

Uma Revisão da Teoria Quântica da Consciência de Penrose e Hameroff

Henrique de Moraes Ribeiro

philophia@yahoo.com.br, scientia@scientia.com.br

Professor de Lógica e Filosofia da Mente

Instituto de Filosofia do Seminário Provincial

R. Thomaz Alcalde, 764, 17511-680, Marília-SP, Brasil.

Resumo

Este artigo representa a parte descritiva de um trabalho no qual se analisa criticamente a hipótese de consciência quântica de Penrose-Hameroff. Segundo esta hipótese, a integração das atividades cerebrais (*binding*) é devida ao fenômeno quântico do condensado de Bose-Einstein amplificado, hipótese esta que indica a existência de um campo interdisciplinar de pesquisa, a Neurociência Computacional-Relativística Quântica. Esta ciência representa uma grande interdisciplina que liga outras ciências, quais sejam a Mecânica Quântica, a Teoria da Relatividade e a Neurobiologia, de modo que a hipótese haure fontes nestas disciplinas. No que se refere à Mecânica Quântica, discute-se brevemente o problema da medida e a correspondente abordagem de Penrose deste problema, em termos de redução objetiva do vetor de estado quântico (*objective reduction, OR*). Na Relatividade, são abordados os elementos do problema da grande unificação, e a proposta de Penrose para sua solução. No domínio da Neurobiologia, investiga-se a anatomia e a fisiologia dos microtúbulos, considerados relevantes para o entendimento dos fenômenos mentais. Na complexa ligação entre essas ciências, a hipótese de Penrose representa um importante traço de união interdisciplinar. Em outro artigo, tratar-se-á da análise crítica dos pressupostos da hipótese descrita neste artigo.

Unitermos: binding, redução objetiva, gravidade quântica, computabilidade, problema mente-cérebro, interdisciplinaridade, unidade das ciências.

Introdução

A hipótese de que a integração das atividades cerebrais é uma amplificação do fenômeno quântico da condensação do gás de fótons de Bose-Einstein representa um horizonte dos estudos neurocientíficos, horizonte que é, a primeira vista, de natureza interdisciplinar, na qual divisa-se uma grande teoria unificada, envolvendo problemáticas propostas na Neurociências, Física (Mecânica Quântica e Teoria da Relatividade), Filosofia e Lógica Matemática.

Na Mecânica Quântica (MQ, doravante), ou no quadro teórico da mecânica dos fenômenos discretos da natureza, considera-se que todos fenômenos físicos são necessariamente considerados quantizados, no que se refere à todas as grandezas físicas envolvidas. A MQ apresenta diversas dificuldades teóricas, embora seja uma teoria com vasta aplicação tecnológica. Dentre tais dificuldades, destaca-se o *problema do colapso da função de onda*, levantados por vários intérpretes da MQ e também pelos físicos defensores do quadro teórico da mecânica dos fenômenos contínuos. A este problema estão associadas as famosas *interpretações da mecânica quântica*, e várias delas de natureza realista e, outras, de natureza idealista. Todas remetem a importantes investigações filosóficas envolvendo noções como mente, corpo, inteligência, consciência, realidade, etc.

Com é bem sabido, a MQ está profundamente relacionada a outra grande teoria, que explica os fenômenos macroscópicos, a Teoria Geral da Relatividade (TRG, doravante), uma mecânica dos fenômenos contínuos da natureza que foi arquitetada para ser a *teoria geral* de tais fenômenos. O problema do campo unificado, ou de unificação das teorias físicas, relaciona-se necessariamente com a MQ, na medida em que a

teoria unificada deveria, para o grande físico, abranger *todos* os fenômenos físicos, sejam eles macro ou micro, contínuos ou descontínuos. A teoria unificada seria, mas não foi, a síntese da combinação entre MQ e TGR, consideradas incompletas (cf, para maiores detalhes sobre a teoria do campo total, Einstein [1997, p. 81 e segs]).

A hipótese de Penrose, por tocar questões relativas ao universo da mente, tanto do ponto de vista abstrato como do concreto. A Lógica Matemática revela-se interessante de um ponto de vista abstrato, na medida em que encontramos questões relacionadas com a natureza do pensamento matemático, suscitadas por Turing [1968] e Gödel [1936]. Algumas das questões tratadas por Penrose estão relacionadas ao universo concreto da mente, e a Neurobiologia Cognitiva (NC, doravante) revela-se importante. Esta disciplina pode aproximadamente ser definida com um ramo da Biologia em que se investiga a forma (anatomia) e a função(fisiologia) dos sistemas nervosos dos seres vivos, em particular, do sistema nervoso cerebral humano, na medida em que este sistema contribui para a descrição do funcionamento das capacidades cognitivas humanas.

Associar todas estas essas disciplinas – um esforço *de fato* interdisciplinar - é interessante, na medida em que surgem questões frutíferas para a Filosofia das Ciências. Duas delas são: não estariam os problemas centrais de cada uma destas disciplinas correlacionados entre si? E não seria a insolubilidade destes devido também às insuficiências metodológicas daquelas? São questões que consideraremos em próximo artigo.

Neste artigo, vamos apenas discutir alguns aspectos da hipótese de Penrose-Hameroff. De forma geral, estaremos contribuindo para questionar, e até reformular, a possibilidade da existência do ‘terreno’, quase inexistente, de uma complexa e interessante ciência: a Neurobiologia Cognitiva Computacional Relativística-Quântica (NCCRQ, doravante).

O túnel inserido neste terreno vem sendo construído consciente ou inconscientemente por vários cientistas, dentre os quais podemos destacar, no time dos físicos, Penrose [1993,1997,1998], do qual trataremos neste trabalho. Na seção I, que é um intróito, apresentaremos componentes da hipótese de computabilidade quântica do fenômeno de integração das atividades cerebrais (*binding*), proposta por de Penrose & Hameroff [1996] para a NCCRQ. Na seção II, apresentaremos o problema do colapso da função de onda e a interpretação de Penrose para o problema, que se fundamenta numa teoria da redução objetiva do tensor de estado quântico. Na seção III, a TGR é discutida segundo a visão de Penrose, que introduz o papel da gravitação no universo microscópico. Na seção IV, apresentaremos, brevemente, o *problema da computabilidade da mente*, levantado no âmbito da teoria lógico-matemática, e que envolve a discussão relacionando o teorema de Gödel e a tese de Turing. Na seção V, apresentaremos os pressupostos da NC relacionados ao problema *da unidade cerebral integradora (the binding problem)*. Apresentaremos elementos gerais da metodologia em NC. Também abordaremos elementos da anatomia dos *microtúbulos* selecionados por Penrose & Hameroff [1996], de grande interesse na perspectiva de Penrose, que de certa forma, “materializa” os três pressupostos mencionados.

I) Uma hipótese neurocognitiva computacional relativística quântica para explicar o fenômeno da integração cerebral

Penrose & Hameroff [1996] relacionam cinco grandes áreas do conhecimento: TGR, LM (Lógica Matemática) MQ, a NC e a Filosofia. Desta forma, três universos são relacionados: o universo macroscópico, a universo microscópico e o universo da mente. A NC está no centro das discussões, uma vez que vamos destacar a hipótese que se refere ao fenômeno neurofisiológico de integrador, *ou fenômeno da unidade integradora das atividades cerebrais*.

Em síntese, este fenômeno é supostamente explicável por meio do fenômeno quântico de auto-colapso instantâneo de estados superpostos (*instantaneous self-collapse of superpositioned states*) ‘*redução objetiva orquestrada*’ do pacote de onda provocada por efeitos gravitacionais, todos instanciados nas

atividades em redes neuronais, para as quais são relevantes os *microtúbulos cerebrais*. Segundo Penrose & Hameroff [1996] :

Características da consciência que são difíceis de compreender em termos da neurociência convencional têm exigido a aplicação da teoria quântica, que descreve a conduta fundamental da matéria e da energia ... propomos os aspectos da teoria quântica (p.ex. coerência quântica) e de um fenômeno da função de onda, inusitadamente proposto, o "auto-colapso(redução objetiva, **OR**, Penrose [1994], são essenciais para a consciência, e ocorrem nos microtúbulos citoesqueléticos e outras estruturas dentro dos neurônios cerebrais. (Penrose p.1)

Vamos, no que se segue, analisar tal suposição, decompondo-a de modo entender a proposta da existência de uma ponte ligando a MQ com a NC. No próximo artigo, apresentaremos algumas questões que podem surgir para ambas disciplinas.

II) A interpretação da MQ segundo Penrose

A MQ é uma teoria que abriu muitos caminhos para a compreensão dos fenômenos fundamentais da estrutura íntima da matéria, em particular para compreensão sobre o universo atômico. É uma teoria com grande sucesso empírico. Contudo, neste século, os cientistas-filósofos defrontaram-se com a recalcitrância da MQ frente aos paradigmas clássicos da Mecânica Newtoniana e Relativista. Um dos pontos essenciais dessa recalcitrância é o chamado fenômeno de dualidade da matéria-onda (*wavicles*), representado matematicamente pelo *colapso da função de onda* (*the wave function collapse*). Há outros pontos implicados na questão, tais com o da incompletude da descrição quântica da realidade e o problema da medida. Tudo está imbricado mas apenas enunciaremos, para nossos propósitos, o mencionado problema e também a interpretação de Penrose:

Considere uma superposição quântica $w|A\rangle + z|B\rangle$ de dois estados quânticos macroscopicamente distinguíveis $|A\rangle$ e $|B\rangle$. Na teoria quântica padrão e na ausência de emaranhamento ambiental, esta superposição persistiria sempre. Se, depois do tempo t , $|A\rangle$ evoluiria para $|A_t\rangle$, e $|B\rangle$ evoluiria para $|B_t\rangle$, então $w|A\rangle + z|B\rangle$ deveria evoluir para $w|B_t\rangle + z|A_t\rangle$ (Esta é uma característica da natureza linear de U (1) - HM).

Neste trecho, Penrose enuncia a interpretação clássica, ou *de Copenhagen*, para o colapso da função de onda, acima representada pelo vetor de estado segundo o formalismo do espaço de Hilbert (cf. d'Espagnat [1976]), por meio dos vetores "ket", cuja soma representa abstratamente a função de onda ponderada:

$$|\Psi\rangle = w|A\rangle + z|B\rangle$$

Tem-se, de acordo com interpretação de Copenhagen, nada de anormal com a superposição quântica: ignora-se o problema da redução, isto é, "não há" redução do vetor de estado, "não há" colapso da função de onda. O que há, *para fins experimentais*, é uma superposição quântica coerente, e a evolução determinista da função de onda é representada pelo operador U de evolução linear (cf., para maiores detalhes técnicos, d'Espagnat (1976,p.7-9)) Para Penrose, entretanto, há colapso da função de onda. E a interpretação de Penrose pretende ser mais uma proposta sobre *como* o colapso ocorre, isto é, sobre o mecanismo do colapso. Diz ele:

De acordo com o presente critério **OR**, tais superposições macroscópicas são consideradas instáveis mesmo sem emaranhamento ambiental. Portanto, os estado $w|A\rangle + z|B\rangle$ decairá, em determinado tempo, ou para $|A\rangle$ ou para $|B\rangle$. Com probabilidades relativas $|w|^2 : |z|^2$... A idéia é que os estados $|A\rangle$ e $|B\rangle$ correspondem cada qual a distribuições de *energias* claramente definidas (e a geometrias espaço-

temporais bem definidas), ao passo que a combinação $w|A\rangle + z|B\rangle$ não corresponde (e portanto levaria a superposição de diferentes geometrias espaço-temporais – uma situação particularmente embaraçadora para o ponto de vista físico!) (Penrose,1996,p.14).

A interpretação de Penrose fundamenta-se no critério que ele denomina OR, que significa *objective reduction*, isto é, redução objetiva do vetor de estado. Redução por que o vetor de estado superposto $|\Psi\rangle$ se reduz a $|A\rangle$ ou a $|B\rangle$ (daí a sigla **OR**); objetiva porque nada subjetivo, relativo ao observador ou à preparação do estado para medida de uma grandeza física do sistema quântico em questão (2), provoca a redução.

Penrose acrescenta então sua principal idéia, a decoerência gravitacional:

De acordo com vários autores, a auto-energia gravitacional da diferença entre as distribuições de massa envolvidas em $|A\rangle$ e $|B\rangle$ determinarão a redução espontânea (a um tempo) da combinação superposta $w|A\rangle + z|B\rangle$ a $|A\rangle$ ou $|B\rangle$.

Na visão de Penrose[1994] – e esta se tornou uma contribuição original para o problema do colapso de função de onda – é a *gravidade* que provoca o mecanismo de colapso. Os estados $|A\rangle$ e $|B\rangle$ podem ser medidos aproximadamente em termos de suas massas, às quais correspondem medidas de gravitação bem definidas e que dependem unicamente das mencionadas massas (auto-energia); a diferença entre tais medidas tem uma espécie de ‘peso decisivo’ na determinação da redução do estado superposto. Esta interpretação está relacionada com as chamadas *teorias de campo quantizadas*, especificamente, com a teoria da gravidade quântica, proposta por Penrose [1993].

Eis como, por exemplo, Penrose [1993,1997] examina o experimento clássico das duas fendas (t e p, sobre uma tela pelas quais passa o feixe de fótons emitidos por uma fonte luminosa):

Os fótons chegam à tela como eventos individuais, onde são detectados separadamente, como se fossem partículas comuns. O curioso comportamento quântico aparece da seguinte maneira. Se apenas a fenda t estivesse aberta e a outra fechada, haveria muitos lugares na tela que o fóton poderia atingir. Se eu fechar a fenda t e abrir a fenda b, posso ver de novo que o fóton pode atingir o mesmo ponto na tela. Mas se eu abrir ambas as fendas e tiver escolhido cuidadosamente meu ponto na tela, posso agora ver que o fóton não pode atingir esse ponto, ainda que pudesse fazê-lo se apenas uma das fendas estivesse aberta. De modo algum, as duas coisas possíveis que o fóton poderia fazer eliminam-se entre si. Ou uma coisa acontece ou a outra – *não podemos ter as duas coisas possíveis de acontecer, que de algum modo conspiram para eliminar uma à outra*, (Penrose,1997,p.69, itálico nosso)

No trecho acima, Penrose já está veiculando sua interpretação **OR**, como mostramos por meio do itálico, porquanto o estado $|A\rangle$ pode representar, naquele experimento, a possibilidade do fóton passar pela fenda t, e o vetor de estado quântico $|B\rangle$ pode representar a possibilidade de o fóton passar pela fenda p. Ao passarmos do nível microscópico (3), isto é, da evolução linear de superposição de estados - **U** – para o nível macroscópico, no qual encontramos os estados clássicos, ocorre a redução **R** objetiva que atualiza as potencialidades quânticas por meio de energia gravitacional associada à energia dos fótons.

Qual a razão para a interpretação OR de Penrose? A nosso ver, sua proposta tem a ver com outro problema na Física, o problema da grande unificação. Para abordar a problemática, Penrose [1989] propôs a noção de redução objetiva.

III) Penrose e a teoria do campo unificado

O problema da grande unificação, na visão de Penrose [1995] está intrinsecamente relacionado ao problema do colapso da função de onda ou da redução do vetor de estado quântico. Para esta afirmação, Penrose introduz a noção chave para sua tentativa de resolver o mencionado problema: *a teoria da gravidade quântica*. Na visão de Penrose, por meio de uma teoria da gravidade quântica, os

físicos seriam capazes de propor um quadro unificado que englobasse os fenômenos gravitacionais, abordados pela TGR, e os fenômenos quânticos, abordados pela MQ. Trata-se de um problema não resolvido por Einstein (cf. Einstein [1997], p.81), e a teoria de Penrose representa apenas uma das diversas teorias propostas para se abordar o problema.

A dificuldade de combinação entre a TGR e a MQ reside principalmente no fato de que tais teorias contêm pressupostos epistemológico-metodológicos incompatíveis entre si. Há diversos pontos discrepantes, que podem ser, para uma idéia geral, assim dispostos:

TGR	MQ
Continuum espaço-tempo	Quanta discretos/ondas associadas
Linearidade	não-linearidade
Localidade	Holista
Computável	Não-computável
Separável	Correlativa
Funções tensoriais que descrevem, nas condições de máxima informação experimental, simultaneamente todas as grandezas físicas envolvidas	Funções de onda, definidas num espaço de fase, que não descrevem, nas condições de máxima informação experimental, simultaneamente todas as grandezas físicas envolvidas
Espaço tensorial de Riemman-Einstein: operadores que comutam,	Espaço tensorial de Hilbert-von Neumann: operadores que não-comutam,
Determinista(causal)	indeterminista(violação da causalidade clássica)
.	.
.	.
.	.

Cada teoria de unificação de depara com o problema de tornar compatíveis as propriedades acima. Tais tentativas implicam muitas dificuldades teóricas. Se tentássemos combinar a TGR com a MQ (por exemplo, combinar aspectos linear/não-linear) teríamos uma complicação que, na opinião de Penrose, representa a principal dificuldade teórica da gravidade quântica, diz ele:

O ponto de vista que estou defendendo é de que algo está errado com o princípio de superposição quando aplicado a *geometrias espaço-temporais* significativamente diferentes ... quando sentimos que somos forçados a examinar superposições de diferentes espaços-tempos, surgem muitos problemas, porque os cones de luz dos dois espaços-tempos podem estar voltados para direções diferentes. Esse é um dos grandes problemas com que as pessoas tocam quando tentam quantizar de modo realmente sério a relatividade geral. Tentar fazer Física dentro de um tipo tão esquisito de espaço-tempo superposto é algo que, na minha opinião, derrotou a todos até agora. (Penrose, 1998, p.96)

Em Penrose [1993, 1997] encontramos alusão a sua hipótese para explicar, de forma esquemática, mas útil para propósitos introdutórios, a representação do espaço-tempo na TGR, isto é, a representação de uma importante grandeza na TGR, denominada *tensor de Riemann*. Este tensor representa tal métrica em função do estado energético de uma métrica espaço-temporal; a métrica é dependente da energia segundo o tensor de Ricci:

A expressão matemática completa para a curvatura do espaço tempo quadridimensional (que deve descrever os efeitos de maré para partículas que viajem em qualquer direção possível num determinado ponto) é oferecida pelo chamado tensor da curvatura de Riemann R_{ijkl} ... eu o escreverei simplesmente como RIEMANN ... Há uma maneira pela qual esse tensor pode ser dividido em duas partes, chamadas

tensor de Weil e tensor Ricci ... Anotarei essa divisão esquematicamente como RIEMANN = WEYL + RICCI. (Penrose,1991,p.232-33)

“Efeitos de maré” representa analogamente a *curvatura ou deformação do espaço-tempo* de quatro dimensões que envolve uma fonte material-energética. Tal curvatura é influenciada também pela rotação quadridimensional do sistema. Utilizando a notação sintética acima descrita, podemos expressar a dificuldade com a quantização da gravidade investigada por Penrose tentaria, como se tenta em qualquer teoria da grande unificação, aplicar o princípio de superposição ao caso das métricas espaço-temporais. Considerando agora o tensor de curvatura de Riemann, que sintetiza todos os efeitos de curvatura do espaço-tempo, temos uma expressão sintética como:

$$|\Psi\rangle = w|\text{RIEMANN}_a\rangle + z|\text{RIEMANN}_b\rangle$$

Os tensores de Riemann acima representados medem a energia das métricas espaço-temporais a e b que são superpostas quanticamente. A dificuldade da teoria se deve, pois, às questões técnicas (e não somente a elas) da quantização dos tensores da TGR, quantização que problematiza, por exemplo, a direção medida pelos tensores em cada métrica. Há também outras dificuldades, de natureza matemática (4).

Na visão de Penrose, a natureza tem que optar por uma das métricas que apenas permanecem “coerentes” por algum tempo e então colapsam, resultando em uma das opções tensoriais. A diferença entre tais opções é dada pela constante de Planck, como ele afirma:

Qual a relevância do comprimento de Planck, 10^{-33} , para a redução quântica de estado? ... Existem uma situação que leva a uma superposição de dois espaços-tempos, um dos quais podendo representar o gato morto e, o outro, o gato vivo, e de alguma forma esses dois diferentes espaços-tempos pareceriam precisar ser superpostos. Devemos perguntar: “Quando estarão suficientemente diferentes para que possamos nos preocupar em ter de mudar as regras?”. Você olha para ver se, em algum sentido adequado, a diferença entre essas geometrias é da ordem do comprimento de Planck. Quando as geometrias começam a diferir nessa quantidade, você tem de saber o que fazer e é aí que é melhor mudar as regras ... (Penrose,1997,p.96-7)

A maneira de “mudar as regras” é um ponto interessante para a teoria quântica da gravidade proposta por Penrose. Ela é ainda uma incógnita para ele. Mas o que é certo é que o tempo é uma grandeza física relevante no processo de redução do vetor de estado que associa os tensores de Ricci para a TGR quântica. Para Penrose:

Precisamos de um critério que nos permita avaliar quando dois espaços tempos diferem significativamente, e isso nos levará a uma escala de tempo para a escolha que a Natureza faz entre eles. Assim, meu ponto de vista é de que a Natureza escolhe um ou outro, segundo uma regra que ainda não compreendemos. (idem, p.97)

Como vemos, Penrose também não chegou a unificação que ele pretende propor. No próximo artigo, veremos que a conexão que ele faz da decoerência objetiva do estado quântico, ou redução do vetor de estado.

Embora Penrose não saiba – e nenhum físico ainda o sabe – a regra utilizada pela natureza, ele calcula a escala de tempo para a redução do vetor de estado causada por efeitos gravitacionais da forma seguinte:

Para calcular a escala de tempo, consideremos a energia E necessária para deslocar uma es tância da massa do campo gravitacional para outra. Tomamos, então, h, a constante Planck dividida por 2π , e a dividimos por essa energia gravitacional. E esta deve ser a escala de tempo T para o decaimento nessa situação. (Penrose, 1997, p.98)

A equação de Penrose para seu esquema gravitacional da redução do vetor de estado quântico pode ser escrita como:

$$T = (h/2\pi)(E)^{-1}$$

Na qual E é dado pelo tensor de Ricci anteriormente mencionado. Podemos encerrar aqui as hipóteses de Penrose para a unificação TGR-MQ (teoria que, para ele, só existirá no futuro) Vimos que estas teorias são incompatíveis em vários aspectos, quando comparamos suas propriedades. Uma destas propriedades é a computabilidade. Na visão de Penrose, a futura teoria unificada, que incluirá a consciência, deverá ter a propriedade de ser não-computável, como veremos na seção a seguir.

IV) A computabilidade(não-clássica) da consciência

Nesta seção, trataremos brevemente não de uma hipótese, mas de uma tese que Penrose defende no terreno da teoria da computabilidade e, indiretamente, a Inteligência Artificial (IA, doravante). Começamos enunciando o que chamamos *tese de Penrose* (TP, doravante), relativa às relações entre a computabilidade e a consciência humana, em particular uma capacidade denominada “estar ciente” (*to be aware of*).

TP : A adequada ação física do cérebro necessita da faculdade da atenção, mas essa ação física não pode nem se quer ser corretamente simulada computacionalmente.

Para Penrose [1997], há duas versões da TP, uma forte e, outra, fraca, que podem ser assim dispostas:

TPFRACA: Não há nada fora da Física conhecida que tenhamos de procurar para encontrar a ação não-computacional adequada.

TPFORTE(da “nova Física”): Devemos procurar fora da Física conhecida a ação não-computacional adequada; nossa descrição física é incompleta para compreender a atenção consciente humana.

Penrose reformula a versão forte de sua tese, que consideraremos a versão correta da TP:

TP: Devemos procurar a não-computabilidade numa Nova Teoria Física que una o nível quântico ao nível clássico e que seja relevante para compreender a capacidade de atenção inerente à consciência.

A tese, assim formulada, nos indica que Penrose está tentando defender uma teoria física não-computável que seja relevante para compreender a consciência. Esta não computabilidade é especialmente interessante para ele, dada sua tentativas de esquematizar o rumo que se deve seguir para se chegar ao sistema unificado na Física, bem como, talvez, ao sistema unificado das ciências em geral. Discutiremos os pressupostos metafísicos este sistema em um próximo artigo.

Para defender a não-computabilidade da mente, Penrose procura inspirar-se nos trabalhos de Gödel e de Turing, procurando situar-se nel *mezzo del cammino* que liga estes duas concepções sobre a mecanismo e a ordem das linguagens formais, concepções que influenciaram sobremaneira a filosofia da mente.

Gödel [1936] provou o célebre teorema da incompletude, considerando inicialmente a linguagem formal ou sistema de lógica de Russell & Whitehead [1910, 1911, 1913] e suas relações com a Aritmética

Elementar. De modo geral, pode ser dito que, segundo o teorema, se um sistema formal de lógica, isomorfo à Aritmética Elementar, é “consistente” (isto é, não se pode deduzir dele uma contradição), então ele não é completo (isto é, pode sempre haver proposições indecidíveis, ou seja, proposições cujo valor de verdade - verdadeiro ou falso - não pode ser provado com base nos axiomas e regras de inferência do sistema formal em questão).

De outra forma: podemos dizer que o teorema de Gödel, no qual se introduziu a *noção de decidibilidade*, dizem respeito à possibilidade ou não de provarmos teoremas em um sistema formal da lógica de descrever a Aritmética Elementar (5). Provar um teorema equivale a dizer que temos que decidir qual é o seu valor de verdade – se é verdadeiro ou falso - utilizando-se somente os axiomas e as regras de inferência formuladas no sistema de lógica. Dadas tais regras de inferência e os axiomas do sistema, sempre é possível encontrar ou produzir proposições – chamadas proposições de Gödel - cujo valor de verdade não podemos decidir; são proposições formalmente indecidíveis no sistema; as *sentenças de Gödel*, ou, no dizer de Penrose, ‘sentenças Π1’.

Segundo os procedimentos demonstrativos da matemática e da metamatemática, sabemos que uma teorema contém *hipóteses* e *teses*, sendo que partimos da hipótese e chegamos, por meio de inferências válidas matematicamente ou logicamente. Então podemos formular uma “tese de Gödel” que diz:

TG: Todo sistema formal consistente que pretenda cobrir a Aritmética é incompleto.

“Cobrir a Aritmética” significaria que haveria um procedimento formal por meio do qual poderíamos “fazer aritmética”, de certa forma reduzir a Aritmética à Lógica (como queria sustentar o logicismo de Russell). Dada a demonstração do teorema de Gödel, esta tentativa se mostrou infrutífera; se fosse empreendida, ter-se-ia que enfrentar muitas limitações, limitações que são inerentes à formalização da matemática.

Muitos matemáticos, lógicos e filósofos enxergaram no teorema de Gödel a possibilidade de se elaborar concepções filosóficas para fundamentassem *critérios metamatemáticos* para distinção entre a liberdade da criação matemática, e a possibilidade de sua mecanização ou formalização. Os teóricos na esteira de Gödel tentaram demonstrar que a atividade matemática não é totalmente captável de forma mecânica (entendendo-se por “mecânico” algo análogo a “decidível” ou “formalizável”, “efetivamente calculável”, etc. cf. Dale [1991]).

Turing [1968] propôs sua versão para o teorema da incompletude de Gödel, introduzindo a *noção de computabilidade*, que se demonstrou ser formalmente equivalente a de decidibilidade. Em linhas gerais, podemos dizer um procedimento intuitivo matemático intuitivo é *computável*, se existe uma máquina de Turing – um “programa” que simule aquele procedimento.

Para Turing, segundo salientou Penrose, um procedimento matemático intuitivo, informal, do tipo que os matemáticos usam para demonstrar os teoremas da Aritmética Elementar, nem sempre pode ser simulado computacionalmente. Há procedimentos intuitivos que são, *aparentemente* não-computáveis. Desta forma, para cada atividade matemática da mente do matemático, nem sempre haverá uma máquina universal de Turing que a substitua. Contudo, ele não viu na não-computabilidade de alguns procedimentos matemáticos algo de ruim, ou *essencialmente* limitador. Esta visão de Turing pode ser denotada por meio do fragmento seguinte, salientado por Penrose:

Em outras palavras, se se espera que uma máquina seja infalível, ela não pode ser também inteligente. Existem vários teoremas que dizem quase exatamente isso. Mas esses teoremas não dizem sobre quanta inteligência possa apresentar-se se uma máquina não tiver pretensões de infalibilidade (*apud* Penrose, 1998, p.123)

Parece evidente que, pelo trecho acima, Turing parecia admitir que o teorema de incompletude, que ele também demonstrou para as máquinas que ele havia criado, podia ser, *em princípio*, contornável. Porque,

em nosso entender, por “máquina infalível” Turing entende um procedimento computável que fornece uma resposta do tipo dos predicados “é verdadeiro” ou “é falso” para uma determinada proposição formulada em um sistema de lógica. Sendo a máquina infalível, ela demonstraria *sempre* corretamente um teorema matemático nesse sistema, isto é, que *nunca* poderia apresentar predicados indecidíveis, mesmo diante de sentenças de Gödel formuladas no sistema (6).

Mas Turing encontrou em sua teoria da computabilidade o bem conhecido ‘problema da parada’, que seria o equivalente da situação de ‘indecidibilidade’ de Gödel. Em linhas gerais, tal problema diz que há situações nas quais, diante de uma proposição do sistema de lógica, a máquina *pararia* de funcionar, mantendo-se em determinada parte do fluxo de seu programa, por exemplo, sem emitir um predicado dos tipos ‘é verdadeiro’ ou ‘é falso’ para algumas proposições-teoremas de um determinado sistema de lógica, proposições que seriam equivalentes às sentenças de Gödel.

Para contornar semelhante situação, Turing criou um sistema de *máquinas oraculares* recursivamente acopladas (cf. Davis [1965]), que permitiriam, por exemplo, ‘computar’ o valor de verdade das proposições-teoremas não computadas pelas máquinas subalternas. Assim, a limitação existente, em princípio, dos sistemas formais apontada por Gödel seria, para Turing, uma limitação em princípio. Turing, ao longo de seus trabalhos, manteve fixa sua confiança no poder conceitual da computabilidade, por meio do qual *qualquer procedimento humano* poderia ser simulado, inclusive a criatividade matemática para demonstrar teoremas.

Assim, o que Turing sustentou foi uma *tese*, que podemos enunciar desta forma:

TT : Para todo procedimento informalmente dado, existe uma programa computacional que o perfaz.

Subentende-se por “procedimento informalmente dado”, os procedimentos usais dos matemáticos para resolver problemas matemáticos, isto é, da heurística matemática, na qual impera a criatividade humana.

Gödel sugeriu uma interpretação, menos otimista que a de Turing, quando “traduziu” seu teorema para a linguagem formal da computabilidade de Turing. Segundo Gödel:

Por outro lado, com base no que foi provado, permanece possível que possa existir (e até mesmo ser empiricamente descoberta) uma máquina de provar teoremas que na realidade *seja* equivalente à intuição matemática, mas não pode ser *provado* que ela seja tal, em tampouco se pode provar que ela produza somente teoremas *corretos* da teoria do número finitário. (*Apud* Penrose, 1998, p.124)

Com base nessa interpretação, Penrose procede à elaboração de sua tese, que se fundamentam em razões godelianas para justificar a não-computabilidade da mente. Na visão de Gödel, pelo que depreendemos, a limitação é *inerente* à mente humana, mente que não pode demonstrar que existe uma máquina de Turing que seja equivalente à capacidade humana de resolver teoremas.

Os argumentos de Penrose [1994] que sustentam sua tese foram alvo de diversas críticas (dentre as quais aponta-se falhas técnicas) elaboradas por especialistas em Lógica Matemática e da Inteligência Artificial (cf. Feferman [1996] e MacCarthy [1996]). Penrose [1996b] procurou rebater vigorosamente estas críticas e a TP ainda é sustentada.

Entretanto, Penrose parece querer situar-se *mezzo del cammino*, procurando algo que possa aproveitar a computabilidade da mente, mas num outro sentido: a *computabilidade quântica*, que representa outro interessante esforço interdisciplinar. Neste ponto, Penrose está pensando no problema da grande unificação; não é, pois, despropositada sua escolha do argumento gödeliano.

A idéia da computabilidade quântica foi originalmente proposta por Deutch [1985], um importante intérprete dos mistérios quânticos (ele propôs a interpretação de muitos-mundos (*many-worlds interpretation of quantum mechanics*), interpretação realista que atribui um forte valor ontológico para a superposição dos estados quânticos.

Lockwood[1989], resumindo as idéias de Deutch, assim define um computador quântico:

Uma máquina de Turing ... tem uma fita, que foi considerada uma seqüência de quadrados, cada um contendo um 1 ou um 0, uma cabeça de leitura capaz de se movimentar para esquerda ou para direita com relação à fita, e uma estrutura interna capaz de assumir um número finito de estados ... um computador quântico também tem todas estas coisas. Mas existe uma diferença crucial. Os estados internos da estrutura e os estados da fita podem ser superposições [quânticas] ... Teoricamente, haveria um computador quântico com uma evolução temporal que correspondeu a uma superposição de seqüências de operações de máquinas de Turing usuais. (Lockwood,1989,p.246)

A combinação da noção de estado de uma máquina de Turing com o princípio de superposição dos estados quânticos leva à definição de “estado” num computador quântico. Dado um conjunto de inputs X, estados internos Y e outputs Z convencionais de m máquinas de Turing, a função de onda que representa o estado quântico emaranhado pode ser abreviadamente escrita como:

$$|\Psi\rangle = \sum_m |X_m Y_m Z_m\rangle W_m$$

Desta combinação resulta a possibilidade de uma computabilidade quântica em paralelo que difere muito de qualquer processamento em paralelo concebido com base no conceito de máquina de Turing. Como afirma Lockwood:

um computador quântico é capaz de uma espécie de paralelismo quântico que, diferentemente do processamento em paralelo convencional, não está restrito ao número de tarefas que podem ser processadas em paralelo.

Ainda na visão de Lockwood, que foi retomada e desenvolvida por Penrose, se a mente pudesse ser comparada a um computador, este deveria ser de natureza quântica. O computador quântico tem propriedades notáveis, talvez os objetos quânticos macroscópicos – SQUIDS – sejam uma via para a realização física destes computadores. Com o objetivo de concretizar a TP, Penrose & Hameroff[1996] procuraram desenvolver uma teoria quântica para lidar com o problema da consciência, tal como este se apresenta na NC.

V) Modelo de Penrose-Hameroff de integração cerebral: materializando o computador quântico

As seções precedentes serviram para ilustrar diversos pressupostos da hipótese de Penrose-Hameroff bem como aspectos da arquitetura metafísica a ela subjacente. Os referidos pressupostos foram justapostos com a finalidade de se construir um ‘modelo’ para a integração das atividades cerebrais; trata-se, em última instância, de fundar uma disciplina complexa, que denominamos NCCRQ, muito especulativa, que tem *prima facie* um aspecto metodológico de interdisciplinaridade, pelo menos segundo o que depreendemos a teoria de Penrose-Hameroff.

O problema central - sob mira do complexo aparato teórico de Penrose - é o *problema da integração da atividade consciente*, com seus diversos estágios (*the binding problem*). Abordaremos introdutoriamente, no que se segue, tal problema apoiando-nos nas hipóteses e temas correntes na NC.

De acordo com Treisman [1996] há vários tipos de integração envolvidos em nossas atividades conscientes. Tais tipos dependem de qual aspecto das atividades se queira investigar. Alguns processos

integradores estão envolvidos com o tempo. Se se trata de atividades perceptuais associadas à consciência, os neurocientistas investigam um tipo particular de processo integrador, denominado integração temporal (*time binding*). Penrose pretende dar conta do processo dinâmico associado à integração temporal. Apresentaremos agora o problema da integração temporal e a hipótese correlata.

Pöppel[1996] nos diz que a integração temporal está associada a um nível de consciência denominado *consciência primária*, caracterizado por ele desta forma:

o repertório da consciência primária é baseada em programas neuronais em quatro domínios diferentes, implementando percepções, memórias, avaliações e ações. Evidências neuropsicológicas sugerem que as funções elementares destes domínios são representadas de forma modular; o principal suporte para tal conclusão provém de estudos neuroanatômicos sobre o sistema visual. Dada a segregação espacial da função, o cérebro tem que lidar com a integração intermodular (*intermodular binding*) das atividades neuronais para construir atos perceptuais coerentes e unificados. Vigorosos modelos têm sido propostos para resolver o problema da integração espacial dos planos de análise celular e de área. (Pöppel,1996,.186)

As diferentes espécies integração são introduzidas desta forma:

Certamente é útil distinguir diferentes níveis de integração ... num terceiro nível de integração, lidamos com o problema de como as atividades de diferentes modalidades sensoriais são agrupadas. Objetos percebidos são freqüentemente caracterizados visualmente, auditivamente e, algumas vezes, pela informação proveniente de outras modalidades; obviamente, a integração intersensorial deve transcender as operações intrasensoriais. Tem-se sugerido que, para as operações integradoras nos três níveis indicados, um mecanismo temporal baseado nos ciclos de excitabilidade podem ser usados para formar uma estrutura temporal para operações posteriores que são responsáveis pela integração. (Pöppel,1996,p.186)

Mais adiante, Pöppel introduz a quantização temporal do processamento de informação primariamente consciente:

Eu gostaria de sugerir que a consciência primária está mergulhada no tempo em dois níveis hierarquicamente relacionados; a idéia geral é que o processamento central de informação é quantizado. Um nível é o domínio temporal de aproximadamente 30 msec; este nível está relacionado ao primeiro dos três níveis de integração como indicado acima e serve como uma definição de eventos primordiais. O outro nível é o domínio temporal de aproximadamente 3 segundos, durante o qual a integração temporal se ajusta, isto é, neste nível, os eventos primordiais são ligados uns aos outros. Para outros domínios operacionais, existe um amplo *corpus* de evidências provenientes de diferentes paradigmas experimentais. A consciência (adequada) é concebida para ser implementada em uma janela temporal de aproximadamente 3 segundos de duração. (Pöppel,1996,p.187)

Penrose & Hameroff [1996] parecem compartilhar a idéia de uma quantização do tempo do processo de integração das atividades cerebrais, utilizando, entretanto, valores diferentes. Antes de entrarmos neste valor, oferecemos um quadro sinóptico do modelo de Penrose & Hameroff para explicar o processo de integração.

HIPÓTESE DE PENROSE-HAMEROFF

PLANO DISCIPLINAR		Elementos
Nível psicológico (primeira pessoa)	A	“Eu percebo agora”
Nível Biológico(terceira pessoa)	B	/eventos primordiais de consciência temporalmente unificada em 500 mseg
	G	no organismo cerebral formado por
	D	redes de neurônios constituídos por
	E	Neurônios que inclui o
	Z	/citoesqueleto neuronal funcionalmente regido por
	H	/sinapses neuronais determinadas por neurotransmissores e por
	Q	/microtúbulos em rede estrutural “T” compostas por
Nível bioquímico	I	Tubulina e proteínas associadas em sistema aberto com o banho térmico de “água ordenada” composta por
	K	/polímeros cilíndricos compostos por
	L	/monômeros a e b em superposição por causa da
	M	/bolsa hidrófoba de aminoácidos com
Nível biofísico	N	/carga elétricas(geradores de forças de van der Waals) e massas - energias geradoras de
Plano físico, gravitacional	N ₁	/gravidade quântica que determina o limiar(<i>threshold</i>) para a
Plano físico, quântico	N ₂	/superposição quântica com redução objetiva orquestrada (Orch Or) dos elétrons nas bolsas em estado paralelo não-local que pode compor
	X	/globalmente a condensação do gás de fótons de Bose-Einstein
Nível computacional	X ₁	/e(com 5.10^9 tubulinas) o Processamento de autômatos celulares em paralelismo clássico,
	X ₂	/bem como o Processamento de autômatos celulares em paralelismo quântico com menos de 5.10^9 tubulinas.

O leitor pode observar que nos níveis hierárquicos acima aventados figuram diversos conceitos que vimos descrevendo aqui, com a adição de outros que vamos discutir aqui.

No nível biológico, notamos os elementos elegidos por Penrose & Hameroff [1996] para explicar a integração da consciência. Elege-se o cérebro, obviamente, como organismo principal para explicar o plano psicológico de nosso “eu percebo agora” (referente à passagem da pré-consciência para a consciência). É importante notar que, na visão desses autores, o nível inferior é essencial para a compreensão explicativa dos níveis superiores. Desse modo, representamos, por letras (em sequência) do alfabeto grego, o encaixe das componentes da hipótese de Penrose & Hameroff.

Começamos no plano psicológico, no qual podemos inserir o domínio fenomenológico da percepção, do “eu percebo agora”. A passagem da atividade consciente para a subconsciente contém uma “janela temporal” de 500mseg. Este número foi determinado pelos experimentos de Libet (cf. Penrose, 1997, p.145-6).

As sinapses e a estrutura fisio-anatômica dos neurônios são relevantes para a implementação da hipótese. Em particular, certas estruturas dos neurônios denominadas *citoesqueletos*, organelas que, na visão desse autores, *determinam* o funcionamento sináptico neuronal, e que estão dispostos em “T”, constituindo a “central do comando” ou o *centrossomo*; de fato, investiga-se o papel das proteínas neurotransmissoras, em particular das proteínas clatrina e actina.

A constituição dos microtúbulos (investigados por meio de cristalografia por raios-x) é formada pelo polímero protéico denominado *tubulina*, que são a subunidades da tubulina (de 8nm) de comprimento. Este polímero é composto por duas “pontas” polarizadas: os monômeros α e β , sendo que α é polarizada negativamente, ao passo que β , o é positivamente. Assim, saímos do plano biológico e chegamos ao nível bioquímico.

A tubulina contém ainda outra estrutura, a bolsa hidrófoba, por meio da qual saímos do plano bioquímico e consideramos o nível físico propriamente dito, no qual Penrose encaixa sua teoria de gravidade quântica. Nesta bolsa focaliza-se os estados quânticos dos elétrons que, em conjunção, com os monômeros α e β , determinam a conformação da tubulina como um todo. Estas conformações são semelhantes a estados vibracionais que criam sinais semelhantes a ondas (*wave-like signals*).

A superposição quântica dos elétrons na bolsa hidrofóbica se “emaranha” (*entangles*) quântica e ascendentemente com as demais estruturas superiores cujo funcionamento ela comanda, quais sejam: o microtúbulo como um todo, as sinapses, dos neurônios em rede, culminando no plano fenomenológico da percepção, de modo ainda, no dizer de Penrose, ‘misterioso’. A base de semelhante emaranhamento é supostamente o fenômeno físico conhecido como ‘condensação do gás quântico de Bose-Einstein (7)’.

No interior do microtúbulo existe uma substância aquosa em estado quântico, a ‘água ordenada’ (*ordered water*), que ‘isola’ a atividade oscilatória dos elétrons nas bolsas hidrofóbicas. A água ordenada impede que ocorra, no nível quântico, a ‘decoerência ambiental’ dos estados quântico-eletrônicos superpostos nas bols as.

Segundo essa hipótese, o estado quântico da matéria, na feição da condensação de Bose-Einstein, de fato caracteriza a natureza da consciência. Fröhlich foi quem, pela primeira vez, postulou a existência do estado do condensado de Bose-Einstein nos sistemas vivos (cf. Lockwood [1989p.253-257]) (8). A situação do condensado vai servir de modelo para a montagem do que podemos chamar de *máquina geradora de consciência*” de Penrose-Hameroff.

Tal como os fenômenos quânticos de coerência da luz (raio laser), da superfluidez e da supercondução elétrica, o condensado é bastante interessante. Tal estado quântico é produzido por um conjunto de partículas – os bósons - cuja dinâmica obedece certas regras estatísticas. Os fótons, os pares de elétrons e os átomos de hélio podem ser chamados bósons, porque seus estados obedecem às regras estatísticas de Bose-Einstein (9).

Os bósons podem ser condensados em um estado especial, que o condensado de que estamos tratando. Este estado é obtido quando os bósons são submetidos a um ‘banho térmico’. Quando os bósons entram em equilíbrio térmico com a fonte de energia que permite o ‘banho térmico’, é possível deixá -los em estados energéticos favoráveis, estados estes que são governados pela distribuição de Planck. Pela distribuição de Planck, os bósons atingem um estado interessante, que corresponde ao estado energético de menor valor, quando a temperatura de equilíbrio com o banho térmico tem um valor crítico, que é bem abaixo de zero na escala centígrada. Deste modo, obtém-se o condensado de Bose-Einstein resfriando-se os bósons (a estatística

quântica de Bose-Einstein explica, pois, o fenômeno da supercondutividade obtida em cerâmicas submetidas às temperaturas baixas).

Há na Física outro conjunto de bósons, partículas que são denominadas *fonons* (*phonons*), que são unidades vibratórias de um campo elétrico. Trata-se de um conjunto de partículas resultantes da quantização do campo elétrico. Como muito bem observou Lockwood [1989, p.256] “Todas as partículas elementares podem ser construídas como *quanta* dos modos normais de um campo correspondente” (10), sendo que os modos normais (os harmônicos) de vibração são aqueles que os campo vibra uniformemente na mesma frequência. Assim, os fonons em conjunto (um ‘gás’ de fonons) podem ser deixados em um estado de condensação do tipo Bose-Einstein, com um processo denominado bombeamento (*pumping*), que faz com que o gás atinja um estado vibratório que permite à matéria possuir os estados de um condensado.

Este condensado de fonons, com as propriedades estatísticas dos bósons, foi considerado interessante para o estudo dos sistemas biológicos. Esta consideração deveu-se ao biofísico Fröhlich, como nos diz Lockwood [1989]:

Fröhlich argumenta que, para tais sistemas, a condensação de Bose é, em princípio, concretizável em temperaturas comuns. O que nos temos, no modelo de Fröhlich, é um sistema de osciladores biológicos bipolares imersos em um banho térmico que é mantido em uma temperatura constante ... os bósons neste sistema, são, como temos visto, os *quanta* das frequências normais dos modos [de oscilação] dos osciladores eletrônicos. Mas este conjunto de osciladores, e o banho térmico no qual eles estão imersos, não são agora pensados como um sistema fechado, nem os sistema é conduzido de modo a atingir um estado de equilíbrio. Melhor, os osciladores individuais são agora supridos com uma fonte exterior de energia constante, por *pumping*, e este processo previne a possibilidade de que os sistema entre em equilíbrio com o banho térmico.(p.256)

Fröhlich conjecturou então que tal situação poderia ocorrer nos citoesqueletos cerebrais, conforme explica Lockwood [1989] “Esta energia bombeadora pode ser transmitidas às moléculas dielétricas nas membranas celulares via uma estrutura celular conhecida como o *citoesqueleto*.”

Ora, dadas as características do modelo vibracional-fônico acima apresentado, podemos inferir que a hipótese de Penrose-Hameroff é apenas uma *implementação mais apurada* do referido modelo, sendo que o aprofundamento fundamenta-se na interpretação **OR** (algumas vezes chamada por Penrose de “Nova Física **OR**”) para a redução do pacote de onda.

Por exemplo, a hipótese de Penrose Hameroff tornou-se mais detalhada quando se definiu, para a referida implementação, a natureza do oscilador bipolar, investigando-se a oscilação do elétron definida, em parte, à polaridade dos monômeros e da tubulina, o que nos permite considerá-la um oscilador biológico.

Voltemos, agora, à explicação sobre as componentes da hipótese. A interpretação **OR** é, no domínio da NC, aperfeiçoada, tornando-se o que Penrose chama modelo de interpretação **Orch OR** (*orchestrated objective reduction*).

O processo de orquestração é feito pelas proteínas associadas à microtubulina. Os elétrons que oscilam nas tubulinas que compõem o microtúbulo podem, de acordo com a MQ, se comportar como ondas; tais ondas vibram no interior do microtúbulo (11). As energias dos modos normais de vibração são quantizadas de modo a formar os *fonons*, estados fibracionais que se comportam estatisticamente como bósons. A formação do condensado – que hipoteticamente gera, a seu turno, a consciência – depende não só das proteínas associadas aos microtúbulos, mas também do *número de tubulinas* que entram em atividade. Utilizando a equação do tempo de coerência quântica (ver seção anterior) e dada a massa *m* do monômero da tubulina, Penrose calculou o número de tubulinas que tornam possível o processo **Orch Or**:

$$N_t = 6.10^3$$

As tubulinas funcionam em rede. De acordo com Hameroff, a propagação da ‘informação’ nas tubulinas agrupadas em microtúbulos pode ser comparada ao processamento informacional de *autômatos celulares* que processam informação de acordo com o paralelismo clássico de tipo neuro-computacional. Com este modelo, os autores introduzem *o nível computacional* para explicar a integração da atividade consciente; a janela temporal ocorre segundo o número de Libet, que difere do número aceito por Pöppel [1996], que é de 30mseg. Entretanto, Penrose & Hameroff aceitam que cálculos semelhantes podem ser feitos com o valor de 30mseg para a janela temporal, ou ainda com os conhecidos 40Hz (12) para a frequência de integração.

Esse processamento, contudo, ocorre somente quando existe a decoerência gravitacional, parte do processo **Orch OR**, na janela temporal de meio segundo (ou 500 mseg) e o número exato de tubulinas já referido. À medida em que o número de tubulinas cresce, aumentam as oscilações quânticas dos elétrons nas bolsas hidrófobas das tubulinas e, desta forma, elas processam informação segundo um paralelismo quântico, isto é, como um computador quântico.

Não abordaremos aqui aspectos críticos da hipótese de Penrose-Hameroff que são relativos à MQ, NC e TRG. Em um próximo artigo, discutiremos a Filosofia da Mente que fundamenta tal hipótese, bem como a Filosofia da Ciência que está pressuposta.

Notas:

(1) A evolução linear **U** da equação de Schrödinger hamiltoniana-hilbertiana e dada por:

$$i \frac{\hbar}{2p} \frac{\partial |\Psi(t)\rangle}{\partial t} = H |\Psi(t)\rangle \quad (1)$$

onde H é o operador hamiltoniano que descreve o comportamento da partícula em estudo num espaço de fase.

Definindo-se a propriedade de linearidade da função de onda por meio de:

$$|\Psi(t)\rangle = U(t, t_0) |\Psi(t_0)\rangle \quad (2)$$

Resulta de (1) com (2) a equação para o operador U:

$$U(t, t_0) = e^{[i \frac{2p}{\hbar} H(t-t_0)]}$$

(2) O valor de ‘grandeza física’, no espaço de Hilbert, é representada por um autovalor de um autovetor de um operador hermitiano, chamado **“observável”** (*observable*) que tem a propriedade de fornecer apenas *valores reais* quando aplicado a um vetor de estado no espaço de Hilbert, propriedade que corresponde a intuição geral de que as grandezas físicas devem ser medidas em números reais.

(3) Passar para o nível macroscópico” é, com bem observou Penrose, efetuar uma medida, porque precisamos utilizar um aparelho (um detector de fótons acoplado às placas, por exemplo) que nos permita ver o que está acontecendo com os fótons. Este “ver” corresponde *ao problema da medida*, do qual não trataremos aqui.

(4) O leitor interessado pelas dificuldades gerais da disciplina conhecida como “teoria quântica de campo” pode consultar Penrose [1991], especialmente os capítulos seis e oito. Uma das principais dificuldades, talvez

a mais conhecida de um ponto de vista matemático é a da `renormalização`, artifício matemático com o qual se procura eliminar os valores infinitos de certas grandezas que surgem necessariamente ao se tentar combinar os espaços tensoriais de Riemann e de Hilbert, que parecem ser conceitualmente incompatíveis. É importante salientar que o método da renormalização, que caracteriza a chamada teoria construtiva dos campos quânticos, não resolve os problemas conceituais, ou filosóficos, da unificação; apenas resolve alguns problemas matemáticos.

(5) Tratava-se, como é bem sabido, de criticar a possibilidade de fundamentar formalmente a Aritmética Elementar de Peano por meio da linguagem formal dos *Principia Mathematica* de Russell & Whitehead. Esta tentativa formalista foi atacada pelo teorema (ou melhor, por uma série de teoremas) de Gödel (cf. Davis [1965, p. 7 e segs.], que demonstrou a existência de proposições formalmente indecidíveis do sistema de lógica daqueles autores, resultado que também foi generalizado para outros sistemas de lógica.

(6) Este processo surge quando se aplica o diagonalização de Cantor (cf. Penrose [1998], para uma exposição intuitiva sobre o `lema diagonal` e Putnam [1992] sobre o `argumento diagonal`)

(7) Este paralelismo do computador quântico poderia ser empregado para a computação *direta* de números reais (tarefa que nem mesmo as modernas “redes neurais” seriam capazes de fazer com a rapidez desejada)

(8) Segundo Lockwood [1989 p.257-8], foi o psiquiatra Ian Marshall quem pela primeira vez propôs a analogia entre o condensado de Bose-Einstein e a consciência; diz ele: “a primeira pessoa, até onde posso saber, a defender a idéia de que a condensação de Bose [-Einstein], em tais sistemas de *pumped* fonons, pode ser a base dos estados e processos mentais, é Ian Marshall ... Marshall (um psiquiatra praticante com um treinamento em matemática) argumentou que o caráter coletivo, de fato holístico, dos estados de condensados de Bose[-Einstein] poderiam constituir a base da unidade da consciência”.

(9) Na verdade, `ser um bóson` é apenas ter uma propriedade quântica de partículas referentes às propriedades mecânicas fundadas nas regras estatísticas de Bose-Einstein; há também a propriedade de ser um `férmion`, para as partículas que obedecem às regras estatísticas de Fermi-Dirac.

(10) Esta sintética definição para o termo “partícula” decorre da teoria da partícula-onda (wavicle) introduzida por de Broglie

(11) Os microtúbulos e seus estados quânticos perfazem, na realidade, um “tubo sonoro quântico”. Poderíamos dizer que, na visão destes autores, o cérebro funciona por meio de “instrumentos de sopro quânticos”, que são orquestrados pelo “maestro” representado pelas leis da mecânica quântica.

(12) O leitor pode consultar Pöppel [1996] para uma discussão sobre as evidências experimentais para o componente oscilatório de 40Hz para a integração das atividades cerebrais, proposto por Crick & Koch [1990]

Referências:

BLOCK, N. How not to find the neural correlate of consciousness.
<http://www.nyu.edu/gsas/dept/philo/faculty/block/papers/NeuralCorrelate.html>

CHIBENI, S.S. (1993) *Aspectos da descrição física da realidade*. Tese (doutoramento). Universidade Estadual de Campinas, 184p.

----- (1992) Implicações Filosóficas da Microfísica. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*. Série 3, 2(2), p. 141-64.

CRICK., F.H.C. KOCH, C. (1990) Towards a Neurobiological Theory of Consciousness. *Seminars in Neurosciences*, 2, p. 263-75.

----- (1995) Are We Aware of Neural Activity in Primary Visual Cortex ? *Nature* 275, May 11, 1995.

DAVIS, M. (1965) *The Undecidable*. New York: Raven Press.

D'ESPAGNAT, G. (1976) *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*. Massachussets: W. A. Benjamin Inc.

DEUTSCH, D. (1985) Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer. *Proc.Roy.Soc(London)*. V.A. 400, p.96-117.

EINSTEIN, A. (1997) *Autobiographical notes*. Trad. P.A. Shillip. In: SHILLIP, P.A. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. La Salle: Open court.

FEFERMAN, S. Penroses's Gödelian Argument. <http://www.psyches.cs.monash.edu.au/v2/psyche-2-07-feferman.html>

GÖDEL, K. (1965) On Formally Undecidable Propositions of the *Principia Mathematica* and Related Systems. In: DAVIS. M. *The undecidable*. New York: Raven Press.

HAMEROFF, S. KASNIAK, A. SCOTT, A. (eds) (1996) *Toward a Science of Consciousness*. Cambridge, Mass: MIT Press.

MACCARTHY. J. Awareness and Understanding in Computer Programs. [Http://psyches.cs.monach.edu.au/v2/psyche-2-06-MacCarthy.html](http://psyches.cs.monach.edu.au/v2/psyche-2-06-MacCarthy.html)

MALCOLM, L.(org) (1997) O Pequeno, o Grande e a Mente Humana. Trad. R.L. Ferreira. São Paulo: FEU.

PENROSE, R. (1993) *A Nova Mente do Rei: Computadores, Mentes e as Leis da Física*. Trad. W. Dutra, Rio de Janeiro: Editora Campus.

----- (1994) *Shadows of Mind: a Search for the Missing Science of Consciousness*. Oxford: Oxford University Press, 1994.

----- (1996a) Hameroff, S. Orchestrated objective reduction of quantum coherence in brain microtubules: the Orch Or model for consciousness. In:___ KASNIAK, A. SCOTT, A. (eds) *Toward a Science of Consciousness*. Cambridge, Mass: MIT Press.

----- (1996) Beyond the Doubting of a Shadow: Reply to Commentaries on *Shadows of Mind*. [Http://www.psyches.cs.monash.edu.au/v2/psyche-2-23-penrose.html](http://www.psyches.cs.monash.edu.au/v2/psyche-2-23-penrose.html).

PÖPPEL, E. (1996) Temporal Mechanisms in Perception. *International review of Neurobiology*, v.37, p.185-99.

PUTNAM, H. (1997) *Functionalism: Science or Science Fiction?* In: MARTEL, J.K., ERNELING, H.M. *The future of the cognitive revolution*. Oxford: Oxford University Press.

SHIMONY, A. (1997) Sobre Mentalidade, Mecânica Quântica e a Atualização de Potencialidades. In: MALCOLM, L.(org) *O pequeno, o grande e a mente humana*. Trad. R.L. Ferreira. São Paulo: FEU.

SEARLE, J. R. Who is Computing with the Brain? *Behavioral and Brain Sciences* 13: 4, p. 632-634.

TURING, A. M. (1968) Computing Machinery and Intelligence. In: Feigenbaum, E., Feldman, J. (eds) New York: Macgraw-Hill, p.11-35.

TREISMAN, A. (1996) The Binding Problem. In: SQUIRE, R.R., KOSSLYN, S.(eds) *Findings and current opinion in cognitive neuroscience*. MIT Press.

VARELA, F.R. (1999) First-Person Methodologies: Why, When and How. *Journal of Consciousness studies* 5, p. 3 -4.