

Análise do comportamento para corajosos: igualação, sub-igualação e psicofísica

Behavior analysis for the brave: matching, undermatching and psychophysics

 JÉSSICA BEZERRA SANTIAGO^{1,2}
 JOÃO LUCAS BERNARDY^{1,2}
 PAULO SERGIO PANSE SILVEIRA¹
 JOSÉ DE OLIVEIRA SIQUEIRA¹
 MARCELO FROTA BENVENUTI^{1,2}

¹UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
²INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIAS SOBRE
COMPORTAMENTO, COGNIÇÃO E ENSINO

Resumo

O presente trabalho introduz análises quantitativas do comportamento na área de escolha e percepção e contribui para o diálogo entre áreas aparentemente independentes. Na área de escolha, diferentes versões da lei da igualação foram usadas para descrever a alocação do comportamento entre alternativas em situação de esquemas concorrentes, porém o resultado mais comumente observado não é a igualação estrita, mas sim, sub-igualação. Desvios da igualação estrita, embora matematicamente descritos pela versão generalizada da igualação, são comumente atribuídos a falhas no controle experimental. No entanto, achados psicofísicos a respeito da percepção indicam que há uma relação não-linear entre sensações e grandezas físicas. Esses resultados são atribuídos aos efeitos da sensibilidade sobre a percepção e podem ser descritos pela função potência proposta por Stevens. Dado que a sensibilidade perfeita é um resultado improvável, os achados psicofísicos indicam que a sub-igualação, em vez da igualação estrita, seria o resultado esperado. Para ilustrar o potencial das análises quantitativas para o debate de princípios comportamentais, mostramos que a noção de sensibilidade permite a compreensão dos desvios observados nas situações de escolha.

Palavras-chave: escolha; lei da igualação; psicofísica; sensibilidade; percepção.

Abstract

This paper introduces quantitative analyses of behavior regarding choice and perception and contributes to the dialogue between seemingly independent areas. In studies of choice, different versions of the matching law have been used to describe behavior allocation between alternatives during concurrent schedules, however, the most commonly observed result is not strict matching, but under-matching. Deviations from the strict version of the matching law, although mathematically described by its generalized version, are commonly attributed to failures in experimental control. However, psychophysical findings regarding perception indicate that there is a non-linear relationship between sensations and physical quantities. These results are attributed to the effects of sensitivity on perception and can be described by the power function proposed by Stevens. Given that perfect sensitivity is an unlikely outcome, psychophysical findings indicate that undermatching rather than strict matching would be the expected result. To illustrate the potential of quantitative analyses for the debate of behavioral principles, we show that the notion of sensitivity allows the understanding of deviations observed in situations of choice.

Keywords: choice; matching law; psychophysics; sensibility; perception.

Nota. este trabalho contou com financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, bolsa no. 2014/50909-8), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ, bolsa no 465686/2014-1), e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, bolsa no 88887.136407/2017-00).

✉ jessicab.santiago@gmail.com

DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.18542/REBAC.V20I0.16466](http://dx.doi.org/10.18542/REBAC.V20I0.16466)

No princípio da análise experimental do comportamento (AEC) havia os dados. Skinner deu seus primeiros passos no estudo do comportamento ao observar, a olho nu, a hesitação de um rato ao sair de uma caixa escura (Skinner, 1956). Mais tarde, em *The Behavior of Organisms*, Skinner (1938) apresentou uma colossal quantidade de dados observados experimentalmente e, com eles, tentativas de analisá-los quantitativamente e qualitativamente. Os procedimentos, resultados e conceitos propostos nesse livro englobam quase tudo que se considera importante que um estudante neófito saiba sobre princípios básicos de AEC: reforço, extinção, discriminação simples, esquemas intermitentes de reforço. Porém, nem tudo que está nesse livro foi igualmente replicado na comunidade e transmitido para as futuras gerações de estudantes interessados em AEC. Skinner (1938) trouxe também inovações importantes em relação a como descrever seus resultados com a precisão do uso de funções para relacionar mudanças comportamentais decorrentes de interações com o ambiente. Skinner chegou, por exemplo, a descrever quantitativamente a relação entre respostas reforçadas e a frequência de respostas em uma condição posterior de extinção (Skinner 1938, p. 88), bem como o aumento de respostas diante de um estímulo e a extinção diante de outro no desenvolvimento da discriminação (Skinner, 1938, p. 186-90). No entanto, parte da comunidade de AEC rejeitou (e continua rejeitando) esses esforços em favor de uma análise baseada em controle experimental e na inspeção visual de registros cumulativos. O argumento tem seu valor quando usado para destacar o papel do controle experimental na avaliação de conceitos em Psicologia e o papel dos delineamentos com controle intrassujeito. Mas a rejeição *per se* de tratamentos estatísticos de dados e do esforço na construção de modelos matemáticos dificulta a busca de regularidades em processos comportamentais e a generalização desses processos para contextos mais amplos.

A rejeição a modelos matemáticos está presente na obra de Skinner (1959), que apresenta uma série de ressalvas quanto à modelagem matemática, advertindo que modelos matemáticos podem suplantar uma análise experimental do comportamento. Por isso, segundo Skinner, seria preferível dedicar-se à análise empírica do comportamento em vez de “escapar para um mundo de sonhos” (Skinner, 1959, p. 370). Catania (2012) endossa essa posição, discutindo casos nos quais a transformação dos dados, o uso de medidas de tendência central, ou a ênfase no ajuste de curvas podem levar a conclusões incompletas ou mesmo errôneas.

A resposta de Killeen (2012) a essa crítica é a de que aquilo que Catania (2012) considera como viés resultante de análises quantitativas, é, na verdade, resultado de um recorte arbitrário e proposital, um referencial equivocado pelo qual se olha para os dados. Nota-se, ainda, que esse tipo de viés pode estar presente também para além dos modelos quantitativos, como em outros tipos de descrição do fenômeno estudado.

Todo modelo (quantitativo ou não) é uma simplificação, uma espécie de atalho que sacrifica informação em favor de uma descrição significativa do comportamento (Killeen, 2012). Em outras palavras, modelos enfatizam variáveis críticas enquanto (propositalmente) omitem detalhes considerados menos importantes em cada contexto. Essa simplificação não é um acidente ou erro: é aquilo que se busca na formulação e discussão de teorias científicas. O “mundo real” já existe à nossa volta, está acessível a quem quiser experimentá-lo. Tão acessível que nos deixa confusos na hora de decidir o que é relevante e o que é detalhe, circunstância. Ou então o que é causa e o que é meramente proximidade espacial e temporal.

Modelos matemáticos têm sido essenciais à ciência e a análise do comportamento não é exceção. O uso cuidadoso de modelos matemáticos traz uma série de vantagens: (a) modelos matemáticos proporcionam mais precisão e parcimônia do que narrativas em língua portuguesa ou em qualquer outro vernáculo (Shull, 1991); (b) a operacionalização em termos matemáticos faz parte do amadurecimento de uma ciência natural, suplementando, mas não suplantando, dados produzidos empiricamente; por isso, o uso de modelos foi preponderantemente no desenvolvimento de outras ciências naturais; (c) o tratamento quantitativo do objeto de estudo é um grande aliado dos avanços no método científico ao permitir a minimização do erro na busca pela falseabilidade (Popper, 1963); e (d) mais do que um acessório analítico, modelos matemáticos são fundamentais na construção de teorias, podendo originar reflexões profundas sobre a natureza do comportamento (Baum, 2012).

Assim como discutiram Guattari e Deleuze (1992), a filosofia cria conceitos, já a ciência cria funções, fornecendo um plano de referência para lidar com o caos. A Psicologia, e mais especificamente a análise experimental do comportamento, não é uma exceção nesse sentido. Por isso, a apreciação e construção de teorias passa pelo entendimento do papel de modelos matemáticos no fazer científico.

A ausência de conhecimento da análise quantitativa do comportamento impede a compreensão aprofundada e crítica dos avanços feitos nos últimos cem anos em áreas como sensação (e.g., Stevens, 1957), decisão (e.g., Kahneman et al., 1982); esquemas de reforçamento (e.g., Rachlin, 1978); escolha (e.g., Herrnstein 1970; Herrnstein et al., 1997; Baum & Grace 2020); autocontrole (e.g., Rachlin, 2004; Rachlin & Green 1972); economia comportamental (e.g., Kagel et al., 1995; Rachlin, 1989; Rachlin et al., 1976) e curvas de aprendizagem (e.g., Gallistel

et al., 2004; Murre & Dros, 2015). Por isso, é grave que estudantes de Psicologia brasileiros tenham, *grosso modo*, pouca ou nenhuma formação quantitativa.

A importância da quantificação e a escassez de textos didáticos dedicados à análise quantitativa do comportamento justificam a produção de material sobre o assunto (Meneses et al., 2021). Sendo assim, o objetivo deste texto é introduzir, de forma didática, duas áreas da análise quantitativa do comportamento: escolha e psicofísica. Além disso, vamos mostrar como essas duas áreas podem estar relacionadas por meio da análise de duas funções: a lei da igualação generalizada (Baum, 1974) e a lei potência de Stevens (Stevens, 1957).

Este artigo tem como pré-requisito conhecimentos de matemática básica de nível médio e noções básicas de AEC. Para uma explicação mais pormenorizada do ponto de vista quantitativo, sugerimos o trabalho de Simonassi e Pedroso (2009).

Espera-se que essa introdução seja mais do que uma porta de entrada para estudantes interessados em análise quantitativa do comportamento. A comparação entre os diferentes significados empíricos de cada uma das funções mostra as similaridades entre descobertas feitas em diferentes áreas de pesquisa. A análise dessas descobertas por meio da quantificação oferece ao estudante de Psicologia temas profícuos para futuros projetos de pesquisa que recuperam algumas das grandes questões da Psicologia, permitindo que o interessado nos princípios básicos da área possa ter papel protagonista no debate dessas ideias.

Lei da igualação

A análise experimental da escolha nasce com a programação dos esquemas concorrentes, na qual dois esquemas de reforçamento estão disponíveis simultaneamente e independentemente, mas não se pode responder aos dois ao mesmo tempo (Skinner, 1950). A situação força uma escolha, mas que não precisa ser exclusiva a uma das alternativas: escolha e preferência podem ser estudadas pela alocação de comportamentos às alternativas.

Herrnstein (1961) expôs três pombos a esquemas concorrentes, sendo que em cada um dos componentes operava um esquema de reforçamento em intervalo variável (VI). Os tamanhos dos VIs foram manipulados de forma que a taxa geral de reforços programados fosse constante em todas as sessões, mas a taxa de reforços para cada componente do esquema pudesse mudar entre condições. Por exemplo, em um concorrente VI 3 min VI 3 min, os pombos tinham taxas iguais de reforços programados para cada alternativa, e uma taxa geral de 1,5 reforços por minuto. Em um concorrente VI 2,25 min VI 4,5 min, havia o dobro de reforços programados para a Alternativa 1 em relação à Alternativa 2, mas a taxa geral de reforços na sessão continuava 1,5 por minuto. Em algumas condições do experimento havia também uma penalidade para quando o animal mudava suas respostas de um componente do esquema para o outro. Nas condições em que a penalidade estava em vigor, sempre que a bicada num dos discos seguia uma bicada no outro, havia uma suspensão do reforço por 1,5 segundos (*change-over delay* ou COD). Essa penalidade desencoraja a alternância simples das bicadas entre as alternativas por evitar o reforçamento acidental da própria alternância, deixando o desempenho dos pombos mais sensível à diferença de reforçamento das alternativas.

Uma das novidades da análise de dados feita por Herrnstein (1961) foi o cálculo de frequências relativas de resposta. Nas análises operantes feitas até então, influenciadas pelo trabalho inicial de Skinner (1938), a probabilidade de um comportamento era quase sempre estimada a partir da análise de frequências absolutas: a mudança na frequência de um comportamento é avaliada momento a momento a partir da análise de desempenhos em registros cumulativos. Para avaliar se houve aumento de frequência de um comportamento, frequências absolutas em uma condição de linha de base podem ser comparadas com a frequência desse mesmo comportamento em uma situação experimental, por exemplo, quando o comportamento de pressionar uma barra é seguido por água. Alternativamente, na situação de esquemas concorrentes é possível dividir a frequência observada do comportamento em uma alternativa pela quantidade total de comportamentos em uma sessão. Se o esquema concorrente tem duas alternativas de resposta, é possível calcular a frequência relativa do comportamento na Alternativa 1 dividindo-se a quantidade de respostas nessa alternativa pela soma de respostas na Alternativa 1 e na Alternativa 2; isto é, $B_1/(B_1+B_2)$. Como resultado, o termo “probabilidade de resposta” ganha um sentido mais alinhado com a noção matemática de probabilidade: a soma das ocorrências de B1 e B2 fornece um universo de possibilidades que representa o “1”. O valor da razão entre B1, por exemplo, e esse universo é um número que varia de 0 (nenhuma resposta na Alternativa 1, todas na Alternativa 2) a 1 (todas as respostas na Alternativa 1). Comparando os resultados obtidos pela exposição a diferentes pares de esquemas VIs, Herrnstein (1961) descobriu que as taxas relativas de respostas se igualam às taxas relativas de reforçamento nas alternativas dos esquemas concorrentes. A expressão matemática dessa igualdade ficou conhecida como lei da igualação estrita:

$$\frac{B_1}{B_1 + B_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

Na Equação 1, B_1 e B_2 representam as taxas de resposta a cada uma das alternativas em um esquema concorrente, enquanto R_1 e R_2 representam as taxas de reforço obtidas pelo animal nas respectivas alternativas. Uma outra representação dessa mesma equação pode ser feita da seguinte forma:

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (2)$$

Notem que, na Equação 2, as taxas de respostas são relativas entre si em vez de relativas ao total: o total de respostas em uma alternativa é dividido pelo total de respostas na outra. O mesmo vale para as taxas de reforço. A lei da igualação estrita (expressa pelas Equações 1 e/ou 2) tem um bom ajuste aos dados de Herrnstein (1961) e a outras situações com esquemas concorrentes VI-VI. No entanto, esse nem sempre é o caso. Em um clássico da AEC, Baum (1974) descreve dois tipos de desvios sistemáticos da lei da igualação: viés e sub-igualação. A super-igualação tem sido considerada também um desvio da lei da igualação, mas é menos comum e avaliado pelo mesmo parâmetro usado para avaliar a sub-igualação. Esses desvios são expressos matematicamente por um fator k e um expoente a , conforme a Equação 3, que ficou conhecida como Lei da Igualação Generalizada:

$$\frac{B_1}{B_2} = k \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^a \quad (3)$$

Na Equação 3, B e R continuam representando, respectivamente, as taxas de resposta e de reforço em cada uma das alternativas. O fator k , segundo Baum (1974), é uma medida do viés em favor de uma das alternativas, enquanto o expoente a representa o quanto o animal discrimina variações na taxa relativa de reforço. Tanto os parâmetros k quanto o a são importantes pois adicionam à equação peculiaridades do organismo em face de uma situação concreta, são parâmetros estimados depois da realização do experimento. Para Baum, esses são parâmetros livres, isto é, sem significado teórico ligado a processos psicológicos. Permitem apenas descrever em que medida o desempenho individual difere do que seria esperado pela lei da igualação enquanto um princípio geral. Veremos adiante, contudo, que esses parâmetros podem ser relevantes por conectarem a lei da igualação com o tema da percepção.

Os desvios em relação à lei da igualação estrita, representados pelos parâmetros apresentados por Baum (1974), tornam a lei da igualação generalizada uma função potência. Isso porque um dos parâmetros é um expoente considerado constante para cada participante naquela situação experimental. As propriedades de uma função potência serão mais bem discutidas no tópico sobre a função potência de Stevens. Por hora, basta destacar que a função potência dificulta a interpretação visual dos dados, pois os parâmetros controlam a curvatura e a escala dos eixos. Uma forma mais simples de representar os dados dos desvios da lei da igualação estrita seria por meio de uma função linear. Para fazer essa transformação de linearização, Baum (1974) utiliza uma operação logarítmica, que preserva a relação entre as variáveis dependente e independente, alterando apenas a sua representação visual, de modo a facilitar sua interpretação, uma vez que a função passa a ser linear. O autor transforma a Equação 3 aplicando a transformação logarítmica em ambos os termos (mantendo, portanto, a igualdade), resultando na Equação 4 a seguir:

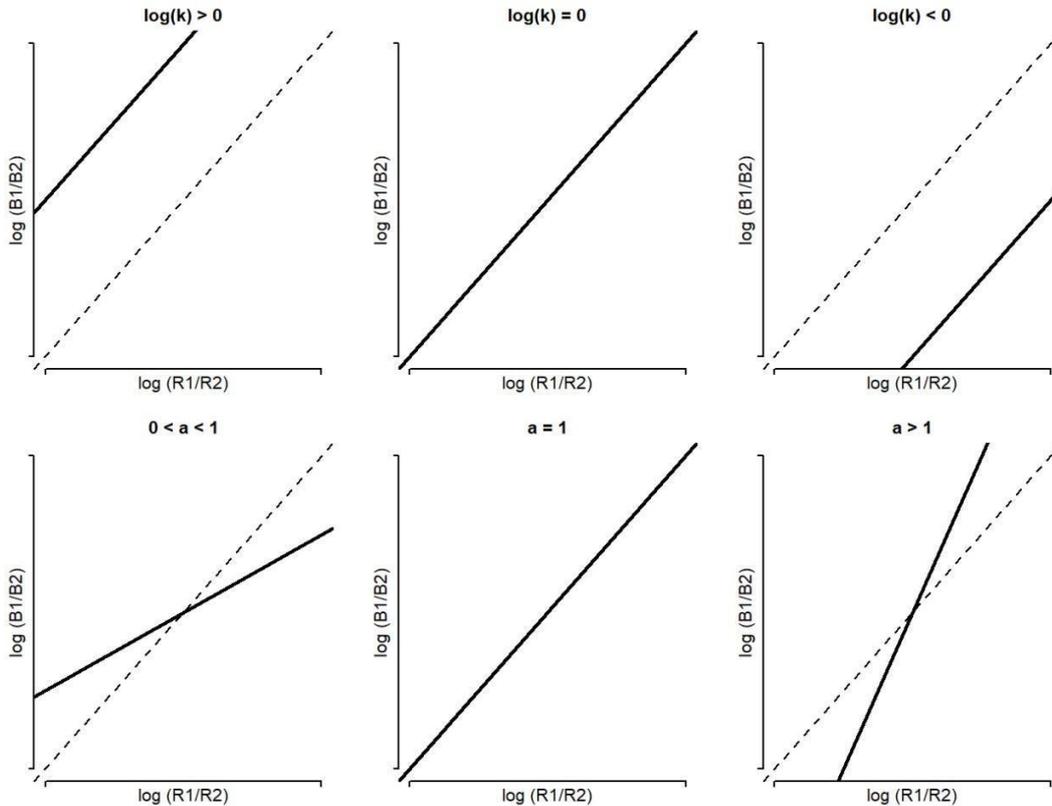
$$\log \left(\frac{B_1}{B_2} \right) = \log \left[k \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^a \right] = a \log \left(\frac{R_1}{R_2} \right) + \log(k) \quad (4)$$

Observe que obtemos, como resultado, uma equação no formato $f(x) = ax+b$, ou seja, nota-se que é uma reta cuja inclinação é dada por a , chamado de coeficiente angular, e cujo intercepto é dado por b , isto é, o ponto em que a reta cruza o eixo y ($x = 0$). Na transformação de Baum (1974), o intercepto b corresponde a $\log(k)$. Essa transformação preserva a igualdade e, ao mesmo tempo, permite uma representação visual mais simples dos desvios da lei da igualação (Baum, 1974). A Figura 1 mostra os efeitos das manipulações de k e a em um plano $\log\text{-}\log$. Enquanto k mede o viés, a mede super ou sub-igualação. Na porção superior da Figura 1, varia-se o $\log(k)$ mantendo a igual a um, variando

apenas o intercepto, enquanto na porção inferior, varia-se o expoente a (juntamente com o intercepto) para demonstrar sub-igualação e superigualação, variando a inclinação da reta.

Figura 1

Representação de viés (acima) e sub/superigualação (abaixo) como resultado da manipulação dos parâmetros k (intercepto) e a (inclinação)



Em um plano *log-log*, k produz uma mudança no intercepto, deslocando a reta para cima ou para baixo de forma paralela à bissetriz, em direção a uma das alternativas. Quando a reta se desloca, por exemplo, para a direita (como no quadrante superior direito da Figura 1) significa que o aumento na taxa relativa de respostas não corresponde ao aumento na taxa relativa de reforços para as respectivas alternativas, o que resulta em um desvio em relação à previsão feita pela lei da igualação estrita.

Em situações nas quais a causa do viés é desconhecida, atribui-se esse a variáveis estranhas, como a preferência pela posição de um operando ou à diferença de força exigida entre as respostas (Baum, 1974). Esse viés também é esperado quando há uma assimetria entre os esquemas. Por exemplo, quando o concorrente envolve um esquema de intervalo e um de razão, espera-se um forte viés em favor do esquema de razão (Baum 1981). De forma análoga, quando os esquemas envolvem reforçadores qualitativamente diferentes, espera-se uma preferência basal por um dos reforçadores (Baum, 1974; Rachlin, 1989).

Ainda nesse plano *log-log*, o expoente a (coeficiente angular) representa a inclinação da reta. Se o coeficiente angular a é maior que um, tem-se super-igualação. Por outro lado, se a está entre zero e um, tem-se sub-igualação. Em termos práticos, a sub-igualação significa uma alternância simples do responder entre as alternativas que resulta em um trabalho ineficiente: ao invés de dedicar mais tempo ao esquema que paga mais, dedica-se igualmente a ambos os esquemas, perdendo reforços no esquema rico e trabalhando-se mais do que seria vantajoso no esquema pobre (veja a porção inferior esquerda da Figura 1). A super-igualação, por outro lado, significa uma preferência pelo esquema mais rico que vai além do que seria necessário para ganhar todos os reforços nessa alternativa, o que resulta, também, em perda de oportunidade de receber reforço no esquema mais pobre (essa situação pode ser observada na porção inferior direita da Figura 1). Uma manipulação experimental que produz super-igualação é a adição de um custo ou punição por alternar de um esquema por outro, quando, por exemplo, pombos recebem choque quando trocam de um esquema VI para o outro no concorrente VI VI (Todorov, 1971).

Sub-igualação

As Equações 3 e 4 propõem uma generalização da lei da igualação estrita para lidar com os desvios encontrados em relação aos dados. Tanto a super quanto a sub-igualação podem ser interpretadas como falhas do animal em discriminar a diferença entre taxas de reforços. O resultado é uma preferência mais forte (super-igualação) ou mais fraca (sub-igualação) do que aquela prevista pela lei da igualação estrita (Fantino et al., 1972). Talvez desafiando uma primeira intuição, a sub-igualação parece ser um resultado mais comum que a própria igualação estrita (Wearden & Burgess, 1982; William, 1979). Esses resultados têm especial importância para as possibilidades que queremos explorar no presente texto a respeito das relações da AEC com a psicofísica. Deve ser lembrado que até a década de 70, o parâmetro a era concebido como desprovido de significado teórico, apenas como um descritor empírico da discriminação do organismo em relação às taxas de reforço. Veremos mais adiante que esse parâmetro está relacionado com um mecanismo de percepção que pode esclarecer o porquê de a sub-igualação acontecer com mais frequência em estudos sobre escolha em AEC. Por hora, daremos mais atenção à descrição da sub-igualação.

Baum (1974) sugere que a lei da igualação estrita seja aceita como uma regra normativa (não apenas uma descrição, mas uma previsão dos comportamentos de escolha) e que desvios sejam tratados como problemas de controle experimental envolvendo parâmetros como o atraso na mudança (*change-over delay* ou COD) ou a duração dos componentes em esquemas múltiplos. Esse tipo de tentativa de preservar a lei da igualação como uma lei empírica incorre frequentemente em um argumento circular, no qual partes do modelo matemático são tratadas como se tivesse *status* causal (Killeen 1972; Rachlin 1971). Isso ocorre porque parâmetros que são inferidos *a posteriori*, por exemplo, o valor reforçador (e.g., Baum & Rachlin, 1969), supostas fontes alternativas de reforço (Herrnstein, 1970) ou peculiaridades dos sujeitos experimentais (Baum, 1974) não podem ser medidos independentemente do comportamento de escolha que buscam explicar. Inclusive, esse é um risco real com modelos matemáticos que foi levantado por Skinner (1959) e apresentado anteriormente: o uso de uma equação, uma descrição de uma relação entre comportamento e ambiente, é utilizada para explicar o comportamento que se observou. Apesar de ser um risco real, a preocupação de Skinner é compartilhada mesmo entre os que defendem os modelos matemáticos.

Se a sub-igualação não é um “erro” ou “desvio”, uma postura mais consistente seria buscar uma explicação para o fato de a sub-igualação ser o resultado mais comum em situações de escolha nas contingências e condições de avaliação do comportamento de escolha (explicação que é, em si, um modelo). No entanto, antes de adentrarmos a discussão a esse respeito, cabe discutir se, de fato, a sub-igualação é o resultado comum. Isso porque deve-se fazer uma consideração sobre como esse resultado é obtido.

Frequentemente, a literatura recorre ao uso de regressão linear para estimar os parâmetros $\log(k)$ e a . Essencialmente, esse método estima qual é a reta que melhor representa um determinado conjunto de dados. Evidentemente, uma regressão que corresponda exatamente à igualação estrita (reta bissetriz, veja a Figura 1) é um resultado improvável. Mas o quão próximo da lei da igualação um resultado deve estar para que se conclua em favor da igualação? Podemos pensar no seguinte exemplo: se queremos definir se duas pessoas são gêmeas, podemos utilizar um método que quantifica o número de características comuns a ambas. Porém, quantas características semelhantes são suficientes para dizermos que essas pessoas são gêmeas? Elas devem ser iguais em 100% das características medidas? Ou 99% de semelhança é suficiente? Além disso, se as características correspondentes fossem exclusivamente fenotípicas, ainda seriam gêmeas?

As técnicas estatísticas indicam uma resposta possível. Em vez de simplesmente definirmos um limiar, podemos recorrer ao conceito de banda de confiança. A rigor, a regressão linear é um método estatístico que considera a possibilidade de erro (Erros tipo I e II). Sendo assim, a reta de regressão não é uma linha tão fina como sugere sua representação gráfica mais comum, mas uma banda de confiança, isto é, uma faixa ou intervalo que, com 95% de confiança, inclui o resultado populacional. Essa banda acomoda infinitas combinações de $\log(k)$ e a diferentes. Se a bissetriz (reta que representa a igualação estrita) estiver incluída na banda de confiança, a igualação estrita é um resultado possível.

Sendo assim, em vez de decidir se houve sub-igualação ou não com base na reta de regressão exata (e.g., Klapes, et al., 2020), podemos comparar a igualação estrita com a banda de confiança obtida a partir da regressão. Essa estratégia seria equivalente a tratar a igualação estrita ($\log(k) = 0$ e $a = 1$) como uma hipótese nula. Se a banda de confiança excluir a reta bissetriz, concluímos que a sub-igualação é, de fato, o resultado mais provável.

Além disso, argumentamos em favor do uso de um método similar à regressão linear descrita, mas que considere o uso de delineamentos intrassujeito na produção dos dados. Para tanto, recomendamos o uso de modelos lineares generalizados mistos (GLMM), que permitem ao pesquisador lidar com a dependência existente em

delineamentos de sujeito único, ao mesmo tempo que estende o modelo de regressão a casos nos quais a variável dependente assume distribuições diferentes da normal.

Em resumo, é possível que a quantidade grande de supostos resultados de sub-igualação seja decorrente da análise quantitativa deficiente e não necessariamente um resultado factual. Esse exemplo ressalta a importância de se conhecer e levar em consideração os modelos quantitativos utilizados para a análise dos resultados, que podem impactar as conclusões desses estudos.

Feita essa ressalva, uma forma de preservar a lei da igualação como uma hipótese de trabalho para prever comportamentos e, ao mesmo tempo, conferir sentido aos desvios sistemáticos da Equação 3, seria considerar que a taxa de reforço é percebida de acordo com uma escala subjetiva não-linear (Killeen, 1972), um princípio fundamental da psicofísica. Essa transformação de grandezas físicas em sensações é precisamente a relação descrita pela lei potência de Stevens. Com isso, o parâmetro a , antes considerado sem significado teórico, pode ser entendido como um processo psicológico, mais especificamente, a sensibilidade em contexto de percepção.

Função potência de Stevens

Entre os objetos mais antigos da pesquisa científica em Psicologia estão as sensações, cujo estudo experimental constitui o que é chamado de psicofísica (Fechner, 1948/1860). Investigar o tema da sensação, nesse contexto, significa investigar como os órgãos sensoriais são afetados pela estimulação oriunda do ambiente. A psicofísica investiga a natureza do estímulo por meio de métodos baseados no julgamento de grandezas físicas como, por exemplo, a intensidade de um ponto luminoso (Stevens, 1966). No entanto, essa disciplina, que já foi vista como uma das mais áridas da psicologia experimental (Boring, 1942), vai muito além da tabulação de limiares e menores diferenças perceptíveis. Esses métodos já foram usados em situações nas quais as grandezas físicas não são facilmente medidas, como na valoração estética de caligrafias (Ekman & Künnapas, 1962), preferência musical (Koh, 1965), e até grau de insatisfação política (Welch, 1971).

Um estudo clássico na área investigou a sensação auditiva por meio da estimulação da magnitude de um som (Stevens, 1956). Nesse estudo, o participante sentava-se em frente a dois botões. Um dos botões produzia um som padrão de 80 dB, o outro produzia um som cuja intensidade era sistematicamente manipulada ao longo do experimento, podendo assumir uma dentre nove intensidades com amplitude máxima de 70 dB. O participante era instruído a pressionar primeiramente o botão da esquerda (80 dB) e a considerar que esse som tinha intensidade 10. Em seguida, o participante deveria apertar o botão da direita (intensidade variável) e julgar qual a intensidade do som que era apresentado em seguida. Por exemplo, se o participante percebesse o som como duas vezes mais alto, deveria responder “20”. O que se observou foi que o aumento percebido no som não acompanhava o aumento efetivo na intensidade do estímulo apresentado. Um som mais alto era sempre percebido com maior intensidade, porém, no caso de sons muito intensos, mesmo que o volume do som dobrasse (em decibel), a mudança no volume percebido aumentava mais lentamente, ou seja, a sensação de mudança era menor do que a mudança física.

Os resultados desse e de outros experimentos psicofísicos apontam para uma regularidade em processos de julgamento desse tipo: a sensação é uma função não-linear da intensidade física do estímulo. Esse descompasso entre valor objetivo e valor subjetivo já havia sido detectado por matemáticos e economistas.

O valor subjetivo do dinheiro, por exemplo, pode ser estimado com base em decisões tomadas por participantes em jogos de azar. Nesses casos, compara-se o que seria esperado da decisão economicamente mais racional possível de acordo com uma regra normativa (e.g., a maximização do lucro ou ganho líquido, ou seja, ganho - perda) e o que de fato o participante faz nessas situações. Para as teorias da racionalidade econômica, as decisões que maximizam o lucro levam em conta o lucro médio esperado quando se tem a oportunidade de jogar várias vezes (Rachlin, 1989). Ou seja, as pessoas tomam decisões a respeito de lucro levando em conta a quantidade de dinheiro e a probabilidade desse lucro. Note que, pela teoria do lucro médio esperado (uma teoria normativa de racionalidade econômica), o valor monetário absoluto não sofreria nenhuma “deformação” ou edição psicológica.

Os estudos sobre tomada de decisão em situações de ganhos monetários mostram que as pessoas não levam em conta apenas montante e probabilidade: os resultados são similares àqueles encontrados em estudos de psicofísica, isto é, o estímulo apresentado (e.g., a quantia média de ganhos) tem um valor subjetivo que pode ser diferente do seu valor absoluto. O primeiro a apresentar uma descrição quantitativa desse descompasso entre regra normativa e julgamento envolvendo valores monetários foi Gabriel Cramer, em 1728. À época, Cramer estava interessado no paradoxo de São Petersburgo.

Um jogo de São Petersburgo é um jogo de azar como o “cara ou coroa”. Esse jogo inicia com um montante, digamos, R\$ 2. Então, uma moeda honesta é lançada repetidas vezes. Sempre que o resultado da moeda for cara, o

montante dobra. No entanto, quando o lançamento resultar em coroa, o jogo acaba e o jogador ganha o montante atual. Nesse caso, se o jogador consegue, por exemplo, um resultado de três caras consecutivas, o montante será de R\$ 16. Dadas essas condições, quanto o jogador estaria disposto a pagar para participar de um jogo de São Petersburgo?

Como discutido por Bernardy et al. (2023), uma sequência composta somente por caras é tão provável quanto qualquer outra sequência específica, seja ela bagunçada, alternada, com poucas ou muitas repetições. Isso ocorre porque os sorteios são independentes entre si. Por outro lado, quando a continuidade dos lançamentos é condicionada ao resultado anterior, sequências com menos lançamentos da moeda se tornam mais prováveis do que sequências com mais lançamentos (um maior número de sorteios antes de encerrar o jogo). No entanto, no jogo de São Petersburgo, o ganho monetário dobra a cada rodada, de forma que o montante “compensa” a baixa probabilidade de sequências longas. Como resultado, segundo Daniel Bernoulli, em 1738, o jogo de São Petersburgo oferece a possibilidade de ganho infinito (Bernoulli, 1738). No entanto, a maioria das pessoas pagaria uma pequena quantia de dinheiro pela oportunidade de jogá-lo. Segundo Gabriel Cramer, em 1728, esse comportamento economicamente irracional poderia ser explicado pelo fato de que o valor subjetivo (percebido) do dinheiro não corresponde ao seu valor econômico. Na verdade, Cramer argumenta que o valor subjetivo é igual à raiz quadrada do valor econômico, o que reduziria drasticamente o valor do ganho potencial em um jogo de São Petersburgo.

Essa solução, que mais tarde veio a ser chamada de teoria da utilidade econômica, descreve uma relação não linear entre o valor percebido e o valor econômico do dinheiro:

$$U = kV^{0.5} \quad (5)$$

Na Equação 5, U corresponde ao valor moral (utilidade) proposto por Cramer, enquanto V corresponde ao valor em unidade monetária. O parâmetro k é um fator de escala e o expoente 0,5 é a potência da função de utilidade que permite obter uma solução para o paradoxo de São Petersburgo. Em termos psicológicos, o expoente constante de Cramer representaria a sensibilidade dos indivíduos a valores monetários: a mudança na percepção subjetiva do dinheiro, portanto, tem o formato de uma curva que cresce a taxas decrescentes (i.e., o aumento da utilidade é cada vez menor para cada unidade monetária adicional).

A teoria da utilidade econômica, portanto, é uma nova regra normativa em relação à da quantia média esperada. A utilidade considera em sua previsão das decisões um caráter psicológico, levando em conta o valor subjetivo do ganho. Outras possibilidades de regras normativas têm sido propostas desde então, como a teoria dos prospectos cumulativa (Tversky & Kahneman, 1992) ou mesmo as teorias da escolha, que podem ser compatíveis e complementares às demais (Rachlin, 1989). Ao longo dos anos, descobriu-se que essa função da utilidade econômica não descreve somente o valor subjetivo de quantias de dinheiro, mas pode representar um aspecto mais geral do comportamento humano. A relação entre sensações e grandezas físicas também pode ser descrita pela mesma função (Stevens, 1965). Essa lei, conhecida como a lei potência de Stevens, é uma das mais ubíquas em Psicologia e descreve como a intensidade percebida do estímulo se iguala a sua intensidade física elevada a um expoente.

$$\Psi = k\Phi^s \quad (6)$$

Na Equação 6, Ψ representa a intensidade percebida (subjetiva) da intensidade física do estímulo (Φ), k é um fator de escala e s representa a sensibilidade, que varia de acordo com a grandeza física em questão (e.g., som, luz, valores monetários etc.).

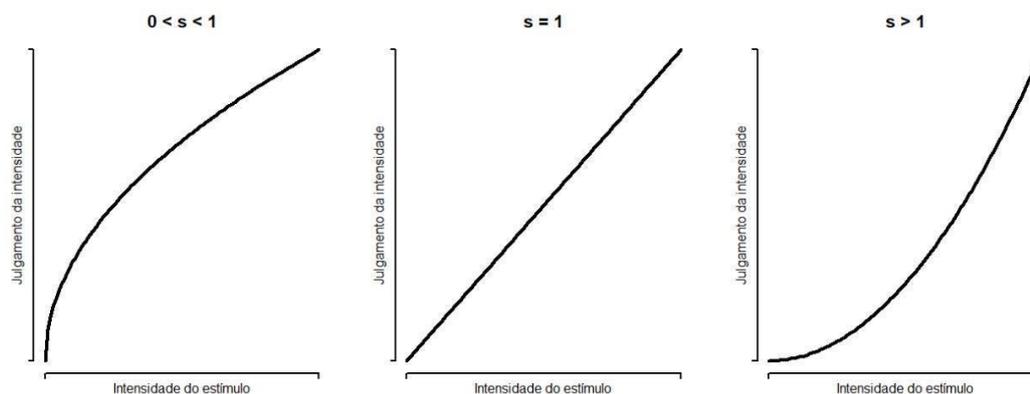
A função potência de Stevens é robusta ao ponto de ser considerada uma lei. Sendo assim, não há qualquer motivo para supor de antemão que variações na taxa de alimento seriam percebidas de maneira linear por quaisquer organismos. Por conseguinte, supor a ocorrência da igualação perfeita é um contrassenso, pois desconsidera conhecimentos bem estabelecidos em outras áreas da psicologia experimental. Adiante, veremos como a função potência de Stevens aplicada ao cálculo do valor subjetivo do reforço confere sentido psicológico à lei da igualação generalizada.

Sensibilidade

A paridade entre as Equações 5 e 6 mostra como um processo psicológico pode contribuir para a explicação da não racionalidade econômica apontada por Cramer, sendo que a sensibilidade é o parâmetro crítico, pois controla a curvatura da função potência. Observe na Figura 2 os efeitos da manipulação do expoente s .

Figura 2

Efeitos dos diferentes valores de s sobre a percepção relatada da intensidade



No caso da percepção de quantidade de dinheiro, Cramer sugere que s seja igual a 0,5. Valores de s como esse, entre zero (exclusive) e um (exclusive), produzem funções crescentes a taxas decrescentes. Como consequência, assumindo $k=1$, a diferença percebida entre R\$ 0 e R\$ 50 é, aproximadamente, 7,07 unidades de utilidade. No entanto, a diferença entre R\$ 50 e R\$ 100 é, aproximadamente, 2,93 unidades de utilidade, mesmo que a diferença em dinheiro seja de R\$ 50 nos dois casos.

Uma consequência dessa sensibilidade a valores monetários é que a diferença absoluta é percebida mais intensamente quando as quantias absolutas são menores. O mesmo ocorre com outras grandezas como, por exemplo, estímulos luminosos e sonoros. A sensibilidade a esses estímulos é de 0,33 e 0,67, respectivamente (Luce & Krumbhansl, 1988). Nesses casos, o expoente está entre zero e um, de modo que a sensibilidade a tais estímulos ameniza a percepção das variações à medida que a intensidade absoluta dos estímulos vai aumentando. Porém, existem outros casos nos quais a sensibilidade amplia essa percepção, como a sensibilidade ao choque elétrico, cujo expoente é maior que um (Sternbach & Tursky, 1964). Sendo assim, tem-se uma função crescente a taxas crescentes (vide a Figura 2). Como consequência, a diferença percebida cresce mais rapidamente do que as diferenças absolutas na intensidade do choque elétrico.

Embora existam outras equações plausíveis para descrever esse fenômeno e variações a depender do método de estimação usado (Stevens & Marks, 1965), a lei potência de Stevens se destaca por sua simplicidade, o que, conforme já discutido, é algo desejável em modelos. Além disso, ela é compatível com uma interpretação evolucionista das sensações (Varshney & Sun, 2013), afinal, faz sentido que a sensibilidade aos ganhos seja maior quando há poucos recursos disponíveis (i.e., $0 < s < 1$) e que a sensibilidade a estímulos nocivos seja não apenas maior como também crescente (i.e., $s > 1$), fazendo com que esses estímulos sejam mais facilmente percebidos em tais casos.

Um caso limite é a sensibilidade perfeita, no qual o expoente se unitário (igual a um). Nesse caso, a lei potência é uma reta (vide a Figura 2) e mudanças na intensidade do estímulo são percebidas na mesma intensidade em que ocorrem no ambiente físico. Essa sensibilidade perfeita pode parecer inverossímil diante dos achados psicofísicos. No entanto, ela estava implícita na suposição de que a lei da igualação é esperada, e que desvios são falhas de controle experimental.

Escolha e psicofísica conciliadas

Conforme discutimos, a não conformidade dos dados à lei da igualação estrita foi comumente tratada como um problema de controle experimental. Pode-se acomodar (mas não explicar) resultados desviantes adicionando parâmetros livres à lei da igualação, tornando-a uma lei generalizada (Baum, 1974). No entanto, a função potência de Stevens pode conferir significado a esses desvios, hipótese já levantada na literatura sobre escolha (e.g., Baum, 1979; Davison & Tustin, 1978). Levando-se em conta a teoria psicofísica, esses desvios não precisam ser entendidos como falhas no controle experimental, mas sim como um resultado esperado, se considerarmos a sensibilidade às variações na taxa de reforço. Assim como a percepção de intensidade de choque ou na intensidade de um estímulo luminoso, a percepção de mudanças na taxa de reforço pode também ser julgada de acordo com uma função potência, cuja curvatura é controlada pelo expoente, ou seja, pela sensibilidade ao estímulo.

A função potência de Stevens confere significado psicológico aos parâmetros da Equação 3 da lei da igualação, em especial o parâmetro a , que pode ser equiparado à sensibilidade, representado por s na Equação 6. O argumento de que a sensibilidade regula o comportamento de escolha também tem consistência metodológica, uma vez que os próprios métodos psicofísicos envolvem igualação entre grandezas físicas e grandezas percebidas (Stevens, 1966). Em alguns experimentos, os participantes igualam a intensidade do estímulo percebido a uma escala intervalar (Stevens & Galanter, 1957); em outros, solicita-se que os participantes regulem a intensidade de um estímulo até que corresponda à intensidade de um estímulo de outra natureza, por exemplo, som e luz. Esse procedimento é conhecido como igualação ou pareamento *crossmodal* (e.g., Stevens & Marks, 1965). Essa tarefa é similar à igualação em esquemas concorrentes, uma vez que é requerido que o participante, ao longo de diferentes pares de esquemas, iguale seu esforço relativo à razão dos ganhos.

Eventuais diferenças entre essas áreas de investigação podem ser sustentadas por um posicionamento clássico de distinção teórica feita entre a pesquisa sobre julgamento e a pesquisa sobre escolha (Rachlin, 1989). Entretanto, havendo uma paridade entre sensibilidade e o parâmetro a na lei da igualação, a distinção teórica entre as áreas pode ser muito mais um artefato do que uma diferença real entre esses fenômenos psicológicos. O diálogo sobre essas diferenças, em geral, encerra quando são destacadas diferenças epistemológicas e conceituais, por exemplo, na clássica distinção entre behaviorismo radical e metodológico (e.g., Skinner, 1945) ou então entre behaviorismo e psicologia cognitiva (e.g., Skinner, 1990). No entanto, a superação dessa diferença passa pela inspeção dos métodos historicamente empregados nas diferentes áreas, incluindo o domínio de métodos quantitativos, uma vez que esses estabelecem um diálogo comparativo preciso, direto e ao mesmo tempo livre de jargões (Rachlin, 1989).

Um exemplo de como análises quantitativas facilitam o diálogo é a própria paridade matemática entre a lei potência de Stevens e a lei generalizada da igualação, que mostraremos a seguir. O valor subjetivo de uma taxa de reforço pode ser inferido pela própria taxa de respostas observada. Considerando-se a Equação 6, poderíamos estimar a sensibilidade ao reforço por meio da Equação 7:

$$v_1 = k_1 R_1^s \quad (7)$$

Sendo v_0 o valor subjetivo da taxa de reforço R , multiplicada pelo fator de escala k e elevado à sensibilidade s . Por conseguinte, a razão dos valores subjetivos de cada uma das duas alternativas em um esquema concorrente é dada pela Equação 8:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{k_1 R_1^s}{k_2 R_2^s} = k \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^s \quad (8)$$

Assumindo que a razão entre k_1 e k_2 é constante (igual a k), a Equação 8 pode ser reescrita como a Equação 3, que é a própria lei generalizada da igualação, conforme discutida anteriormente e representada na Figura 1. No entanto, para que o expoente s seja o mesmo para as taxas de reforço R_1 e R_2 , é necessário assumir que mudanças na taxa de reforço são igualmente percebidas para ambas as alternativas que compõem o esquema concorrente. Em experimentos nos quais o reforçador é o mesmo para ambas as alternativas, essa suposição é plausível. Contudo, em situações de escolha envolvendo reforçadores qualitativamente diferentes, as diferentes sensibilidades devem ser estimadas (Rachlin, 1971). A princípio, dentre os dois parâmetros apresentados (k e a), o presente trabalho focou o expoente e seu significado teórico (sensibilidade). Esse paralelo poderia ser feito também em relação ao viés (parâmetro k). Seria possível, ainda, estender esse diálogo a outras áreas (e.g., à teoria da escolha econômica). Um exemplo dessa extensão é o estudo de Rachlin et al. (1976). Nesse estudo, os autores expuseram dois ratos a esquemas concorrentes com reforçadores qualitativamente diferentes: uma versão sem álcool do drinque Tom Collins; e *root beer*, uma bebida não alcoólica à base de sassafrás. Ao longo de diferentes condições, os autores manipularam o tamanho dos esquemas programados para cada um dos reforçadores. Observando a alocação de tempo gasto pelos ratos em cada uma das alternativas para cada par de esquemas, Rachlin et al. foram capazes de construir uma função de utilidade, isto é, um modelo que descreve o valor subjetivo dos reforçadores em função de seus preços (exigência implícita no tamanho do esquema) e de suas diferenças qualitativas. Em seguida, essa função de utilidade foi usada para prever a alocação do comportamento dos animais em um novo par de esquemas com os mesmos reforçadores. Os resultados de Rachlin et al. (1976) mostram, portanto, o valor preditivo desse modelo matemático e, para além disso,

um valor teórico, pois sugerem que, naquele contexto experimental, o expoente da função de utilidade representa a substitutibilidade entre os pares de reforçadores envolvidos.

Em situações de escolha envolvendo reforçadores qualitativamente diferentes, por exemplo, suco de laranja e suco de uva (Rachlin, 1971), há um grau de substitutibilidade inerente ao par de reforçadores. Supondo que os organismos sejam maximizadores de utilidade (i.e., valor subjetivo) há diversas proporções de suco de laranja e suco de uva que manteriam constante a utilidade do montante de reforçadores. Imagine, por exemplo, um organismo que possui 1 L de cada um dos sabores de suco. Se 100 ml de suco de laranja são removidos da mistura, quanto de suco de uva deve ser adicionado para que o valor subjetivo da nova mistura seja o mesmo? Essa resposta depende do valor de s .

Se em vez de dois sabores de suco analisássemos, por exemplo, água e alimento, teríamos uma situação na qual um não pode substituir o outro, dado que ambos são necessários para a sobrevivência. Nesse caso, uma quantidade maior de alimento não teria necessariamente maior valor do que uma quantidade menor de alimento que viesse acompanhada também de alguma quantidade de água. Isso significaria dizer que numa situação de escolha entre uma alternativa que paga água e uma alternativa que paga alimento esperar-se-ia uma divisão das respostas em função da quantidade ideal dessa mistura, e não apenas em função da maximização total da taxa de reforços. Isso poderia levar a uma distribuição desigual entre as opções, mesmo com esquemas de reforçamento iguais. A previsão do viés em termos de utilidade requer o uso de técnicas de modelagem microeconômica de comportamento do consumidor, de modo que essa análise poderá ser melhor explorada em um trabalho futuro.

Os paralelos possíveis entre escolha, psicofísica e microeconomia ilustram a riqueza de contribuições baseadas em métodos quantitativos, isso porque esses métodos permitem a comparação entre áreas. O desenrolar histórico das áreas aqui apresentadas mostra como a relação entre elas a partir desses modelos quantitativos permite o surgimento de novas perguntas a serem respondidas experimentalmente. Além disso, a inclusão de parâmetros nos modelos pode contabilizar variáveis que antes eram consideradas intervenientes, o que permite que essas variáveis também sejam levadas em consideração no planejamento de novos experimentos, inclusive sendo tomadas como variáveis dependentes. Essa é uma das contribuições da utilização desses modelos no fazer científico: a de servir de parâmetro comparativo, isto é, uma regra normativa que serve justamente para ser questionada experimentalmente, e guia a realização de experimentos que podem contribuir com a formulação de normas mais precisas.

Conclusão

Assim como os modelos experimentais, os modelos matemáticos também servem para investigar quais efeitos podem ser esperados a partir da manipulação de algumas das variáveis contidas no modelo, quando todas as outras variáveis são mantidas constantes. E, sobretudo, servem também de guia para novos estudos ao formularem regras a partir de suas observações e conclusões. A ideia de “análise funcional”, que assumiu diferentes significados em análise do comportamento, originalmente significa descrever a forma (no sentido gráfico) de uma relação entre duas variáveis, uma dependente e outra independente. Essa relação é uma abstração dos dados, podendo inclusive ter valor preditivo. Com uma análise quantitativa do comportamento, falar em uma análise “funcional” obriga o resgate do sentido original de função, a descrição da relação entre as variáveis de um modelo quantitativo.

Mais ainda, análises quantitativas também podem favorecer o estabelecimento de um diálogo entre áreas vistas como incompatíveis quando se leva em conta apenas suas diferenças epistemológicas. Um exemplo paradigmático é o embate entre as visões cognitiva e behaviorista sobre causas do comportamento, visões que historicamente diferem radicalmente (Rachlin, 1989). O estabelecimento de diálogo entre abordagens com pressupostos filosóficos diferente requer compreensão de suas diferenças metodológicas e teóricas, mas também, habilidades quantitativas (matemática, estatística e computação) que permitam ao pesquisador entender e apreciar os modelos matemáticos discutidos na literatura para, posteriormente, compará-los, testá-los e possivelmente elaborar novas sínteses.

Este trabalho oferece uma breve introdução à análise quantitativa do comportamento, mais especificamente, à lei da igualação e à função potência de Stevens. Revisitando clássicos da área, abordamos os conceitos de sub-igualação e sensibilidade, destacando a possibilidade, já apontada na literatura, de que a sub-igualação não seria propriamente um “erro”, mas sim uma evidência de que o valor subjetivo das taxas de reforço está em acordo com as leis de percepção produzidas pela psicofísica, descritas na função potência de Stevens (Anderson, 1978; Baum, 1979; Davison & Tustin, 1978).

Além disso, os paralelos entre as áreas apontadas só foram possíveis devido à quantificação da análise do comportamento de escolha. Sendo assim, embora a modelagem matemática tenha limitações importantes (veja Skinner, 1959; veja também Catania, 2012), métodos quantitativos são um complemento essencial às análises experimentais. Modelos matemáticos não são apenas acessórios, mas fazem parte da construção de teorias, podendo ser catalisadores do diálogo entre áreas historicamente distintas.

Finalmente, espera-se que este texto sirva de inspiração para que questões ainda pendentes, nessas e outras áreas da análise quantitativa do comportamento, possam ser retomadas por estudantes de análise experimental do comportamento. Para tanto, é importante que esses sejam iniciados no método quantitativo, incluindo, mas não limitando-se à construção de modelos matemáticos. A partir daí, os novos pesquisadores poderão retornar ao laboratório em condições de confrontar a teoria com os dados.

Questões de estudo

- 1) Responda Verdadeiro ou Falso para as afirmações a seguir e justifique aquelas que considerar falsas:
 - a) () Os modelos quantitativos são perigosos, pois enfatizam aspectos “irreais” e “abstratos” do fenômeno que se quer estudar;
 - b) () O uso de modelos quantitativos pode substituir a realização de experimentos empíricos, pois são mais precisos e têm maior poder de previsão;
 - c) () Abordagens psicológicas como as teorias cognitivas e behavioristas podem encontrar uma conciliação quando utilizam os mesmos métodos de análise de dados;
 - d) () Os resultados empíricos que se desviam da lei da igualação estrita derivam de aspectos subjetivos que não podem ser quantificados;
 - e) () Os parâmetros livres de um modelo são formas de quantificar variáveis intervenientes de um experimento.

2) Como se obtém uma medida de taxa relativa do comportamento? Qual a contribuição dessa medida em relação a uma medida absoluta?

3) Descreva a lei da igualação. Essa lei é uma causa ou uma descrição da relação entre comportamento (alocação) e taxa de reforço? Discuta sua resposta tendo em vista as críticas de Skinner a modelos quantitativos do comportamento.

4) Quais as consequências da transformação logarítmica dos dados em análises de igualação generalizada?

5) Em que sentido a literatura psicofísica ajuda a entender como a sub-igualação pode ser resultado de um fenômeno perceptual?

6) Qual a relação apontada no texto entre a sub-igualação e a sensibilidade?

7) O que seria sensibilidade perfeita? É razoável esperar essa condição em experimentos empíricos?

8) Retome seus conhecimentos sobre a história do behaviorismo e as diferenças que a literatura tem mostrado entre o behaviorismo metodológico e o behaviorismo radical. Você sabia que S. S. Stevens é um dos autores que Skinner inclui entre os behavioristas metodológicos? Com base nessa discussão, qual sua conclusão sobre o papel da ciência básica e das análises quantitativas na síntese de ideias em Psicologia?

Respostas da Questão 1: F, F, V, F, V.

Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram que não há conflito de interesses relativos à publicação deste artigo.

Contribuição de cada autor

A contribuição de cada autor pode ser atribuída como se segue: o estudo foi construído coletivamente, todos contribuíram. J. Santiago teve o trabalho de redação final e revisão do material, de forma que assumiu a autoria principal.

Direitos Autorais

Este é um artigo aberto e pode ser reproduzido livremente, distribuído, transmitido ou modificado, por qualquer pessoa, desde que usado sem fins comerciais. O trabalho é disponibilizado sob a licença Creative Commons 4.0 BY-NC.



Referências

- Anderson, N. H. (1978). Measurement of motivation and incentive. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 10(3), 360-375. <https://doi.org/10.3758/BF03205156>
- Baum, W. M. (1974). On two types of deviation from the matching law: Bias and undermatching. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 22(1), 231-242. <https://doi.org/10.1901/jeab.1974.22-231>

- Baum, W. M. (1979). Matching, undermatching, and overmatching in studies of choice. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *32*(2), 269-281. <https://doi.org/10.1901/jeab.1979.32-269>
- Baum, W. M. (2012). Mathematics and theory in behavior analysis: Remarks on Catania (1981), "The flight from experimental analysis". *European Journal of Behavior Analysis*, *13*(2), 177-179. <https://doi.org/10.1080/15021149.2012.11434417>
- Baum, W. M., & Grace, R. C. (2020). Matching theory and induction explain operant performance. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *113*(2), 390-418. <https://doi.org/10.1002/jeab.583>
- Baum, W. M., & Rachlin, H. C. (1969). Choice as time allocation. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior* *12*(6), 861-874. <https://doi.org/10.1901/jeab.1969.12-861>
- Bernardy, J. L., Santiago, J. B., Siqueira, J. O., Silveira, P. S. P., de Souza, A., & Benvenuti, M. F. (2023). Rachlin's extended self: Influences on a Brazilian research group. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *119*(1), 231-239. <https://doi.org/10.1002/jeab.809>
- Bernoulli, D. (1738). Specimen Theoriae Novae de Mensura Sortis. *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, *5*, 175-192.
- Boring, E. G. (1942). *Sensation and perception in the history of experimental psychology*. Appleton-Century-Crofts.
- Catania, A. C. (2012). Discussion: The flight from experimental analysis. *European Journal of Behavior Analysis*, *13*(2), 165-176. <https://doi.org/10.1080/15021149.2012.11434416>
- Cramer, G. (1728). Letter to N. Bernoulli. Specimen Theoriae Novae de Mensura Sortis. *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitane*, *22*(1), 175-92.
- Davison, M. C., & Tustin, R. D. (1978). The relation between the generalized matching law and signal-detection theory. *Journal of the experimental analysis of behavior*, *29*(2), 331-336. <https://doi.org/10.1901%2Fjeab.1978.29-331>
- Ekman, G., & Künnapas, T. (1962). Measurement of aesthetic value by 'direct' and 'indirect' methods. *Scandinavian Journal of Psychology*, *3*(1), 33-39. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.1962.tb01247.x>
- Fantino, E., Squires, N., Delbrück, N., & Peterson, C. (1972). Choice behavior and the accessibility of the reinforcer. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *18*(1), 35-43. <https://doi.org/10.1901/jeab.1972.18-35>
- Fechner, G. T. (1860). *Elemente der psychophysik* (Vol. 2). Breitkopf u. Härtel.
- Gallistel, C. R., Fairhurst, S., & Balsam, P. (2004). The learning curve: Implications of a quantitative analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(36), 13124-13131. <https://doi.org/10.1073/pnas.0404965101>
- Guattari, F., & Deleuze, G. (1992). *O que é a Filosofia*. Editora 34.
- Herrnstein, R. J. (1961). Relative and absolute strength of response as a function of frequency of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *4*(3), 267-272. <https://doi.org/10.1901/jeab.1961.4-267>
- Herrnstein, R. J. (1970). On the law of effect. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *13*(2), 243-266. <https://doi.org/10.1901/jeab.1970.13-243>
- Herrnstein, R. J., Rachlin, H., & Laibson, D. I. (1997). *The matching law: Papers in psychology and economics*. Cambridge, MA.
- Kagel, J. H., Battalio, R. C., & Green, L. (1995). *Economic choice theory: An experimental analysis of animal behavior*. Cambridge University Press.
- Kahneman, D., Slovic, S. P., Slovic, P., & Tversky, A. (1982). *Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*. Cambridge University Press.
- Killeen, P. (1972). The matching law. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *17*(3), 489-495. <https://doi.org/10.1901/jeab.1972.17-489>.
- Killeen, P. (2012). Scientific stenography: Short-hand or short-shrift? *European Journal of Behavior Analysis*, *13*(2), 215-216. <https://doi.org/10.1080/15021149.2012.11434426>
- Klapes, B., Calvin, O. L., & McDowell, J. J. (2020). A discriminated rapid-acquisition laboratory procedure for human continuous choice. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *114*(1), 142-159. <https://doi.org/10.1002/jeab.612>
- Koh, S. D. (1965). Scaling musical preferences. *Journal of Experimental Psychology*, *70*(1), 79-82. <https://doi.org/10.1037/h0022102>
- Luce, R. D., & Krumhansl, C. L. (1988). Measurement, scaling, and psychophysics. In R. C. Atkinson, R. J. Herrnstein, G. Lindzey & R. D. Luce (Eds.), *Steven's Handbook of experimental psychology: Learning and cognition* (1st ed, pp. 3-74). Wiley. https://www.imbs.uci.edu/files/personnel/luce/pre1990/1988/Luce-Krumhansl_Book_Chapter_1988.pdf

- Meneses, T. C., Portella, B. S., & Benvenuti, M. F. (2021). Análise quantitativa do comportamento: Possíveis interfaces entre Psicologia e Economia no estudo de tomada de decisões. *Revista Brasileira de Terapia Comportamental e Cognitiva* 23, 1-19. <https://doi.org/10.31505/rbtcc.v23i1.1518>
- Murre J. M. J., & Dros J. (2015). Replication and analysis of Ebbinghaus' forgetting curve. *PLoS ONE*, 10(7), e0120644. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120644>
- Popper, K. R. (1963). Science as falsification. *Conjectures and refutations*, 1, 33-39. [https://curiousphilosophy.net/2023/09/is-sex-binary--a-reasoned-objection-to-rationality-rules-in-the-pursuit-of-truth/uploads/pdfs/Science as Falsification Karl R Popper.pdf](https://curiousphilosophy.net/2023/09/is-sex-binary--a-reasoned-objection-to-rationality-rules-in-the-pursuit-of-truth/uploads/pdfs/Science%20as%20Falsification%20Karl%20R%20Popper.pdf)
- Rachlin, H. (1971). On the tautology of the matching law. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 15(2), 249-251. <https://doi.org/10.1901/jeab.1971.15-249>
- Rachlin, H. (1978). A molar theory of reinforcement schedules. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 30(3), 345-360. <https://doi.org/10.1901/jeab.1978.30-345>
- Rachlin, H. (1989). *Judgment, decision, and choice: A cognitive/behavioral synthesis*. W. H. Freeman.
- Rachlin, H. (2004). *The science of self-control*. Harvard University Press. <https://doi.org/doi:10.4159/9780674042513>
- Rachlin, H., & Green, L. (1972). Commitment, choice and self-control. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 17(1), 15-22. <https://doi.org/10.1901/jeab.1972.17-15>
- Rachlin, H., Green, L., Kagel, J. H., & Battalio, R. C. (1976). Economic demand theory and psychological studies of choice. In G. H. Bower (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol. 10, pp. 129-154). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60466-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60466-1)
- Shull, R. L. (1991). Mathematical description of operant behavior: An introduction. In I. H. Iversen & K. A. Lattal (Eds.), *Techniques in the behavioral and neural sciences* (Vol. 6, pp. 243-282). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-81251-3.50014-X>
- Silveira, P. S. P., Siqueira, J. O., Bernardy, J. L., Santiago, J., Meneses, T. C., Portela, B. S., & Benvenuti, M. F. (2023). Modeling VI and VDRL feedback functions: Searching normative rules through computational simulation. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 119(2), 324-336. <https://doi.org/10.1002/jeab.826>
- Simonassi, L. E., & Pedroso, R. (2009). Para você não ter medo de números: O uso do modelo matemático da lei da igualação. *Psicologia IESB*, 1, 34-45.
- Skinner, B. F. (1938). *The behavior of organisms*. Appleton-Century-Crofts.
- Skinner, B. F. (1945). The operational analysis of psychological terms. *Psychological Review*, 52(5), 270-277. <https://doi.org/10.1037/h0062535>
- Skinner, B. F. (1950). Are theories of learning necessary? *Psychological Review*, 57(4), 193-216. <https://doi.org/10.1037/h0054367>
- Skinner, B. F. (1956). A case history in scientific method. *American Psychologist*, 11(5), 221-233. <https://doi.org/10.1037/h0047662>
- Skinner, B. F. (1959). The flight from the laboratory. *Cumulative Record* (pp. 242-257). Appleton-Century-Crofts.
- Skinner, B. F. (1990). Can psychology be a science of mind? *American Psychologist*, 45(11), 1206-1210. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.45.11.1206>
- Sternbach, R. A., & Tursky, B. (1964). On the psychophysical power function in electric shock. *Psychonomic Science*, 1(1-12), 217-218. <https://doi.org/10.3758/bf03342875>
- Stevens, S. S. (1956). The direct estimation of sensory magnitudes: Loudness. *The American journal of psychology*, 69(1), 1-25. <https://doi.org/10.2307/1418112>
- Stevens, S. S. (1957). On the psychophysical law. *Psychological Review* 64(3), 153-181. <https://doi.org/10.1037/h0046162>
- Stevens, S. S. (1966). On the operation known as judgment. *American Scientist*, 54(4), 385-401. <http://www.jstor.org/stable/27836588>
- Stevens, S. S. (1975). *Psychophysics: Introduction to its perceptual, neural, and social prospects*. Wiley.
- Stevens, J. C., & Marks, L. E. (1965). Cross-modality matching of brightness and loudness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 54(2), 407-411. <https://doi.org/10.1073/pnas.54.2.407>
- Stevens, S. S., & Galanter, E. H. (1957). Ratio scales and category scales for a dozen perceptual continua. *Journal of Experimental Psychology*, 54(6), 377-411. <https://doi.org/10.1037/h0043680>
- Todorov, J. C. (1971). Concurrent performances: Effect of punishment contingent on the switching response. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 16(1), 51-62. <https://doi.org/10.1901/jeab.1971.16-51>
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5(4), 297-323. <https://doi.org/10.1007/BF00122574>

- Varshney, L. R., & Sun, J. Z. (2013). Why do we perceive logarithmically? *Significance*, *10*(1), 28-31. <https://doi.org/10.1111/j.1740-9713.2013.00636.x>
- Wearden, J. H., & Burgess, I. S. (1982). Matching since Baum (1979). *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *38*(3), 339-348. <https://doi.org/10.1901/jeab.1982.38-339>
- Welch, R. E. (1971). The use of magnitude estimation in attitude scaling: Constructing a measure of political dissatisfaction. *Social Science Quarterly*, *52*(1), 76-87. <http://www.jstor.org/stable/42860059>
- William, B. M. (1979). Matching, undermatching, and overmatching in studies of choice. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *32*(2), 269-281. <https://doi.org/10.1901/jeab.1979.32-269>

Submetido em: 31/03/2023

Aceito em: 24/12/2023