático controle todos os ritmos circadianos. Do outro lado, há o artigo de Fred Turek, “Do circadian biologists and chronopharmacologists talk the same language?”,²⁸ em que o próprio título já mostra uma divisão entre concepções diferentes sobre os ritmos biológicos.

Os esforços da cronobiologia concentravam-se na ação de expandir e articular o paradigma cronobiológico; tal articulação visava superar as ambigüidades dos resultados das observa-

27. POWEL, E. W. (1988), “The Master Clock Illusion”. *Cronobiologia*, n. 15, pp. 321-322.

28. TUREK, F. W. (1988), “Do Circadian biologists and chronopharmacologists talk the same language?”. *Ann Rev Chronopharmacol* n. 24, pp. 205-208.

ções empíricas e produzir, cada vez mais, uma visão simples e sinóptica do paradigma. Por sua vez, essa simplificação e generalização do modelo cronobiológico permitiu a solução de problemas para os quais o paradigma, na sua versão primitiva, havia apenas chamado a atenção dos cronobiologistas.

Por outro lado, o aprofundamento dos estudos reducionistas trouxe à tona várias ambigüidades, provocando então uma redução da “credibilidade” “do campo científico ritmos biológicos”, enquanto há um aumento na “credibilidade” do “campo científico cronobiológico”, principalmente devido à associação entre os pesquisadores de diversas áreas fortalecendo esse campo científico. Dentre as várias ambigüidades na cronobiologia nesse momento, chamamos atenção para estas:

1. evidências de múltiplos osciladores para o sistema circadiano;
2. evidências de osciladores circadianos independentes do núcleo supraquiasmático, incluindo os osciladores periféricos fora do sistema nervoso central;
3. evidências de múltiplas frequências simultâneas e
4. evidências de osciladores para outras frequências.

Os anos 1990. A reunificação em torno do paradigma.

Um fato muito importante nos anos 1990, na cronobiologia, foi a World Conference on Chronobiology and Chronotherapeutics, realizada em Fer-

rara, Itália, de 6 a 10 de setembro de 1995. A realização de uma conferência internacional é um fenômeno comum em qualquer especialidade científica. Todavia, essa World Conference foi uma “*Joint Meeting*”, em que participaram a International Society for Chronobiology, a European Society for Chronobiology, a Society for Research on Biological Rhythms, o Groupe d’Etude des Rythmes Biologiques, a Association de Chronobiologie Médicale e a Società Italiana di Cronobiologia.

Na World Conference estavam reunidas as duas concepções da cronobiologia, os dois campos científicos, e essa conferência pretendia cumprir o papel de reunificação, como ficou claro nas palavras de Lelenad Edmunds, o então presidente da International Society for Chronobiology:

I hope that this “togetherness” reflects a trends for future cooperation among the rapidly proliferating chronobiological groups.

Esses fatos novos na cronobiologia levantaram algumas questões importantes e acreditamos que esses dados devam ser investigados com uma abordagem mais ampla para outras áreas das ciências.

Queremos então chamar a atenção para algumas questões: (1) a realização da World Conference representou em sua essência uma mudança conceitual e metodológica na cronobiologia? Ou seja, havia uma tendência de repensar o reducionismo na cro-

nobiologia?; (2) essa tendência ocorreu e/ou ocorre também em outras áreas do conhecimento científico?; (3) podemos fazer uma generalização e afirmar que a ciência, em si, passa por uma fase revolucionária?; (4) essas mudanças estavam/estão ocorrendo por influência das atuais transformações políticas e sociais no mundo ou são decorrentes de uma necessidade interna do atual estágio das ciências naturais?

Acreditamos que essas questões devam ser objetos de pesquisa da história e da filosofia da ciência atual. Nós participamos da World Conference, não só como cronobiologistas, mas com o objetivo de investigar o conteúdo e a forma dessa conferência para tentarmos elucidar algumas dessas questões. O que encontramos foi um reencontro parcial dos campos científicos, o “cronobiológico” e o “ritmosbiológicos”.

Conforme temos anunciado desde o início deste artigo, consideramos que os diversos modelos de história/filosofia da ciência apresentam-se úteis em determinados momentos. Utilizamos a categoria paradigma/comunidade científica (Kuhn) para explicar a formação inicial da cronobiologia, a categoria capital simbólico/mercado científico (Bourdieu) na discussão da formalização da cronobiologia como disciplina científica e a categoria ciclo de credibilidade/campo científico (Latour) na discussão do debate das concepções reducionista e não reducionista entre os cronobiologistas. Nessa última fase vamos utilizar uma outra categoria, a

arena transepistêmica (Knorr-Cetina).²⁹
Knorr-Cetina

assume que escolhas técnicas não são determinadas exclusivamente por cientistas e, por isso, não vê sentido em se reivindicar que a comunidade científica seja considerada a unidade relevante de produção do conhecimento.³⁰

Knorr-Cetina introduz como determinante da produção do conhecimento científico agentes não cientistas, como o Estado e, principalmente, as instituições financiadoras. O que ocorre nessa fase, em que o “campo científico ritmos biológicos” perde credibilidade, devido às suas próprias ambigüidades experimentais, é a formação da “arena transepistêmica cronobiológica”. Alguns fatores são facilitadores da formação dessa arena. Afinal, se, por um lado, aparecem as ambigüidades na visão reducionista, em contrapartida, há um aumento na credibilidade para aqueles que fazem biologia molecular, aumentando o ciclo de credibilidade nesse campo científico com os avanços nas pesquisas dos projetos genomas. No outro lado, há um aumento da credibilidade dos cronobiologistas devido às aplicações da cronobiologia, principalmente na área médica.³¹ Atualmente, não observamos, pelo menos com uma forma

29. ROCHAMAN, G., op. cit.

30. Ibid.

31. O crescimento da credibilidade dos cronobiologistas pode ser visto em um trabalho no qual avaliamos a utilização do termo “cronobiologia”

predominante, a divisão entre campo científico cronobiológico e campo científico ritmos biológicos, mas uma unidade a que chamamos de “arena transepistêmica cronobiológica”. Conforme comentado acima, o termo proposto vem da categoria utilizada por Knorr-Cetina em seu modelo explicativo da produção de conhecimento. A utilização do termo arena transepistêmica foi devida à nossa consideração de que a reunificação na cronobiologia foi determinada por fatores externos e internos aos cientistas. Todavia, cabe ressaltar que essa reunificação fortaleceu o paradigma cronobiológico e a comunidade cronobiológica e, com isso, a cronobiologia como disciplina científica.

Com certeza, os fatores externos à comunidade científica, que facilitaram esse processo de reunificação, foram as mudanças políticas e sociais ocorridas nos anos 1990, além das novas proposições teóricas dentro da própria ciência, como as introduzidas pela teoria do caos, teoria da catástrofe, teoria dos sistemas complexos, etc.

Um outro fator que consideramos fundamental para a reunificação dos dois grupos foi o aspecto multidisciplinar do campo científico cronobiológico. Para nós, quando um campo científico apresenta como característica a multidisciplinaridade, esse campo passa

e “circadiano” como palavras-chaves em artigos indexados na base de dados MedLine de 1965 até 1995, em que a utilização do termo cronobiologia apresentou um crescimento exponencial a partir de 1990.

a trabalhar com um paradigma aberto o suficiente para a resolução de novos problemas, e com isso impõe à comunidade uma certa flexibilidade, permitindo a incorporação de novos praticantes, principalmente de outras áreas ou até antigos adversários, e que novas questões passem a integrar esse campo científico, formando a “Comuna Científica”.³² O termo “Comuna Científica” é proposto aqui como uma nova categoria de um modelo de produção de conhecimento, representando uma fase do desenvolvimento científico em que o paradigma científico é aceito universalmente tanto entre os cientistas quanto entre as instituições financiadoras, na ciência aplicada, na mídia e na população não científica. Além de incorporar esses determinantes na produção do conhecimento, esse termo incorpora os elementos dos modelos de Kuhn, Bourdieu, Latour e Knorr-Cetina, ou seja, o termo “Comuna Científica” implica uma determinação do contexto histórico no surgimento da própria comuna científica.

Para onde vai a cronobiologia?

Desde o princípio elaboramos nosso raciocínio para definir que o atual estado da arte da cronobiologia possa ser chamado de “Comuna Científica Cronobiológica”, em que o paradigma é aceito universalmente, tanto pelos praticantes da cronobiologia,

32. Uma discussão sobre essa categoria será objeto de um outro trabalho.

como pelos outros cientistas e a sociedade externa à ciência. Com isso retornamos a nossa proposta inicial, de que o ponto central de um modelo de dinâmica da ciência é que a ciência seja estudada como um processo em movimento e em mudança, cabendo aqui um novo questionamento: para onde vai a cronobiologia?

Avaliando o estado atual da cronobiologia como ciência, podemos imaginar que essa disciplina poderá ter dois futuros, que podem ser exemplificados como vertentes da “Comuna Científica Cronobiológica”: a vertente da consolidação e a vertente da superação. A vertente da consolidação representa um aprofundamento do paradigma cronobiológico e o aparecimento de novos grupos de cronobiologia, bem como o fortalecimento dos atuais grupos de pesquisas, a introdução da cronobiologia como disciplina em currículos de graduação e pós-graduação e uma maior valorização da cronobiologia pelas instituições financiadoras e pelo público em geral. Isso tudo levaria ao aumento da credibilidade da cronobiologia como disciplina científica. Por outro lado, a vertente da superação implica em que os conceitos cronobiológicos serão incorporados e apropriados pelas outras disciplinas científicas, fazendo com que a credibilidade desse campo científico seja perdida; com isso, a cronobiologia, como disciplina científica autônoma, tenderia a desaparecer.

Todavia, uma terceira vertente é possível. Uma vertente em que haja tanto a consolidação quanto a supera-

ção. Olhamos essa terceira vertente com bons olhos, mas acreditamos que ela só será possível caso a cronobiologia continue a ser multidisciplinar. Isso ocorrendo, haverá naturalmente o aumento da credibilidade da “Comuna Científica Cronobiológica”. Por desejarmos que o futuro da cronobiologia seja o dessa terceira vertente é que justificamos o título deste artigo: Cronobiologia: uma multidisciplinaridade necessária.

*Recebido em 31/4/2002
Aprovado em 30/6/2002*

John Fontenele Araujo, Laboratório de Cronobiologia, Departamento de Fisiologia, UFRN. Caixa Postal 1506, Natal, RN CEP 59078-970.
E-mail: araujo@cb.ufrn.br

Nelson Marques, Departamento de Clínica Médica, Faculdade de Medicina, USP.