

Surfing Uncertainty: predições situadas?

Surfing Uncertainty: Situated Predictions?

Samuel de Castro Bellini-Leite *

Departamento de Filosofia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Resumo

Resenha crítica da obra de Andy Clark: "*Surfing Uncertainty: Prediction, Action and the Embodied Mind*". Publicado, em 2015, pela Oxford University Press.

Abstract

Critic review of Andy Clark's book: "*Surfing Uncertainty: Prediction, Action and the Embodied Mind*". Published by Oxford University Press, 2015.

Andy Clark, reconhecido por seu trabalho sobre a mente incorporada, situada e estendida, é uma referência quando se trata de apresentar a ciência cognitiva de forma natural, compreensível, mas filosófica. Ele possui a habilidade de unificar diversas propostas empíricas e teóricas sob uma ótica comum através da narração de um enredo sobre o funcionamento do cérebro, mente, corpo e mundo, que é geral o bastante para desvendar uma essência comum escondida em uma pluralidade de ideias e específica o suficiente para ser produtiva.

Surfing Uncertainty é seu desafio mais recente, dessa vez, de abordar um modelo neurocientífico computacional expresso em matemática rica e densa, assim como em simulações computacionais, e transformar este em uma história coerente descrita na forma da linguagem natural sobre como o cérebro funciona e como ele interage com o corpo e com o ambiente. Tal história é embasada praticamente em cada página por relatos das evidências científicas, passando por campos como a morfologia e fisiologia de neurônios, psicologia cognitiva e comportamental, neuroimagem, simulações computacionais, robótica incorporada e robótica do desenvolvimento (ou epigenética).

Clark apresenta três metas para o livro. A primeira é desenvolver e defender uma abordagem do funcionamento cerebral a partir do processamento preditivo. A segunda é demonstrar como tal abordagem pode dar conta, sob os mesmos princípios de processamento, de uma alta gama de funções mentais como percepção, ação, atenção, imaginação, linguagem e raciocínio alto. A última é de argumentar que tal modelo é compatível ou até mesmo enriquecedor para seus trabalhos anteriores a respeito da mente incorporada, situada e estendida. Essa resenha crítica apresenta o livro e avalia a empreitada de Clark em cada uma das três metas.

A neurociência computacional é uma área recente que vem avançando no século XXI. Tendo, de certa forma, a mesma função que a física teórica tem para os físicos, a neurociência

* **S.C. Bellini-Leite** - Endereço para correspondência: Rua Gustavo Ladeira, 11, apto. 205, bl. 2, Paquetá, Belo Horizonte, MG, CEP 31330-572, Brasil. E-mail: samuelcblpsi@gmail.com

computacional foi capaz de desenvolver modelos ricos das funções do cérebro, os quais, ao contrário do conexionismo, possuem como alvo a replicação de propriedades de neurônios e sistemas nervosos reais. Apesar das aspirações promissoras, modelos da neurociência computacional apenas recentemente começaram a gerar impacto em outras áreas da ciência cognitiva e outros campos relacionados à saúde e humanas. Com linguagem acessível, o livro *Surfing Uncertainty* é um passo essencial na direção de difundir uma proposta da neurociência computacional de uma forma que atinja campos interdisciplinares do estudo da mente humana.

O objetivo inicial de Clark é o de propor e defender a abordagem do processamento preditivo, o qual unifica diferentes modelos - como a codificação preditiva (Rao e Ballard, 1999), a teoria da emulação (Grush, 2004) e a inferência ativa (Friston, 2013) - a respeito de uma história similar. Tal história sugere que o cérebro funciona através de um ciclo perseverante de previsões sobre o que pode vir a perturbar seus sensores perceptivos em um futuro proximal e distal. Em vez de ser compreendido como um leitor de inputs do mundo, a história do cérebro preditivo sugere que o cérebro utiliza de probabilidade para antecipar inputs antes mesmo de chegarem. Essas previsões são baseadas em expectativas (ou em modelos gerativos probabilísticos) que antecipam as consequências mais prováveis de estímulos e eventos para gerar uma aposta de que certas condições irão ocorrer.

Através da manutenção e constante atualização da estatística dos inputs, o cérebro consegue se colocar 'à frente do jogo' ao lidar com o mundo. Esses modelos sugerem que o cérebro é formado por uma hierarquia composta por camadas altas e baixas, organizadas para sustentar duas rotas principais de fluxo de informação. O fluxo descendente é responsável pela transmissão de previsões múltiplas, cada camada mais alta busca prever o funcionamento da camada abaixo. O fluxo ascendente carrega, para as camadas acima, as correções de erro em relação a predição previamente realizada.

Se as previsões de um dado evento estiverem funcionando, o sistema atribui pouco peso aos estímulos externos. Por outro lado, se as previsões estiverem equivocadas, os estímulos sensoriais são utilizados para sinalizar a diferença entre o predito e o percebido, gerando uma tentativa de superar tal lacuna. Nessa visão, essa tendência de corrigir o erro de predição pode ser compreendida como o objetivo principal do cérebro, chamado de 'minimização de erro'.

Clark nota uma mudança intensa sugerida pela abordagem do processamento preditivo. Essa mudança propõe que o fluxo dos sentidos para partes internas do cérebro consiste não nas características que foram detectadas e serão passadas para camadas mais altas, mas apenas no erro necessário para corrigir e atualizar modelos gerativos. Em vez de carregar toda informação do ambiente, esse esquema promove um funil natural que garante a economia de processamento a partir do foco na informação que age como notícia, ou seja, aquela que gera correção de erro.

Predições descem (*top-down*) em cada camada e correções de erro sobem (*bottom-up*) mostrando exatamente o que está falhando e que precisa ser corrigido nos próximos modelos. Assim, camadas baixas conseguem 'furos de reportagem' por detectarem as mais atuais correções de erro para propagar de forma ascendente, mas camadas altas terão correções de erro provindas de várias outras vertentes da rede cerebral. Isso é, camadas altas terão modelos corrigidos provindos de várias fontes, já as camadas baixas terão instâncias das correções mais novas. Por isso, é relevante haver um fluxo bidirecional de informação.

Podemos dizer que, em cada momento, não existe um modelo gerativo no cérebro, mas vários modelos em coevolução; de forma grosseira: modelos por camadas.

O erro de predição também está associado à um conceito importante da abordagem: o conceito de alarme (*surprisal*). Predições são baseadas em modelos que funcionam como uma expectativa sub-pessoal. Quando essas expectativas não são correspondidas, o erro de predição sinaliza com alarme. Para predizer, o cérebro está sempre buscando encontrar correspondências entre predições acima e a próxima notícia advinda de baixo. O alarme ocorre quando há uma incompatibilidade entre a predição e o conteúdo carregado pela sinalização de erro. O objetivo do sistema a cada momento é de minimizar o alarme. Para alcançar essa meta, o sistema busca atualizar seus modelos gerativos para corresponderem à novidade. Ter predições sintonizadas permite ao sistema manter o nível de alarme o mais baixo possível. O alarme se difere do erro em si, pois o alarme é a diferença entre a predição e o erro. Podem haver muitos erros provocando pouco alarme, mas um erro específico pode provocar um alarme forte por gerar uma diferença grande entre expectativa e realidade.

A primeira etapa do livro cobre esse tipo de mecanismo básico sugerido pela abordagem do processamento preditivo. Trata-se de uma introdução bastante compreensível dos modelos preditivos, sendo indicada para quem não está familiarizado com esse tema. Entretanto, ao ler o livro, um leitor mais crítico pode se perguntar como esse tipo de processo pode funcionar. Por exemplo, um conceito central da proposta da proposta de Clark é o de pesagem de precisão. Pesagem de precisão é um mecanismo que percorre toda a economia hierárquica do cérebro com o poder de fortalecer o que parece ser confiável para certo momento e atenuar o que parece equivocado. Mensurando a incerteza, a pesagem de precisão pode aumentar o valor dado à sinalização de erro ou às predições. Essa é uma grande aposta do modelo por explicar: o mecanismo subjacente à atenção; como os fluxos ascendentes e descendentes de informação podem ser controlados; como a interação de regiões diversas do cérebro, inclusive interações multimodais, podem ser organizadas; e determinar até mesmo se, em um dado momento, ocorrerá uma ação ou apenas imaginação. A precisão também é utilizada para explicar diversas condições patológicas como distúrbios de precisão, autismo, esquizofrenia, ilusões corporais, dentre outras.

As aplicações do conceito de precisão são convincentes, bem argumentadas e plausíveis. Entretanto, um leitor e crítico pode se questionar que a precisão estaria funcionando como um homúnculo na teoria, considerando que o livro não apresenta detalhes de como a pesagem da precisão funciona. O leitor crítico pode indagar sobre como é possível que o mecanismo de precisão tenha acesso a tanta informação e tome decisões tão rapidamente. Ao primeiro momento esse impasse aparenta ser grave. Apesar disso, a solução para esse questionamento deve ser encarada como uma sugestão para uma busca mais profunda em artigos técnicos especializados, os quais terão descrições da precisão utilizando matemática avançada. Assim, positivamente, essa lacuna se transforma em um convite para investigações mais elevadas sobre outros trabalhos de neurociência computacional. Clark, talvez tendo isso em mente, nos apresenta referências bibliográficas ao invés de afirmações vazias.

A primeira meta do livro – a de fornecer ao leitor uma compreensão acessível e geral (ou seja, sem entrar nos detalhes formais/computacionais) do processamento preditivo – é cumprida. A segunda é a de promover uma abordagem unificada para diversas funções mentais. A percepção é o caso padrão para modelos de processamento preditivo, há um enfoque especial na visão. Esses modelos foram primeiramente desenvolvidos como

propostas de codificação preditiva de estímulos visuais, os quais mostraram como o processamento do input visual pode ser alcançado não pelo acúmulo e organização de características discriminativas do mundo, mas pela eliminação de características previsíveis, através da seleção de apenas alguns erros. Esses modelos minimizam a visão passiva da percepção (como aquela proposta por Marr, 1982) explicando como expectativas sub-pessoais moldam a percepção visual. Essa alteração no papel da visão permitiu aplicações para outros sentidos também.

Clark utiliza a compreensão da fala na forma *sine-wave* como um exemplo de como a codificação preditiva funciona na audição. Os estímulos *sine-wave* são sons sintetizados a partir de gravações da fala real, que, dependendo das condições de escuta e da atenção do ouvinte, podem ou não ser percebidos como sons da fala. Nesse caso, se torna bastante claro como expectativas sub-pessoais podem ter um papel fundamental na percepção. Quando um indivíduo escuta um áudio *sine-wave* pela primeira vez, ele não consegue perceber que se trata de linguagem. Entretanto, com treinamento ou indução as expectativas sub-pessoais do sujeito são moldadas e a partir de certo ponto o contrário ocorre, o indivíduo não consegue mais escutar o som da forma original, compreendendo o áudio como linguagem natural automaticamente. Isto é acomodado no processamento preditivo, pois essa abordagem explica que existem modelos gerativos que facilitam a interpretação da perturbação sensorial em tempo real por meio de inferências probabilísticas. No exemplo, a mudança de percepção da forma não-falada para a forma da linguagem natural é explicada pela elaboração gradual de um novo modelo gerativo relacionado ao estímulo.

A atenção em *Surfing Uncertainty* é substituída pela atividade da pesagem de precisão. Essa é uma estratégia complicada a qual foi alvo de muita crítica no artigo de Clark (2013) sobre processamento preditivo. No livro, Clark escolheu não se engajar no debate diretamente, mas apresentar uma abordagem mais completa da atenção com evidências e exemplos adicionais. A atenção é utilizada quando alguns eventos precisam ser marcados como mais relevantes do que outros, tarefas que precisam ser resolvidas ganham foco e outras são ignoradas. Se a precisão pode determinar a confiabilidade da informação sensorial, parece natural que apenas o erro com alto grau de alarme e peso de precisão chegará à atenção. Existem, portanto, diversos funis no fluxo ascendente. O primeiro é que não toda informação sensorial, mas apenas o erro continua a fluir de forma ascendente. O segundo é que dentre todos os erros, aqueles com maior grau de alarme são tratados com maior relevância. E finalmente, aqueles com mais peso de precisão. Assim, após passar por esses funis, o erro é tratado com mais cuidado, o que correlaciona com o que chamamos, em termos de psicologia popular, de 'atenção'.

Em contraste à atenção, a imaginação é explicada como a atenuação de erro e aumento na pesagem de precisão nos modelos gerativos de camadas altas. Se cada camada pode prever o perfil de resposta da camada abaixo, isso sugere que as camadas altas também são capazes de produzir versões virtuais dos dados sensoriais. Assim, bloqueando o fluxo ascendente, o cérebro consegue se travar em seus próprios modelos gerativos, possibilitando a ocorrência da imaginação.

A ação na proposta do processamento preditivo não é menos controversa do que a atenção e é necessário um grande esforço de estudo para compreender de forma clara seu funcionamento. Baseada na proposta da inferência ativa de Friston, Clark argumenta que até mesmo comandos motores podem ser reduzidos para o regime de predição e erro. Regiões motoras, enquanto regiões de percepção, estão sempre ocupadas com a expectativa dos

estímulos sensoriais, mas nesse caso, estímulos proprioceptivos. Assim, a ação é tratada como uma consequência da percepção de estados proprioceptivos. Na ação, o sistema busca minimizar erros de predição proprioceptiva. A proposta afirma que quando ocorre a ação, uma predição relativa a uma trajetória e posição proximal é gerada e o erro com alta pesagem relativo a essa predição faz com que essa ação aconteça. Clark afirma que esse esquema não aciona um comando motor, na verdade, a noção de 'comandos motores' é substituída pelo esquema. Os erros, com alta pesagem, relativos aos estados futuros de propriocepção, diretamente causam a ação. Há um ponto delicado nessa proposta, pois tanto a predição (a meta) quanto o erro (a causa da ação) são importantes para o movimento e eles precisam ser atenuados e aumentados em camadas diferentes da hierarquia para a ação ocorrer. Quando os erros relativos às futuras trajetórias de um indivíduo são atenuados, este indivíduo apenas imagina a ocorrência da ação. Entretanto, erros relativos aos estados proprioceptivos atuais precisam ser atenuados para as ações do indivíduo ocorrerem, caso contrário este sujeito permaneceria imóvel conferindo com atenção sua posição corporal. Portanto, a ação ocorre quando há alta pesagem de erro relativa às futuras predições proprioceptivas e atenuação de erros relativos às predições da posição do corpo em dado momento.

Esse tratamento da ação mostra o quão dinâmico e complexo a abordagem do processamento preditivo pode se tornar. Apenas distinguir entre pesar erros ou predições não é o bastante, a camada da hierarquia na qual a pesagem ocorre, e a qual predição essa pesagem se refere também determina função.

Enquanto Clark discute as várias funções mentais abordadas pelo modelo do processamento preditivo, ele apresenta ao leitor referências a inúmeros estudos empíricos baseando essas visões. De toda forma, ele assume que essas aplicações para outras áreas da cognição precisam de mais estudo e confirmação. O modelo proposto no livro é bastante avançado e bastante confiável. Pode ser o caso que ele não se aplique à cognição como um todo, ou a proposta pode vir a ser falseada, mas o mesmo é possível também a respeito de qualquer outra proposta da ciência cognitiva atual.

Entretanto, o mesmo sucesso não pode ser oferecido em relação ao tratamento do raciocínio alto. Essa função não parece seguir naturalmente do esquema do processamento preditivo como as outras mencionadas acima. Andy Clark admitiria que o raciocínio alto pode ser visto mais como um desafio para o processamento preditivo superar do que como uma base segura no qual o seu sucesso tem sido demonstrado.

Apesar da dificuldade com os processos de raciocínio alto, Clark de fato consegue unificar diversas funções mentais convincentemente sob a estratégia do processamento preditivo. Mas quando se tem poucas cartas para utilizar na explicação dos fenômenos, um problema pode surgir no futuro no que tange a discriminação ou individualização dos fenômenos unificados. Por exemplo, é possível indagar sobre se de fato o modelo conseguiria individuar, apenas com essas cartas (predição, precisão e erro), fenômenos tão similares como o sonho, o devaneio, o pensamento em voz alta, o ficar perdido em pensamentos, dentre outros. Mas se a meta for a de explicar como fenômenos inicialmente tão diversos como a atenção e o movimento podem ser abordados por um estilo de processamento único, então pode-se afirmar que esta é cumprida.

Finalmente, Clark também teve a meta filosófica de mostrar como o processamento preditivo pode encaixar com, ou até mesmo enriquecer, propostas incorporadas, situadas e estendidas da mente. Antes de Clark escrever esse livro, filósofos como Jesse Prinz - no evento "Greenland cruise", 2014 - e Tony Chemero (2013) apresentaram preocupações de que Andy,

ao adotar o processamento preditivo, teria abandonado a visão de mente que passou os últimos 20 anos defendendo (Clark, 1997).

As preocupações são compreensíveis. O leitor já engajado na literatura do incorporamento pode ter a mesma dúvida. Mas após a leitura do livro, podemos afirmar que Clark desvendou um caminho promissor sem adicionar comprometimentos *ad hoc*. Uma das preocupações principais é a do uso de representações. A cognição incorporada e situada tem como uma de suas doutrinas principais a de que a ciência cognitiva falhou na postulação ou na forma de fazer uso do conceito de representação mental, e vem acompanhada da afirmação de que o mundo em si pode servir como seu próprio melhor modelo (Brooks, 1999). A afirmação de que para cada aspecto da cognição o cérebro mantém modelos probabilísticos da realidade, ao primeiro momento, parece um enorme afastamento das propostas situadas. Mas Clark mostra que não é assim tão simples. Primeiramente, essas representações não são nada como duplês ou espelhos da realidade, e não há uma instância interna correspondente a cada objeto externo. Em *Surfing Uncertainty*, esses modelos probabilísticos mantêm a informação apenas sobre padrões de estímulos e eventos relevantes para que o organismo selecione *affordances* (Gibson, 1979).

A palavra 'modelo' também pode parecer enganosa no atual uso. Primeiro, um modelo de avião é uma réplica de um avião real. Já modelos probabilísticos, apesar de carregarem certos morfismos em relação aos seus conteúdos referidos, não são uma réplica do objeto. Segundo, Clark argumenta que esses modelos probabilísticos não referem a um mundo neutro ao organismo e nem mesmo a tudo que poderia ser relevante ao organismo. Terceiro, diferentemente de modelos clássicos de representação, as representações probabilísticas não são armazenadas em bancos de dados e não causam sobrecarregamento, não geram explosão computacional. Em vez disso, Clark argumenta que esses modelos foram bem analisados matematicamente para gerarem soluções práticas, sendo aplicados à simulações computacionais funcionais. E quarto, Clark percebe interessantemente que há um sentido em que o mundo pode ser seu próprio melhor modelo mesmo se existem modelos guiando a percepção, sem contradição incluída. O motivo é que esses modelos não são substituições do mundo, mas na verdade habilitam o agente a utilizar o melhor que há disponível no mundo, possibilitam o engajamento real do sujeito com seu ambiente. Se considerarmos a literatura da mente situada de forma crítica, é possível perceber que o mundo não pode ser seu próprio melhor modelo em um sentido literal, pois (a não ser que o organismo tenha sensores muito específicos como os dos insetos) o mundo na realidade fornece uma maioria de informações irrelevantes para um dado agente, por exemplo, em uma cidade barulhenta. Há um sentido em que o mundo está nos bombardeando com informação pobre e alta quantidade de ruído, e é por isso que é preciso 'surfear a incerteza', como diz o título do livro. O sentido mais plausível da proposta de que 'o mundo é o seu melhor automodelo' na realidade é mantido por Clark. Isto é, que os mecanismos de predição devem ser corrigidos a cada milissegundo por erros advindos do ambiente. Logo, é o ambiente que verdadeiramente molda a cognição e guia nossa ação, mas é preciso permitir que o conteúdo correto nos guie, não qualquer informação irrelevante ou ruído do ambiente. Ao propor que modelos gerativos na verdade são mecanismos que nos permitem sincronizar com o ambiente relevante e encontrar *affordances*, Clark vira a discussão da 'visão representacional vs. Situada' de 'cabeça-para-baixo', e de uma forma bastante efetiva.

Outra questão diz respeito sobre à metafísica da proposta. Se os sistemas cognitivos recebem apenas informação (erro) em relação às predições, pode-se pensar que o

processamento preditivo implica percepção indireta. A resposta de Clark para esse impasse é: 'sim e não', ou o que ele chama de 'percepção não-indireta'. A preocupação de críticos em relação à percepção indireta é de que essa leitura promoveria uma visão dos agentes cognitivos como seres que não possuem contato com o mundo em si. Mas o ponto, novamente, é que precisamos dos mecanismos que nos engajam no mundo relevante para o organismo. O argumento do processamento preditivo mostra como o mundo em si, se for compreendido como livre da percepção intencional do agente, não possui sentido. Não seria positivo para o agente ter contato com altos índices de ruído e informações irrelevantes. Quando um indivíduo vai a um estádio de futebol, o processamento preditivo é o que o habilita a enxergar um jogo de futebol ao invés de objetos físicos se colidindo. Clark argumenta que a percepção não pode ser completamente direta já que as evidências mostram que esta é mediada por expectativas. Mas isso não torna necessária a preocupação a respeito da 'perda do mundo', muito pelo contrário, Clark argumenta que o processamento preditivo é que fornece ao agente cognitivo o próprio contato com o mundo relevante.

Finalmente, na cognição situada há também a proposta do acoplamento entre percepção e ação. No processamento preditivo esse acoplamento também é possível, pois ações são uma consequência direta da percepção proprioceptiva e também pelo fato da ação ser uma forma de reduzir erros de predição pelo direcionamento do tipo de estímulo que perturba o sistema sensorial. Portanto, para solucionar um quebra-cabeça é preciso ativamente engajar com os objetos em mãos, girando, movendo e organizando as peças. Em cada tentativa, a ação está enquadrando o tipo de estímulo que a percepção poderá receber, escolhendo quais 'quadros' do mundo serão focados. Essa interação em forma de ação recíproca entre ação, corpo, e mundo é o que soluciona um quebra-cabeça. Um quebra-cabeça minimamente complexo não pode ser bem solucionado por um agente que apenas olha para e raciocina sobre as peças estáticas.

O livro nos mostra como propostas incorporadas da mente podem assumir formas diversas. É plausível que essa proposta não represente a maior parte dos teóricos do incorporamento, mas de toda forma, se propostas incorporadas da mente aspirarem ter relevância para a ciência cognitiva, então algum tipo de formulação funcional é necessário. Propostas incorporadas precisam se mover das formas puramente fenomenológicas, ecológicas ou até mesmo sistêmicas para contribuir diretamente com a ciência cognitiva. Teóricos precisam propor (também) abordagens cognitivas (ou alguma relacionada) e Andy Clark é um dos poucos que se propõe a abraçar esse desafio. O livro demonstra sua forma mais recente e ambiciosa de se esforçar nessa direção.

Afirmar que propostas incorporadas podem assumir diversas formas não é o mesmo que afirmar que o movimento não tem nada a oferecer. Uma forma de ver isso, é que através da aplicação da visão incorporada e situada, Clark remodelou completamente a versão comum de compreender modelos de codificação preditiva como aqueles que bloqueiam os agentes do ambiente pela contratação de um modelo interno rico como substituto.

Obviamente, existem muitos tópicos no livro que essa resenha não foi capaz de tocar, como: a atenção à espaços vazios, enativismo, a mente estendida, '*scaffolding*', penetração cognitiva, ilusões, patologias, o problema do quarto escuro, energia livre, e as evidências para o processamento preditivo. O ponto positivo de ter muito a dizer é que se abre muitas portas. Mas ao mesmo tempo, não é possível caminhar profundamente em tudo pois falta espaço. Há momentos em que o livro gera a sensação ao leitor de que está faltando espaço. Novamente, isso é remediado com referências que estimulam leituras posteriores.

Em conclusão, sim, Andy Clark foi bastante bem-sucedido em todas as três metas principais, e qualquer leitor pode concordar que a principal falha do livro é realmente a de não contemplar tudo que é necessário para explicar o processamento preditivo em detalhes, exigindo a necessidade de estudos posteriores. Nesse sentido, a ‘falha’ seria a de induzir à perseguição do caminho da pesquisa, mas como sabemos, isso está longe de ser uma falha.

Referências

Anderson, M.; Chemero, A. (2013) The problem with brain GUTs: Conflation of different senses of “prediction” threatens metaphysical disaster, *Behavioral and Brain Sciences*, 36(3), 24–25.

Brooks, R. (1999) *Cambrian intelligence: the early history of the new AI*. NY: Bradford books.

Clark, A. (1997) *Being there: Putting brain, body and world together again*. Cambridge, MA: MIT Press.

Clark, A. (2013) Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(3), 1–24.

Clark, A. (2016) *Surfing Uncertainty: Prediction, Action and the Embodied Mind*. Oxford: Oxford University Press.

Friston, K. (2013) Active inference and free energy. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(3), 212–213.

Gibson, J. (1979) *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin.

Grush, R. (2004) The emulation theory of representation: Motor control, imagery, and perception. *Behavioral and Brain Sciences*, 27, 377–442.

Marr, D. (1982) *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. Cambridge: MIT Press.

Rao, R.; Ballard, D (1999) Predictive coding in the visual cortex: A functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects. *Nature Neuroscience*, 2(1), 79.