

## MESA REDONDA: NEUROCIÊNCIAS E AGENTES ARTIFICIAIS

Coordenador: *Carlos Júlio Tierra Criollo*

Professor do Departamento de Engenharia Elétrica - Escola de Engenharia - Programa de Pós-graduação em Neurociências - UFMG

### **ARQUITETURA BIO-INSPIRADA PARA A CONSTRUÇÃO DE CRIATURAS BASEADOS EM SISTEMAS NERVOSOS ARTIFICIAIS: TEORIA, METODOLOGIA E APLICAÇÕES**

*Henrique Elias Borges*

Departamento de Computação - CEFET/MG

Atualmente, um dos principais focos da pesquisa na área de inteligência artificial é no desenvolvimento de criaturas artificiais bio-inspiradas dotadas de um sistema nervoso artificial. Tal sistema nervoso deve ser modelado e construído de modo a possibilitar à criatura artificial aprender, ao longo de sua ontogenia e a partir de suas próprias experiências, como se comportar adequadamente perante cada situação. Há várias estratégias possíveis para se construir tais criaturas artificiais que vem sendo exploradas. Este "programa de pesquisa" traz à tona uma série de questões de extrema relevância, e que devem ser respondidas a priori, abrangendo desde questões ontológicas e epistemológicas, até questões relacionadas à área de computação paralela, passando por questões concernentes à etologia, neurobiologia, neuropsicologia, sociologia, semiótica, física, filosofia, e outras tantas. Neste trabalho se discute o arcabouço teórico-conceitual dessa área de pesquisa, bem como os desafios que se apresentam aos pesquisadores. Além disso, alguns resultados obtidos a partir de uma arquitetura de software para a criação de linhagens de criaturas artificiais, denominada ARTÍFICE, que incorpora diversos mecanismos bio-inspirados, são apresentados e discutidos. Criaturas artificiais criadas a partir dessa arquitetura habitam um mundo simulado em duas dimensões e interagem com diversos objetos ali dispostos. Uma criatura, para manter-se viva, necessita aprender a se manter regulada homeostática e emocionalmente (modelo do processo emocional-cognitivo). Durante a ontogenia da criatura, o aprendizado ocorre por meio dos conhecidos mecanismos de condicionamento clássico (pavloviano) e condicionamento operante, duas das formas mais basais de aprendizado associativo que estão presentes na ampla maioria das espécies animais. O que a criatura aprende, a partir de suas próprias experiências de vida ela retém em sua memória de longo prazo. Caso a criatura se encontre sob forte estresse emocional, ela pode, inclusive, formar memórias cintilantes e memórias de experiências traumáticas. Por fim são discutidos quais processos dinâmicos-interacionistas devem existir entre um conjunto de criaturas de uma mesma linhagem de modo a possibilitar o surgimento de um grupo social e, por consequência, a emergência de uma linguagem artificial (semiótica artificial), ainda que primitiva.

## CONSCIÊNCIA ARTIFICIAL

Ricardo Gudwin

Professor do DCA-FEEC-UNICAMP

A idéia de se construir um agente computacional consciente é bastante ousada, tanto do ponto de vista científico como filosófico, principalmente porque a própria natureza do que é esse fenômeno - “consciência” ainda se encontra cercada de muitas dúvidas e problemas. Apesar disso, nos últimos quinze anos tem havido um crescimento significativo no estudo científico da consciência. Uma vertente tecnológica destes estudos é a área de pesquisas em consciência artificial. Diversos pesquisadores apresentaram propostas bastante diferentes entre si para a criação de sistemas artificiais conscientes. Dentre as diversas propostas, e ignorando aquelas que poderiam ser classificadas como “ingênuas”, a que nos parece mais solidamente lastreada em uma sólida teoria científica da consciência é o framework computacional sendo desenvolvido por Stan Franklin, da Universidade de Memphis, nos EUA, que é baseada no modelo de consciência de Bernard Baars, também conhecido como a Teoria do Espaço de Trabalho Global (Global Workspace Theory). Lastreado sob o ponto de vista científico pela teoria de Baars, Franklin desenvolveu, sob uma perspectiva tecnológica, um framework computacional que pode ser classificado, ao mesmo tempo, como uma prova de conceito de uma teoria científica e uma nova abordagem para a construção de agentes inteligentes. Nesta apresentação, pretendemos analisar e avaliar a arquitetura que chamamos aqui de arquitetura Baars-Franklin (ABF), uma arquitetura que vem sendo desenvolvida conjuntamente por Baars e Franklin nos últimos 10 anos. Baars desenvolveu sua Teoria do Espaço de Trabalho Global (TETG) inspirado na psicologia, e baseado em testes empíricos advindos da ciência cognitiva e da neurociência. A TETG é uma teoria unificada que agrega diversas hipóteses anteriores sobre a mente e a consciência humanas. Em sua teoria, Baars, postula que processos como atenção, seleção de ação, automatização do comportamento, aprendizagem, meta-cognição, emoção e outras operações cognitivas são implementadas por um grande número de processadores especializados e inconscientes distribuídos globalmente no cérebro (algo que Edelman classificaria como “grupos neurais”). Cada processador é autônomo, eficiente, e trabalha em paralelo e em alta velocidade. Para realizar suas tarefas, cada processador necessita de um conjunto de recursos (basicamente algum tipo de informação), e da mesma forma gerará como resultado de sua atividade um outro conjunto de recursos, depois de seu processamento. Processadores especializados podem cooperar entre si, formando coalizões. Esta cooperação se dá por meio do fornecimento dos recursos necessários, por parte de um processador para que outro processador possa executar suas tarefas. Desta forma, trocam recursos escrevendo e lendo de lugares específicos em uma memória de trabalho. Essas coalizões podem formar grandes redes complexas, onde processadores fornecem informações a outros processadores. Entretanto, dentro de uma coalizão, os processadores só têm acesso a uma informação local. Podem haver situações em que a informação necessária a um processador não esteja disponível na própria coalizão. De forma a tratar de situações como esta, implementando um sistema de comunicação global entre todos os processadores, existe um espaço de trabalho global, onde processadores podem realizar o broadcast de seus requisitos a todos os outros processadores. Podem haver situações também onde um processador pode anunciar o tipo de recurso que gera, de forma que outros processadores interessados possam tomar ciência e usufruir destes recursos. Estes processadores podem então utilizar-se do espaço de trabalho global para fazer o broadcast com essa informação a todos os outros processadores. Nessa dinâmica de broadcast, somente uma única coalizão pode escrever no espaço de trabalho global em um determinado instante de tempo. De forma a decidir qual coalizão terá esse privilégio, todo um processo de competição entre processadores é disparado. Cada processador possui um nível de ativação, que expressa a urgência em obter uma determinada informação ou a importância da informação que é capaz de gerar. O nível de ativação de toda uma coalizão é a média dos níveis de ativação de seus participantes. A cada instante de tempo, a coalizão com o maior nível de ativação ganha o acesso ao espaço de trabalho global. Uma vez que ganhe este acesso, todos seus processadores passam a fazer o broadcast de suas requisições e anúncios. Esse processo de broadcast permite a formação de novas coalizões, e também a mudança em coalizões que já estão funcionando. Para Baars, a consciência está relacionada com o funcionamento do espaço de trabalho global. Os processadores são normalmente inconscientes, tendo acesso somente a informação local. Mas, em alguns casos, eles podem precisar ou anunciar informação global, caso em que requisitam acesso à consciência. Uma vez dentro da consciência, eles podem efetuar o broadcast a todos os outros processadores. Este é o caso em que uma informação não-usual, urgente ou particularmente relevante deve ser propagada ou requisitada. Desta forma, o mecanismo de consciência provê um papel integrativo e mobilizador. Além disso, o mecanismo de consciência também pode ser útil quando tarefas automáticas (inconscientes) não são capazes de lidar com uma situação em particular, e portanto demandam uma estratégia especializada para sua resolução. Coalizões executivas, especializadas em resolver problemas podem ser recrutadas de tal forma a lidar com estas situações especiais delegando problemas triviais a outras coalizões inconscientes. Desta forma, a consciência age como um filtro, recebendo somente informação emergencial ou especialmente relevante. Inspirado na descrição de Baars de sua teoria de consciência, e também em trabalhos anteriores na literatura de computação, Franklin propôs um framework computacional para um agente de software que implementa a teoria de Baars em uma arquitetura computacional, a ABF. Nosso intuito com essa palestra, é analisar a arquitetura ABF, e entender o significado de “consciência” que pode ser atribuído a essa arquitetura. Da mesma forma, apresentaremos uma análise das potenciais vantagens que o uso dessa arquitetura em um sistema computacional pode trazer.

## INTERFACES CÉREBRO-MÁQUINA

*Carlos Júlio Tierra Criollo*

Professor do Departamento de Engenharia Elétrica – UFMG

Professor do Programa de Pós-graduação em Neurociências - UFMG

No início da década de 1960 o departamento de defesa dos Estados Unidos da América iniciou pesquisas com o objetivo de criar uma ligação direta entre o cérebro humano e uma máquina, sem a necessidade dos nervos periféricos e músculos. O objetivo era ajudar o piloto a interagir com sua aeronave, otimizando a operação dos seus equipamentos. A tecnologia da época não foi suficiente para produzir ganhos satisfatórios, e a iniciativa foi abandonada. Porém o sucesso inicial dessa pesquisa gerou interesse em outros grupos de pesquisadores. Atualmente muitos grupos de pesquisas tem se dedicado ao estudo deste novo canal de comunicação denominado interface cérebro máquina (ICM). A principal aplicação da ICM está na área médica, oferecendo uma oportunidade às pessoas acometidas de severas incapacidades motoras - como esclerose lateral amiotrófica, lesão da coluna espinhal, acidente vascular cerebral e outros - a interagirem com o mundo exterior. Em termos gerais, uma ICM é um sistema através do qual uma pessoa, ou um animal, envia informações do cérebro para um computador (sistema microprocessado), onde esta informação é processada e, posteriormente, disponibilizada para controle de um dispositivo externo. Estas informações, representadas pela atividade cerebral, podem ser obtidas através de técnicas como a eletroencefalografia (EEG), magnetoencefalografia (MEG), tomografia por emissão de positrons (PET), ressonância magnética funcional (fMRI) e eletrocorticografia (ECoG). Devido ao menor custo e a praticidade as técnicas de EEG e ECoG têm sido mais utilizadas. No ECoG microeletrodos são implantados no córtex para registro do potencial de ação de neurônios individuais ou pequenas quantidades de neurônios. O registro do sinal diretamente do córtex torna-o menos susceptível a artefatos e com alta resolução temporal e espacial. Porém, a eletrocorticografia, por ser uma técnica invasiva, apresenta os riscos inerentes aos procedimentos cirúrgicos. As ICM's que utilizam esta técnica iniciaram-se com macacos durante as décadas de 60 e 70. A partir da década de 90, com o avanço das técnicas de registro e melhoria dos algoritmos para reconhecimento de padrões e das condições de implante dos eletrodos, as experiências têm evoluído para utilização em humanos. O monitoramento da atividade cerebral com o EEG tem sido mais usado para ICMs, por ser não invasivo, mais barato e de tecnologia menos complexa. Este tipo de sinal tem uma alta resolução temporal, mas baixa resolução espacial, devido ao espalhamento da atividade elétrica cerebral, por causa do volume condutor, entre as fontes cerebrais e o escalpo, como consequência obtêm-se menos informação do que no ECoG. Além disso, o número de eletrodos de registro do EEG é limitado. Estas ICMs podem ser divididas em dois grandes grupos: ICMs com estimulação externa e ICMs sem estimulação externa. As primeiras usam estimulação sensorial que pode eliciar o potencial evocado (PE) e nas segundas o sujeito deve aprender a controlar estados mentais (tarefa cognitiva), por exemplo, a imaginação de movimentos (IM). Entre as ICMs dependentes de estimulação sensorial a baseada no potencial evocado visual em regime permanente (PEVRP) tem-se destacado por apresentar alta relação sinal ruído (RSR) e atingir altas taxas de transferência de informação. Além disso, outras características do PEVRP têm favorecido a construção de ICMs tais como: ser observado na maioria da população, não depender de atividade cognitiva, facilidade na extração de características e ser mais imune a ruídos. A ICM independente de estimulação externa tem sido mais pesquisada, pois oferece uma ICM a pacientes com total ou parcial paralisia de músculos. Esta ICM pode utilizar a imaginação de um movimento de um membro (imagética motora), como por exemplo: dedos, mãos e pés, para acionar um dispositivo externo. Outros tipos de imaginação também têm sido empregados, como a rotação de um cubo imaginário. Padrões eliciados por tarefas cognitivas, como realizar uma operação aritmética, também tem sido gerados. O princípio de funcionamento destas ICMs se baseiam na identificação de padrões como o potencial relacionado a eventos (PRE), P300, sincronização e desincronização de ritmos cerebrais relacionadas ao evento, potenciais corticais lentos. O grande desafio na construção de ICMs é fazer uma detecção rápida dos padrões cerebrais em meio à atividade de EEG de fundo que é muito mais intensa. Por exemplo, enquanto o PRE tem amplitudes da ordem de alguns microvolts, o EEG de fundo pode atingir centenas de microvolts. Diversas técnicas e ferramentas matemáticas de análise no domínio do tempo e da frequência têm sido usadas para melhorar a RSR, a extração de características e a classificação de sinais de EEG. Dentre elas, podemos citar: filtros temporais, espaciais, e casados, média coerente, análise de componentes principais, análise de componentes independentes, transformada de Fourier e transformada Wavelet, redes neurais, modelos Markovianos, técnicas de sistemas não lineares. Técnicas de detecção objetiva no domínio da frequência têm-se mostrado promissoras por exigirem a realização de um menor número de eventos para identificar padrões. Dentre elas, podemos citar a magnitude quadrática da coerência (MSC). A combinação de técnicas de processamento de sinais tem sido explorada com vistas à melhora nos resultados. Apesar da pesquisa na área ter avançado consideravelmente, uma ICM continua dependendo, principalmente, da melhoria dos sistemas digitais e processamento de sinais, para que os sinais possam ser processados com maior velocidade. Outro ponto importante nestas pesquisas é a surpreendente plasticidade cortical do cérebro, que possibilita a adaptação às ICM's quando se trata de órteses e próteses controladas por implante. Além disso, a exploração da plasticidade cerebral junto com a ICM na reabilitação neurológica está nos seus primórdios.

Lesões do sistema nervoso central (SNC) e periférico (SNP) apresentam elevadas incidência e prevalência devido aos altos índices de sobrevivência. Tendo em vista as conseqüências e comprometimentos motores decorrentes destes tipos de lesão, faz-se necessária a identificação de treinamentos motores que favoreçam a reorganização cortical e recuperação funcional destes indivíduos. Dentre os tipos de treinamentos motores, pode-se citar a Imagética motora (IM). A IM pode ser definida como um estado dinâmico durante o qual a representação de uma ação motora específica é internamente ativada dentro de uma memória de trabalho sem nenhuma resposta motora e que é dirigida pelos princípios do controle motor central. Operacionalmente, pode ser considerada como ocorrendo na perspectiva da 1ª pessoa. A IM, assim como a observação e imitação da ação são representados no mesmo circuito motor básico da execução da ação – o sistema de espelhamento neuronal – e, portanto, proporcionam uma fonte adicional e alternativa de informação do treinamento motor que pode ser usado para promover a recuperação funcional após lesão neurológica. A IM tem sido utilizada de duas maneiras. Uma delas envolve o treinamento motor através da prática mental (PM) e a outra se relaciona à Interface Cérebro-Computador Baseada em IM (IM-ICM). Alguns autores diferenciam a execução de IM da PM e consideram a PM um método de treinamento pelo qual a representação interna de uma determinada ação motora é repetida diversas vezes com o objetivo de aumentar a performance. Durante a PM, uma representação interna do movimento é ativada e a execução do movimento é simulada mentalmente por repetidas vezes, dentro de um contexto específico, sem que ocorra atividade física, sendo usada para melhorar a estabilização e a execução do movimento. Portanto, IM refere-se a uma operação cognitiva específica enquanto PM refere-se a um método de treinamento que pode usar processos cognitivos, entre eles, a IM. Para muitos indivíduos com lesão neurológica, a execução de determinados movimentos é muito difícil e muitas vezes até impossível, o que dificulta a participação efetiva do indivíduo no processo de reabilitação. Alguns estudos recentes sugerem que a PM pode ser um instrumento terapêutico importante para facilitar a recuperação motora nestes indivíduos, sendo considerada um tipo de abordagem que permite ativar o repertório motor em todos os níveis de reabilitação, podendo ser usada como estratégia de treinamento para o reaprendizado de atividades de vida diária em indivíduos com lesões neurológicas agudas ou crônicas. Esta técnica é uma estratégia cognitiva que pode beneficiar a aquisição de habilidades motoras e a performance funcional de atletas e de indivíduos em fase de reabilitação de lesões decorrentes do esporte e lesões neurológicas, como após Acidente Vascular Encefálico (AVE), Lesão Medular e lesões de nervos periféricos. Este tipo de abordagem é considerado um ensaio mental de propriedades cinestésicas e visuais dos movimentos, estando relacionada diretamente à ativação da área motora e áreas do córtex somatossensitivo. Em indivíduos saudáveis, a IM gera aumento significativo da ativação de estruturas corticais não motoras, mas sem aumento significativo da ativação em córtex motor primário - M1. Entretanto, apesar de alguns estudos referenciarem a aplicabilidade de IM para treinamento motor em indivíduos com comprometimentos motores decorrentes de lesões neurológicas, o padrão de ativação cortical decorrente deste treinamento motor nestes indivíduos, que poderia justificar o uso desta abordagem nestes indivíduos, é muito pouco explorado. Alguns estudos têm demonstrado que PM gera modificações em desempenho motor. Além disso, a PM pode ser usada como uma abordagem preparatória, uma vez que aumenta a eficiência do treinamento físico subsequente. A provável justificativa destas modificações relaciona-se à Hipótese de Treinamento Neural que estabelece que, na primeira fase de treinamento muscular, o aumento da força muscular é causado por mudanças adaptativas nos processos centrais e não por hipertrofia muscular, sugerindo que os ganhos observados após a PM são devidos a mudanças neurais nos níveis de programação e planejamento do sistema motor. Em resumo, os resultados de diferentes estudos demonstram que a PM, similar à prática física, pode aumentar a performance de tarefas motoras e que este aumento está associado a mudanças fisiológicas e plásticas do SNC. Entretanto, controvérsias ainda persistem a respeito da eficácia desta técnica de treinamento, porque muitas das variáveis do estudo, tais como a natureza da tarefa motora, a intensidade da prática e o estágio do aprendizado em que a PM foi introduzida não são levados em consideração durante a interpretação dos resultados, não havendo um rigor metodológico dos estudos. Variáveis relacionadas ao indivíduo também devem ser consideradas durante a adequação metodológica, tais com o membro superior dominante do indivíduo (lateralidade), o que influencia diretamente sobre a performance e o treinamento motor. Há ainda evidências de que melhores imaginadores (indivíduos que produzem respostas do sistema nervoso autônomo na maioria das sessões de condição imaginada) aumentaram sua performance motora mais que outros sujeitos. A ICM é um sistema de comunicação que converte sinais cerebrais em comandos para controlar recursos externos. Os sinais cerebrais podem ser adquiridos por eletroencefalograma (EEG). Processos mentais podem ser detectados por EEG durante movimentos reais e IM em sujeitos saudáveis, podendo estes sinais de atividade elétrica cortical ser usados como uma IM-ICM. A ICM converte IM em comandos, promovendo um canal de comunicação promissor para pacientes com lesões neurológicas que sofrem de incapacidade motora. Alguns estudos demonstram que indivíduos com AVE são capazes de operar IM-ICM tão efetivamente quanto os indivíduos saudáveis e que a sua performance não se correlaciona com nível de incapacidade. Em um estudo sobre a influência de IM-ICM para reabilitação de membro superior de indivíduos com AVE, após um treino de 12 sessões, durante 1 hora, por 4 semanas, foi encontrada diferença significativa na força muscular de membro superior afetado em relação ao treino motor sem a ICM, resultando em maior ganho motor. Entretanto, estes estudos são inconclusivos devido à grande variedade de comprometimento motor dos indivíduos que compuseram a amostra. Tendo em vista as limitações de estudos anteriores quanto à seleção homogênea da amostra (lateralidade, nível de comprometimento motor) e a necessidade de busca de intervenções fisioterapêuticas que otimizem o desempenho motor, faz-se necessário um estudo sistemático da influência da PM sobre a capacidade funcional. Este estudo ainda permitirá analisar a influência da PM sobre a detecção do potencial de EEG relacionado à IM, permitindo seu uso em aplicação de ICM para indivíduos com AVE.