

Universidade Federal de Juiz de Fora
Pós-Graduação em Ciências Biológicas
Mestrado em Comportamento e Biologia Animal

Estêvão Gonçalves Bittar

**MODELAGEM MATEMÁTICA DA DINÂMICA
MOTIVACIONAL INTRA-SESSÃO**

Juiz de Fora
2012

Estêvão Gonçalves Bittar

MODELAGEM MATEMÁTICA DA DINÂMICA MOTIVACIONAL INTRA-SESSÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Área de Concentração “Comportamento e Biologia Animal”, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Del-Claro

Juiz de Fora
2012

Bittar, Estêvão Gonçalves.

Modelagem Matemática da Dinâmica Motivacional Intra-Sessão /
Estêvão Gonçalves Bittar. – 2012.
39 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Comportamento e Biologia Animal)—
Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

1. Comportamento animal. I. Título.

CDU 591.51

Estêvão Gonçalves Bittar

MODELAGEM MATEMÁTICA DA DINÂMICA MOTIVACIONAL INTRA-SESSÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Área de Concentração “Comportamento e Biologia Animal”, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

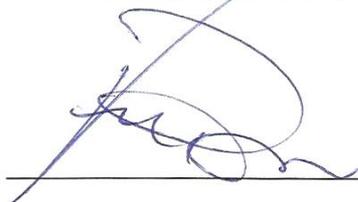
Aprovada em 24 de Fevereiro de 2012.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Kleber Del-Claro (Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª. Dra. Juliane Floriano Lopes Santos
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Vanner Boere Souza
Universidade Federal de Viçosa

Para meus pais, com amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, ao Prof. Dr. Kleber Del-Claro. Seu empenho constante em criar oportunidades para novos pesquisadores faz dele uma fonte vigorosa de motivação, encorajamento e inspiração.

Sou grato também aos senhores Davi e Eliseu, ambos da empresa *Insight Ltda.* Sensíveis e receptivos, eles me doaram, em Abril de 2006, uma câmara operante completa. Com essa câmara eu pude montar, em espaço cedido pelo Dr. José Roberto Mineo, um pequeno laboratório de análise do comportamento. A gentileza dessas pessoas foi o único caminho através do qual pude entrar em contato com a pesquisa comportamental em meus anos de graduação no Instituto de Psicologia da UFU.

Meus agradecimentos a todos os professores e servidores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da UFJF. Sou grato por toda a atenção que dedicaram a mim nos últimos dois anos.

Agradeço o apoio sólido de minha família. Tenho pais e irmãos cuja descrição das virtudes ocuparia mais páginas do que seria aceitável. O apoio de cada um deles foi imprescindível para que eu pudesse chegar até aqui. No que concerne ao desenvolvimento deste trabalho, porém, agradeço especialmente ao Lucas Bittar e ao Gustavo Gonçalves. Lucas é um interlocutor brilhante, e me ajudou a pensar este estudo com a minúcia e o rigor requeridos pelo tema. Gustavo foi um companheiro inseparável em cada uma das etapas que cumpri para chegar até aqui.

Por todo o suporte, paciência e colaboração, deixo também à Michelle Silva um carinhoso “muito obrigado”.

O engenheiro que constrói uma ponte com sucesso deve ter mais que uma impressão casual da natureza de seus materiais, e tempo virá em que será preciso admitir que não é possível resolver problemas importantes nos assuntos humanos com uma “filosofia geral do comportamento humano”.

B. F. SKINNER

RESUMO

A taxa de resposta sofre variações ao longo de uma sessão experimental livre-operante típica. Essas variações são ordenadas, e confiavelmente demonstradas com sujeitos de diferentes espécies, respondendo sob diferentes condições experimentais. Killeen (1995) postulou que as variações na taxa de resposta são uma função da interação entre excitação e saciação, e ofereceu um modelo matemático para essa hipótese. O presente estudo analisa o modelo de Killeen, demonstrando que, embora sólido em seus princípios, ele apresenta algumas falhas em sua implementação. Posteriormente, baseado nos mesmos princípios, é desenvolvido e testado um novo modelo da dinâmica motivacional intra-sessão. Também é demonstrado que, representando a excitação como uma variável com valores entre 0 e 1, é possível obter um modelo surpreendentemente simples da taxa de emissão de um livre-operante.

Palavras-chave: Motivação, taxa de resposta, excitação, saciação, modelos.

ABSTRACT

Operant response rate changes within the course of a typical free-operant experimental session. These changes are orderly, and reliably demonstrated with subjects from different species, responding under different experimental conditions. Killeen (1995) postulated that the response rate changes are a function of the interplay between arousal and satiation, and offered a mathematical model for this hypothesis. The present study analyzes Killeen's model, demonstrating that, although solid in its principles, it presents some flaws in its implementation. Then, based on the same principles, a new model of within-session motivational dynamics is built and tested. It is also demonstrated that, by representing arousal as a variable that ranges between 0 and 1, it's possible to obtain a surprisingly simple model of free-operant response rate.

Keywords: Motivation, response rate, arousal, satiation, models.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----------|--|----|
| Figura 1 | Modelos de excitação | 15 |
| Figura 2 | Taxas de resposta intra-sessão de ratos respondendo em diferentes esquemas VI. | 27 |
| Figura 3 | Taxas de resposta intra-sessão de ratos respondendo em diferentes esquemas VI no experimento de McSweeney (1992). | 28 |
| Figura 4 | Taxas de resposta intra-sessão de ratos em diferentes condições do experimento de Melville et al. (1996). | 29 |
| Figura 5 | Estimativas do parâmetro k em função da força requerida para operar a alavanca em Melville et al. (1996). | 30 |
| Figura 6 | Taxas de resposta intra-sessão de pombos respondendo por reforçadores cuja duração variava entre condições. | 32 |
| Figura 7 | Estimativas do parâmetro Q em função da magnitude do reforçador em Cannon & McSweeney (1995). | 32 |
| Figura 8 | Estimativas do parâmetro β em função da magnitude do reforçador em Cannon & McSweeney (1995). | 33 |
| Figura 9 | Taxas de resposta intra-sessão de ratos de grande capacidade (LC) e pequena capacidade (SC) respondendo por reforçadores cuja duração variava entre condições. | 34 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|--|----|
| Tabela 1 | Parâmetros e variáveis da Equação 13, suas interpretações e dimensões. | 23 |
| Tabela 2 | Estimativas de parâmetros da Equação 13 quando aplicada aos dados de Bittar (2010) e McSweeney (1992). | 27 |
| Tabela 3 | Estimativas de parâmetros da Equação 13 quando aplicada aos dados de Melville, Rybiski & Kamrani (1996). | 30 |
| Tabela 4 | Estimativas de parâmetros da Equação 13 quando aplicada aos dados de Cannon & McSweeney (1995). | 31 |
| Tabela 5 | Estimativas de parâmetros da Equação 13 quando aplicada aos dados de DeMarse, Killeen & Baker (1999). | 34 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. Introdução | 11 |
| 1.1. A dinâmica do responder operante | 12 |
| 2. Modelando a Excitação | 14 |
| 2.1. Uma falha de modelagem | 17 |
| 2.2. Um novo modelo | 18 |
| 2.3. Limitando a excitação | 20 |
| 3. Da Excitação ao Responder | 22 |
| 4. Suporte Experimental | 25 |
| 4.1. Variando a taxa de reforçamento (R) | 25 |
| 4.2. Variando a duração da resposta (δ) | 29 |
| 4.3. Variando a magnitude do reforçador | 31 |
| 4.4. Variando a capacidade do organismo | 33 |
| 5. Conclusão | 35 |
| Referências Bibliográficas | 37 |

1. INTRODUÇÃO

A terminologia da análise do comportamento mantém uma firme distinção entre comportamento respondente e operante (Catania, 1998). O *comportamento respondente* inclui todas as respostas que são confiavelmente eliciadas por um estímulo antecedente. Isso inclui a contração pupilar em resposta a uma forte incidência de luz, a contração do músculo quadríceps femural em resposta a um impacto no tendão patelar e a salivação em resposta a algum estímulo gustativo. A relação, aqui, é do tipo estímulo-resposta. O *comportamento operante*, por outro lado, não possui estímulos eliciadores identificáveis. Em vez disso, ele parece ser controlado pelos estímulos que o sucedem (i.e. suas consequências). O cão que ladra porque foi previamente recompensado por isso, portanto, está emitindo uma resposta operante. Assim, a relação que caracteriza o comportamento operante é do tipo resposta-estímulo. Um comportamento operante pode ter sua frequência de emissão aumentada ou reduzida, dependendo das consequências que o seguiram no passado. As consequências que aumentam a probabilidade de um operante ser emitido no futuro são chamadas *reforçadoras*. As consequências que reduzem essa probabilidade são conhecidas como *punidoras* (Catania, 1998).

Os analistas comportamentais geralmente utilizam câmaras operantes para estudar o comportamento operante. Essas câmaras, também conhecidas como caixas de Skinner, são equipadas com dispositivos que permitem ao experimentador registrar respostas e apresentar estímulos. Os dispositivos de registro de respostas podem ser alavancas que ratos podem pressionar ou discos que pombos podem bicar, por exemplo. Os dispositivos de apresentação de estímulos são geralmente pequenos dispensadores de água ou comida. As câmaras operantes são populares na área da análise experimental do comportamento porque, quando conectadas a computadores, tornam fácil a programação de relações entre respostas e suas consequências. Essas relações programadas são conhecidas como *esquemas de reforçamento*, e Skinner (1938) apresentou uma grande variedade deles. Os exemplos mais comuns são os

esquemas de razão e os *esquemas de intervalo*. Nos esquemas de razão, x respostas (e.g. pressões à alavanca ou bicadas no disco) devem ocorrer para que um reforçador (e.g. uma pequena quantidade de água ou comida) seja apresentada. Se x é um número fixo ao longo de toda a sessão experimental, obtém-se um *esquema de razão fixa* (FR). Se o valor de x muda a cada novo reforçador, obtém-se um *esquema de razão variável* (VR). Em esquemas de intervalo, um intervalo de y segundos é estabelecido. Durante o intervalo, as respostas são ineficazes em produzir reforçadores. Concluído o intervalo, a primeira resposta emitida é reforçada, e um novo intervalo tem início. Se todos os intervalos ao longo de uma sessão possuem a mesma duração, obtém-se um *esquema de intervalo fixo* (FI). Se o intervalo é diferente para cada novo reforçador, obtém-se um *esquema de intervalo variável* (VI). Cada esquema produz um padrão específico de responder operante (Catania, 1998; Skinner, 1938).

Em um experimento típico, um animal privado de água ou comida é colocado dentro da câmara operante por 30 a 60 minutos. Tendo recebido treinamento prévio, o sujeito rapidamente começa a emitir respostas e obter reforçadores. Isso é conhecido como *paradigma de operante-livre*, uma vez que o animal está "livre" para emitir respostas a qualquer momento dentro da sessão. O dado fundamental desse paradigma é a *taxa de resposta*, definida como o número de respostas emitidas durante um período (e.g. respostas/minuto). Esquemas de intervalo variável (VI) são muito utilizados na pesquisa de operantes livres porque tendem a produzir um responder homogêneo, sem perturbações ou longas pausas (Catania, 1998). No entanto, mesmo sob esquemas VI, o responder operante livre é sempre dinâmico (McSweeney, Hatfield, & Allen, 1990).

1.1. A dinâmica do responder operante

Quais são os processos que produzem o comportamento operante? De acordo com Killeen (1994), eles são três: excitação, acoplamento e limitação temporal. O comportamento é

impulsionado pela excitação, dirigido pelo acoplamento e limitado pelo tempo. Em um esforço impressionante, Killeen ofereceu modelos formais para cada um desses fatores, combinando-os em uma teoria integrativa chamada *princípios matemáticos do reforçamento* (MPR; Killeen, 1994; Killeen & Sitomer, 2003).

Em 1995, Killeen tentou utilizar a MPR para explicar as variações intra-sessão do responder operante. Nessa época, McSweeney e seus colegas já haviam demonstrado que, no curso de uma típica sessão livre-operante, as taxas de resposta chegam a variações que muitas vezes atingem 450% (McSweeney, Hatfield, & Allen, 1990). Ademais, ela demonstrou que essas variações intra-sessão na taxa de resposta são ordenadas, geralmente apresentando um aumento (*warm-up*), decaimento (*cool-down*) ou aumentos até um pico seguidos por decaimentos (McSweeney, Hatfield, & Allen, 1990; McSweeney & Hinson, 1992; McSweeney, Roll, & Weatherly, 1994). Essas variações são confiavelmente demonstradas com sujeitos de diferentes espécies, respondendo por diferentes reforçadores, operando diferentes dispositivos, sob diferentes taxas de reforçamento em diferentes esquemas de reforçamento (McSweeney & Hinson, 1992; McSweeney, Roll, & Weatherly, 1994; McSweeney, Weatherly, & Swindell, 1995b; Roll & McSweeney, 1997).

Como o acoplamento (a associação entre respostas e reforçadores na memória de curto-prazo do animal) e as limitações temporais se mantêm constantes durante toda a sessão experimental, Killeen (1995) começou sua aplicação da MPR ao responder intra-sessão assumindo que as variações observadas na taxa de resposta devem estar relacionadas a variações na excitação do animal enquanto o tempo transcorre e mais reforçadores são apresentados e consumidos. Em seguida, ele expandiu seu modelo da excitação para apresentar uma descrição completa de como a excitação primeiro se acumula e depois se dissipa à medida que a sessão caminha para seu fim. Neste estudo, o modelo de excitação de Killeen (1995) é revisado, e possibilidades de melhoria são discutidas. Em seguida, um novo modelo é sugerido e testado a partir de dados comportamentais de diferentes laboratórios.

2. MODELANDO A EXCITAÇÃO

O modelo de excitação embutido na MPR precede a elaboração da MPR em vários anos (Killeen, Hanson, & Osborne, 1978). Ele foi primeiramente apresentado como uma explicação para o comportamento adjuntivo que geralmente emerge quando sujeitos respondem sob um esquema de reforçamento intermitente (Falk, 1961; Falk, 1972; Wallace & Singer, 1976). Killeen hipotetizou que “os comportamentos adjuntivos são partes normais do repertório de um organismo, mas sua taxa de ocorrência é excitada a níveis supernormais por um nível muito elevado de excitação” (Killeen et al., 1978).

Como um primeiro passo na construção de seu modelo da excitação, Killeen et al. (1978) demonstrou que a apresentação de um reforçador para um organismo elicia um estado de excitação que decai exponencialmente ao longo do tempo. Se um novo reforçador é apresentado durante esse decaimento, a excitação eliciada pelo segundo reforçador se soma ao que restou da excitação eliciada pelo primeiro, promovendo um acúmulo dos efeitos. Em uma sessão onde vários reforçadores são sucessivamente apresentados, a excitação média A no tempo t é dada pela seguinte equação (Killeen et al., 1978):

$$\bar{A}_t = aR(1 - e^{-\frac{t}{\mu}}), \quad (1)$$

$$a = Q\mu$$

onde R é a taxa de reforçamento, Q é o impulso de excitação engendrado por cada reforçador, μ é a constante de tempo que controla quão rapidamente a excitação decai e a representa o tempo total de ativação eliciado por cada reforçador.

O processo cumulativo sugerido pela Equação 1 está ilustrado na Figura 1A. As linhas verticais representam o impulso Q , que decai exponencialmente de acordo com μ . A integral das curvas de decaimento é dada por $Q\mu$, justificando a interpretação dada para o

parâmetro a . Como a Equação 1 descreve a excitação média entre reforçadores, a curva gerada por ela estaria situada pouco abaixo da curva negritada que toca os picos de excitação.

Aplicado ao responder intra-sessão, o acúmulo de excitação pode explicar os aumentos na taxa de resposta que ocorrem no início das sessões experimentais (Killeen, 1995). Tal *warm-up* não pode ser explicado por efeito do treinamento, recuperação do manuseio ou habituação da exploração (McSweeney & Johnson, 1994; McSweeney, Swindell, & Weatherly, 1998; Roll & McSweeney, 1997). De acordo com Killeen (1995), o *warm-up* ocorre quando reforçadores sucessivos levam o organismo a um estado de ativação cada vez mais elevado. Em

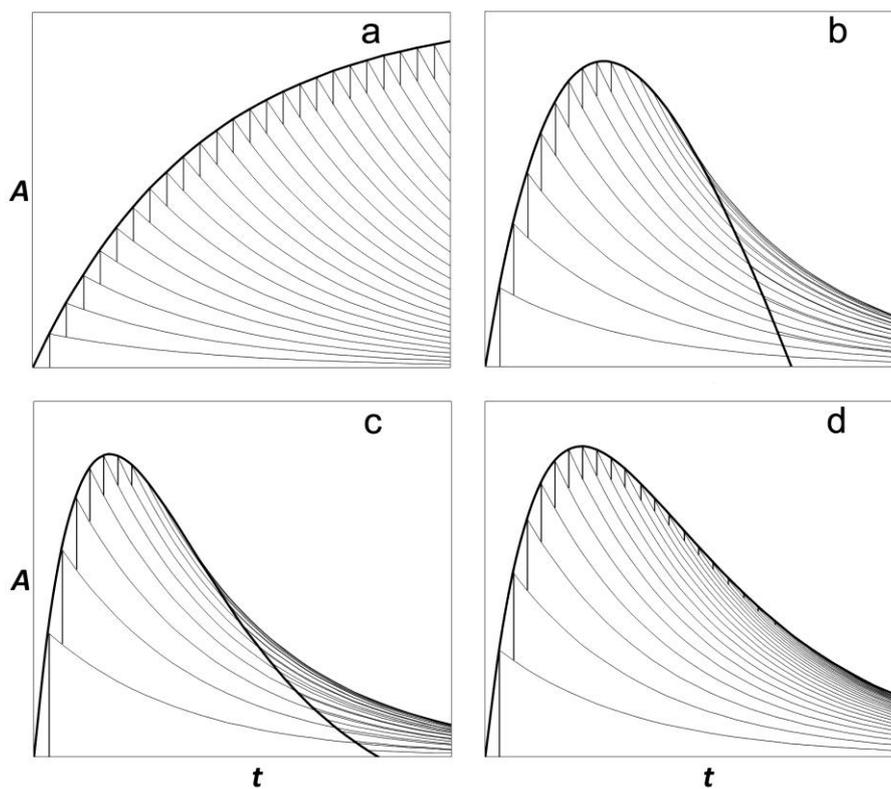


Figura 1. Modelos de excitação. As ordenadas representam o nível de excitação do animal e as abscissas representam o tempo. As linhas verticais ilustram o impulso de excitação eliciado por cada reforçador (Q), que decai exponencialmente como demonstrado pelas linhas finas. Apresentações sucessivas de reforçadores produzem um acúmulo de efeitos, resultando em um nível médio de excitação aproximado pela linha negritada. O Painel A representa o modelo seminal de Killeen et al. (1978), onde o impulso de excitação é constante. Nos painéis B e C, a excitação é puxada para baixo pela queda do *drive* associado à saciação (Killeen, 1995). O *drive* decai linearmente no Painel B e exponencialmente no Painel C. O Painel D representa o modelo elaborado no presente estudo. Observe que, no Painel D, a linha negritada não viola as linhas finas de dissipação da excitação.

suporte à sua hipótese, deve ser notado que, quanto maior a frequência de apresentação de reforçadores, mais rapidamente o responder intra-sessão atinge seu pico (McSweeney & Hinson, 1992).

Apesar de sua utilidade, a Equação 1 está incompleta. Ela desconsidera a perda da eficácia do reforçador que inevitavelmente acontece ao longo de apresentações sucessivas em decorrência de processos como saciação e habituação. Esses processos são responsáveis pelos decréscimos na taxa de resposta que acontecem em muitas sessões operantes (DeMarse, Killeen, & Baker, 1999; Killeen, 1995; McSweeney, 2004).

Buscando incorporar os efeitos da saciação em seu modelo da excitação, Killeen (1995) postulou que, ao longo de uma sessão experimental, um decréscimo linear da privação (d) ocorre em função do tempo. Ele também postulou a existência de um *drive* motivacional (h) vinculado à privação em uma simples relação linear ou exponencial. A relação linear entre privação e *drive* seria expressa como $h_t = \gamma d_t$, onde γ é uma constante de proporcionalidade. A relação exponencial seria expressa como $h_t = e^{\mu d_t} - \theta$, onde θ representa um limite mínimo que deve ser excedido antes que o responder seja iniciado. Por fim, ele sugere que o *drive* motivacional h se combina multiplicativamente com o valor (v) do reforçador para determinar a ativação específica do reforçador (a), de modo que $a = v h_t$. Após todas essas considerações, a Equação 1 deve ser reescrita como:

$$\bar{A}_t = v h_t R (1 - e^{-\frac{t}{\mu}}). \quad (2)$$

O modelo representado pela Equação 2 está ilustrado nos painéis B e C da Figura 1. O Painel B descreve o acúmulo e o decaimento da excitação considerando um decaimento linear de h . O Painel C descreve o mesmo processo, mas assumindo um decaimento exponencial de h . Novamente, a curva gerada pela Equação 2 não está representada na figura, mas estaria situada logo abaixo da linha negritada que toca os picos de excitação.

2.1. Uma falha de modelagem

Embora seja capaz de desenhar uma função bitônica para a excitação ao longo de reforçadores sucessivos, a Equação 2 apresenta uma falha de modelagem. Após o pico, a curva de excitação é puxada para baixo pelo *drive h* cada vez menor. Em determinado ponto, o decaimento de *h* viola a dissipação natural da excitação, representada pelas linhas finas da Figura 1. Como pode ser visto nos painéis B e C da Figura 1, a excitação \bar{A} assume um valor nulo quando o *drive h* chega a 0. No entanto, como a excitação eliciada por cada reforçador decai exponencialmente, \bar{A} nunca poderia ser completamente extinto.

A Equação 2 produz tal distorção porque todos os seus termos são multiplicados pelo *drive h*. O *drive h* é uma função direta da privação *d*. Portanto, ele decai juntamente com a privação. Todavia, como podemos ver nos painéis B e C da Figura 1, em determinado ponto cada novo reforçador começará a *reduzir* a excitação geral, produzindo algum tipo de “excitação negativa”. Esse momento é representado na Figura 1 como o ponto onde a linha negritada cruza as linhas finas. Depois desse ponto, as linhas verticais que ilustram os impulsos *Q* de excitação, e que sempre partem da excitação remanescente do reforçador anterior, estão viradas de ponta-cabeça. Poderia ser argumentado que, após a saciação, os estímulos reforçadores se tornam aversivos, inibindo o comportamento operante. Mas esse argumento seria inválido por duas razões. Em primeiro lugar, a “excitação negativa” ocorre significativamente antes que o *drive h* atinja um valor nulo. Em segundo lugar, no contexto de uma sessão livre-operante onde os sujeitos trabalham para produzir reforçadores, após o ponto de cruzamento eles estariam trabalhando para produzir estímulos aversivos – se for assumido que a excitação está relacionada ao responder operante, como Killeen (1994) o faz. Diante dos problemas implícitos na Equação 2, um novo modelo da dinâmica da excitação é oferecido a seguir.

2.2. Um novo modelo

Para oferecer um novo modelo da excitação, primeiramente deve-se retomar o modelo de excitação originalmente apresentado por Killeen et al. (1978). Então, suponha-se que um reforçador é apresentado a um animal em privação. Imediatamente após a apresentação, o nível A_1 de excitação do sujeito será dado por:

$$A_1 = Q, \quad (3)$$

onde Q é o impulso de excitação engendrado pelo reforçador. A quantidade A_1 decairá exponencialmente ao longo do tempo, de acordo com a função

$$A_t = A_1 e^{\frac{-t}{\mu}}, \quad (4)$$

onde μ é a constante de tempo exponencial.

Se for considerado que a saciação reduz o efeito excitatório dos reforçadores, deve-se também assumir que, quando o próximo reforçador for apresentado, a quantidade Q será ligeiramente menor. Se Q também decai exponencialmente, então

$$Q_n = Q e^{\frac{-n}{\beta}}, \quad (5)$$

onde n é o número de reforçadores previamente consumidos, e β é uma constante que dita quão rapidamente a saciação ocorre. Quando $n = \beta$, Q é atenuado para aproximadamente 36.8% de seu valor inicial. Quando $n = 0$, $Q = Q$. Considerando as equações 4 e 5, na segunda vez que um reforçador for apresentado, o nível de excitação do animal será dado por:

$$A_2 = A_1 e^{\frac{-T}{\mu}} + Q e^{\frac{-1}{\beta}}, \quad (6)$$

onde T é o tempo transcorrido desde o último reforçador. A Equação 6 simplesmente declara que a excitação do animal no momento em que o segundo reforçador é apresentado (A_2) é

uma função da excitação remanescente da primeira apresentação ($A_1 e^{-\frac{T}{\mu}}$) mais o novo impulso atenuado por uma pequena saciação ($Qe^{-\frac{1}{\beta}}$). Seguindo o mesmo processo, a excitação na terceira apresentação será:

$$A_3 = A_2 e^{-\frac{T}{\mu}} + Qe^{-\frac{2}{\beta}}, \quad (7)$$

e a excitação no *enésimo* reforçador será:

$$A_n = A_{n-1} e^{-\frac{T}{\mu}} + Qe^{-\frac{1-n}{\beta}}. \quad (8)$$

A Equação 8 é uma função recursiva. Resolvendo-a para n , e assumindo-se que $A_0 = 0$, ela pode ser escrita como:

$$A_n = \frac{Qe^{\frac{T}{\mu} + \frac{1-n}{\beta}} \left[-1 + e^{\frac{n}{\beta} \left(e^{-\frac{T}{\mu}} \right)^n} \right]}{-e^{\frac{T}{\mu}} + e^{\frac{1}{\beta}}}. \quad (9)$$

Se for necessário conhecer a excitação A no momento t dentro da sessão, em vez de após um número n de reforçadores, pode-se considerar que os reforçadores são apresentados a uma taxa média R , igual a $1/T$. Também pode-se admitir que $n = Rt$. Logo,

$$A_t = \frac{Qe^{\frac{1}{R\mu} + \frac{1-Rt}{\beta}} \left(-1 + e^{\frac{-t+Rt}{\mu + \beta}} \right)}{-e^{\frac{1}{R\mu}} + e^{\frac{1}{\beta}}}. \quad (10)$$

O modelo de excitação da Equação 10 está ilustrado no Painel D da Figura 1. A maior diferença entre as equações 10 e 2 é que, aqui, o único efeito da saciação é que a quantidade Q (linhas verticais na Figura 1) se tornam progressivamente menores. Eventualmente, novos reforçadores vão adicionar quase nada ao estado geral de excitação. Quando isso ocorrer, a excitação do animal decairá respeitando a dissipação natural do efeito dos reforçadores anteriormente apresentados. As linhas finas no Painel D da Figura 1 não são violadas.

Também deve ser notado que, mesmo quando os sujeitos atingem total saciação, a Equação 10 prevê que eles continuarão a responder até que toda a excitação se dissipe. Essa é uma diferença muito importante em relação à Equação 2, e pode ajudar a explicar fenômenos bem conhecidos como polidipsia (Falk, 1961) e resistência à mudança (Nevin & Grace, 2000).

2.3. Limitando a excitação

Na MPR, a excitação é direcionada pelo acoplamento para produzir responder operante (Killeen, 1994; Killeen & Bizo, 1998). O responder operante, por sua vez, é limitado pelo tempo. Esse ponto é importante: *o tempo limita o responder, e não a excitação*. A MPR assume que a excitação é uma função linear da taxa de reforçamento (Killeen & Bizo, 1998; Killeen & Sitomer, 2003). Assim sendo, a excitação é livre para atingir valores ilimitadamente elevados à medida que a taxa de reforçamento aumenta.

Aqui, a premissa de que os organismos se comportam sob limitações é mantida. No entanto, parece correto afirmar que a própria excitação deve ser também limitada, uma vez que a hipótese de que os organismos podem ser ilimitadamente excitados é pouco razoável de um ponto de vista biológico. Para limitar o aumento da excitação, pode-se considerá-la como uma variável que assume valores entre 0 e 1. Então, a cada momento multiplica-se seu valor pela distância até o teto. Dessa forma, quando a excitação é baixa, o crescimento não é significativamente restrito. À medida que a excitação aumenta, a distância até o teto se aproxima de 0, e o crescimento é fortemente contido. Matematicamente, adicionar esse efeito de teto significa multiplicar a Equação 10 por $1 - A$ e resolver para A , o que resulta em:

$$A_t = \frac{Qe^{\frac{1}{R\mu} + \frac{1}{\beta}} \left(-1 + e^{\frac{-t}{\mu} + \frac{Rt}{\beta}} \right)}{-Qe^{\frac{1}{R\mu} + \frac{1}{\beta}} + e^{\frac{Rt}{\beta}} \left[e^{\frac{1}{\beta}} + e^{\frac{1}{R\mu}} \left(-1 + Qe^{\frac{-t}{\mu} + \frac{1}{\beta}} \right) \right]}. \quad (11)$$

A Equação 11 não é tão simples quanto a Equação 2, mas é conceitualmente consistente. Ela modela um processo onde os reforçadores adicionam excitação e onde a saciação reduz o efeito excitatório dos reforçadores, até um ponto onde a excitação começa a se dissipar de acordo com seu curso natural. Ademais, a excitação é apresentada aqui como uma variável adimensional com alcance entre 0 (nenhuma excitação) e 1 (máxima excitação suportada pela biologia do organismo).

3. DA EXCITAÇÃO AO RESPONDER

A Equação 11 descreve como a excitação se acumula e se dissipa no decorrer de uma sessão experimental, mas, ao menos que ela seja inserida em um modelo geral da taxa de resposta, ela dirá muito sobre um construto hipotético, e nada sobre os dados comportamentais objetivos que se pretende modelar e prever.

Seguindo as premissas básicas da MPR, deve-se agora considerar como o acoplamento direciona a excitação, produzindo responder operante (Killeen, 1994; Killeen & Bizo, 1998). Para isso, simplesmente multiplica-se a Equação 11 por C , uma constante de acoplamento que varia entre 0 e 1 e que representa o grau em que as respostas-alvo e os reforçadores estão associados na memória de curto-prazo do animal (Killeen, 1994). Detalhar a base teórica de C está além do escopo deste texto, e os leitores interessados são direcionados para Killeen (1994). O produto de A e C representa a quantidade excitação direcionada à emissão de respostas-alvo.

Na situação hipotética onde o animal está totalmente excitado ($A = 1$) e onde existe acoplamento perfeito ($C = 1$), dever-se-ia esperar a máxima taxa de resposta possível. A máxima taxa de resposta pode ser representada por $1/\delta$, onde δ é o tempo requerido para a emissão de uma única resposta. Por outro lado, em uma situação onde a excitação dirigida (AC) é 0.5, espera-se uma taxa de resposta $B = .5/\delta$. Assim, como lei geral, a taxa de resposta é dada por:

$$B = \frac{AC}{\delta} . \tag{12}$$

A Equação 12 é a formalização mais simples possível da teoria de Killeen acerca do comportamento operante (Killeen, 1994). Aqui, seus três princípios estão presentes: excitação (A), acoplamento (C) e limitações temporais (δ). As relações entre esses processos e o responder estão imediatamente claras: a taxa de resposta (B) é diretamente proporcional à ex-

Tabela 1. Parâmetros e variáveis da Equação 13, suas interpretações e dimensões.

| Parâmetro | Nome | Interpretação | Dimensão |
|-----------|--------------------------|---|----------|
| B | Taxa de resposta | O número de respostas em um intervalo de tempo dividido pela duração do intervalo. | $1/min$ |
| Q | Impulso de excitação | O impulso de excitação engendrado pelo primeiro reforçador na sessão. | 1 |
| R | Taxa de reforçamento | O número de reforçadores apresentados em um intervalo de tempo dividido pela duração do intervalo. | $1/min$ |
| μ | Mu | A constante de tempo do decaimento da excitação. | min |
| β | Beta | Constante de saciação | 1 |
| k | Teto de resposta | A máxima taxa de resposta possível em um determinado contexto experimental (C/δ). | $1/min$ |
| C | Constante de acoplamento | O grau no qual as respostas e os reforçadores estão associados na memória de curto-prazo do animal. | 1 |
| δ | Delta | O tempo requerido para a emissão de uma única resposta. | min |

citação e ao acoplamento, e inversamente proporcional ao tempo necessário para responder. Killeen não chegou a uma solução tão simples simplesmente porque, em seu modelo, a excitação é um parâmetro não restrito. Aqui, assumindo A e C como parâmetros com valor entre 0 e 1, naturalmente se estabeleceu um teto de $1/\delta$ para a taxa de resposta.

Mesclando C/δ dentro de único parâmetro (k , a máxima taxa de resposta possível em um contexto experimental), e expandindo o parâmetro A de acordo com a Equação 11, a Equação 12 se torna:

$$B_t = \frac{Qe^{\frac{1}{R\mu} + \frac{1}{\beta}} \left(-1 + e^{\frac{-t + Rt}{\mu + \beta}} \right) k}{-Qe^{\frac{1}{R\mu} + \frac{1}{\beta}} + e^{\frac{Rt}{\beta}} \left[e^{\frac{1}{\beta}} + e^{\frac{1}{R\mu}} \left(-1 + Qe^{\frac{-t + 1}{\mu + \beta}} \right) \right]}, \quad (13)$$

o que representa um modelo completo do responder intra-sessão. Deve ser notado que o parâmetro k é um parâmetro de escala que especifica a relação entre as quantidades de excitação e a taxa de resposta. A seguir, o poder preditivo da Equação 13 é avaliado a partir de

dados de diversos laboratórios. Mas, antes disso, recomenda-se a leitura da Tabela 1 para um sumário dos parâmetros e variáveis, bem como suas interpretações e dimensões.

4. SUPORTE EXPERIMENTAL

A Equação 13 postula que a taxa de resposta B é uma função de μ , Q , β , k e R . A constante de tempo μ , que dita quão rapidamente a excitação decai, é uma variável provavelmente relacionada à biologia do organismo, e portanto deve se manter constante ao longo de uma variedade de manipulações experimentais. Os parâmetros Q , β e k , por sua vez, podem ser *indiretamente* manipulados. Pode-se alterar Q e β variando propriedades dos reforçadores como sua qualidade e tamanho, bem como o estado de privação do organismo. Pode-se alterar o parâmetro k através de operações que afetem a duração da resposta (δ) e a constância de acoplamento (C). Finalmente, a taxa de reforçamento R pode ser *diretamente* controlada. Abaixo, dados empíricos de experimentos onde as taxas de resposta intra-sessão são afetadas pelas operações listadas acima são apresentados. Ajustando a Equação 13 a esses dados, é possível verificar se seus parâmetros mudam nas direções esperadas.

4.1. Variando a taxa de reforçamento (R)

Em um estudo não publicado, Bittar (2010) expôs seis ratos (Grupo 1) a esquemas de reforçamento em intervalo variável (VI), com o intervalo médio variando de 15 a 120-s em diferentes condições. A ordem das condições foi aleatoriamente definida para cada sujeito, e cada condição foi mantida em efeito durante 15 sessões diárias. Os reforçadores consistiam em 10 cc de água (os ratos estavam com 20-hr de privação de água no início de cada sessão), e a resposta consistia em pressionar uma pequena alavanca. A Figura 2 mostra as taxas de resposta intra-sessão durante *bins* sucessivos de 3-min como uma média das últimas 5 sessões em que cada condição esteve em efeito. As taxas de resposta descreveram os padrões tipicamente reportados na literatura (McSweeney & Hinson, 1992), aumentando sob VI 60-s e

VI 120-s, e aumentando até um pico e depois decrescendo sob VI 15-s e VI 30-s. As curvas através dos pontos de dados foram desenhadas pela Equação 13, com a estimativa de parâmetros fornecida na Tabela 2.

A Equação 13 foi capaz de fornecer uma descrição adequada das taxas de resposta, enquanto manteve a estimativa dos parâmetros em valores teoricamente consistentes. Posto que o estímulo reforçador e o nível de privação eram os mesmos ao longo das diferentes condições, o parâmetro Q foi fixado em 0.15. O parâmetro μ foi fixado em um valor constante de 6-min. O parâmetro k sofreu pequenas variações em diferentes esquemas VI, flutuando ao redor de 40 respostas por minuto. O parâmetro β , por sua vez, se comportou de maneira interessante. Ele foi estimado em 23.6 e 65.2 em VI 15-s e VI-30s, respectivamente. Como o reforçador usado no experimento foi uma pequena quantidade de água (10 cc), é possível que a mínima saciação promovida por cada reforçador tenha se dissipado entre as apresentações. Sob a alta taxa de reforçamento fornecida pelo VI 15-s ocorreu pouca dissipação, e a saciação foi mais rápida (menor valor de β). Sob a taxa de reforçamento mais baixa, a dissipação da saciação foi significativa, levando β a um valor mais alto em VI 30-s. Nos esquemas VI 60-s e VI 120-s, β assumiu um valor infinito, significando que toda a saciação se dissipou entre os reforçadores (i.e. o nível de privação se manteve constante ao longo da sessão).

A Figura 2 também apresenta dados de um grupo diferente de cinco ratos (Grupo 2) respondendo sob um esquema VI 20-s e ainda outro grupo de três ratos (Grupo 3) respondendo sob um esquema VI 45-s. Ratos em ambos os grupos receberam 30 sessões experimentais diárias, e os pontos de dados representam a taxa de resposta como uma média das últimas cinco sessões em que cada esquema esteve em efeito. O equipamento e o estímulo reforçador foram os mesmos do experimento narrado acima. A curva desenhada pela Equação 13 ofereceu um adequado ajuste às taxas de resposta, e as estimativas dos parâmetros estão presentes na Tabela 2. Os parâmetros Q e μ foram fixados em seus valores típicos (0.15 e 6-min, respectivamente).

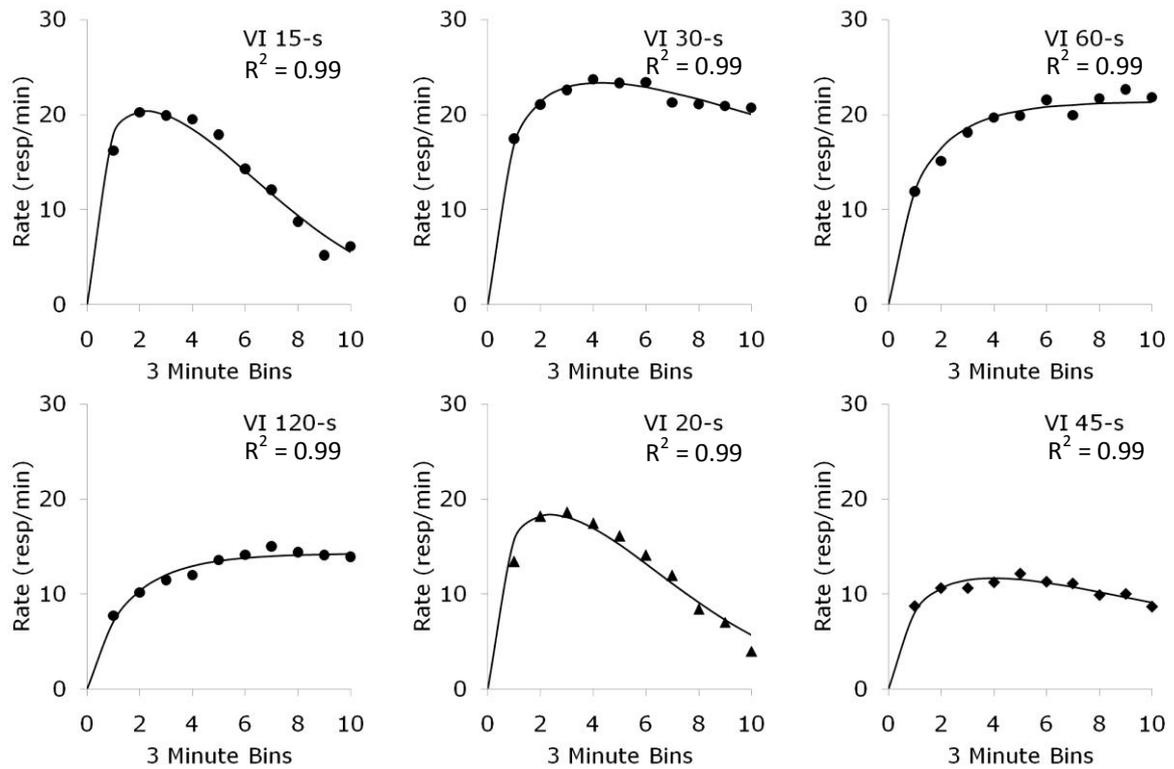


Figura 2. Taxas de resposta intra-sessão de ratos respondendo em diferentes esquemas VI. Os círculos representam dados de seis ratos (Grupo 1), apresentados como média das últimas 5 sessões em que cada condição esteve em efeito. Os triângulos são de três ratos (Grupo 2) sob VI 20-s, e os diamantes são de cinco ratos (Grupo 3) sob VI 45-s, também representados como média das últimas 5 sessões em cada condição. As curvas foram desenhadas a partir da Equação 13, com as estimativas de parâmetros apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativas de parâmetros da Equação 13 quando aplicada aos dados de Bittar (2010) e McSweeney (1992).

| Estudo | Condição | Parâmetros | | | |
|-------------------------|----------|------------|------|-------|----------|
| | | k | Q | μ | β |
| Bittar (2010) – Grupo 1 | VI 15-s | 37.1 | 0.15 | 6.0 | 23.6 |
| | VI 30-s | 42.6 | 0.15 | 6.0 | 65.2 |
| | VI 60-s | 44.3 | 0.15 | 6.0 | ∞ |
| | VI 120-s | 42.2 | 0.15 | 6.0 | ∞ |
| Bittar (2010) – Grupo 2 | VI 20-s | 36.4 | 0.15 | 6.0 | 21.0 |
| Bittar (2010) – Grupo 3 | VI 45-s | 26.8 | 0.15 | 6.0 | 34.5 |
| McSweeney (1992) | VI 15-s | 95.6 | 0.15 | 6.0 | 51.6 |
| | VI 30-s | 119.1 | 0.15 | 6.0 | 67.4 |
| | VI 60-s | 116.9 | 0.15 | 6.0 | 33.1 |
| | VI 120-s | 99.9 | 0.15 | 6.0 | ∞ |
| | VI 240-s | 81.97 | 0.15 | 6.0 | ∞ |

A Equação 13 também ofereceu um bom ajuste quando aplicada aos dados de McSweeney (1992). Ela expôs ratos a diferentes esquemas VI, e apresentou seus resultados como proporções (i.e. o número de respostas em cada componente de 5-min dividido pelas respostas totais da sessão). Os dados de taxa de resposta foram obtidos multiplicando-se as proporções dadas pelas respostas totais da sessão, e depois dividindo o resultado por 5. A Figura 3 demonstra que a Equação 13 oferece uma descrição adequada dos resultados de McSweeney, com as estimativas dos parâmetros apresentadas na Tabela 2. Os parâmetros Q e μ foram fixados em seus valores típicos (0.15 e 6-min). O parâmetro β assumiu um valor infinito nos esquemas empobrecidos, e variou de maneira não sistemática em esquemas mais ricos. O parâmetro k flutuou ao redor de 100 respostas por minuto. Tais variações em k não surpreendem. A fórmula para esse parâmetro é dada por C / δ . Assim, assumindo $C = 1$, uma pequena variação em δ de 0.75-s para 0.5-s seria suficiente para promover mudanças em k de 80 para 120 respostas por minuto.

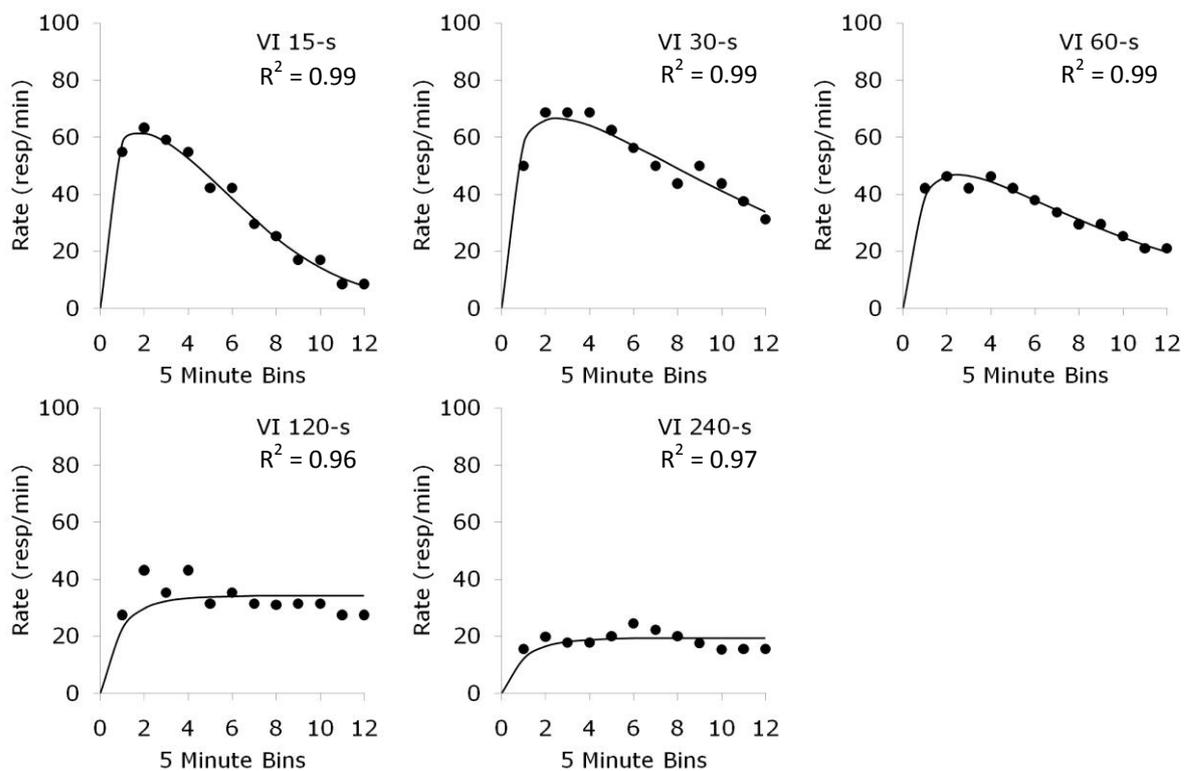


Figura 3. Taxas de resposta intra-sessão de ratos respondendo em diferentes esquemas VI no experimento de McSweeney (1992). As curvas foram desenhadas a partir da Equação 13, com as estimativas de parâmetros apresentadas na Tabela 2.

4.2. Variando a duração da resposta (δ)

Melville, Rybiski e Kamrani (1996) treinaram quatro ratos para pressionar uma alavanca sob um esquema VI 1-min. Os reforçadores eram pequenos flocos de ração peletizada. Posteriormente, eles variaram a força requerida para mover a barra de 0.25 N para 1.10 N em diferentes condições. A Equação 13 foi ajustada aos seus dados intra-sessão, e os resultados estão apresentados na Figura 4. O modelo se ajustou bem aos dados, e as estimativas dos parâmetros são dadas na Tabela 3. Em todas as condições, β assumiu um valor infinito, indicando que o nível de privação se manteve constante ao longo da sessão. Os parâmetros Q e μ foram fixados em seus valores padrão. Finalmente, apenas o parâmetro k variou entre condições experimentais. Ademais, as variações foram ordenadas, com os valores

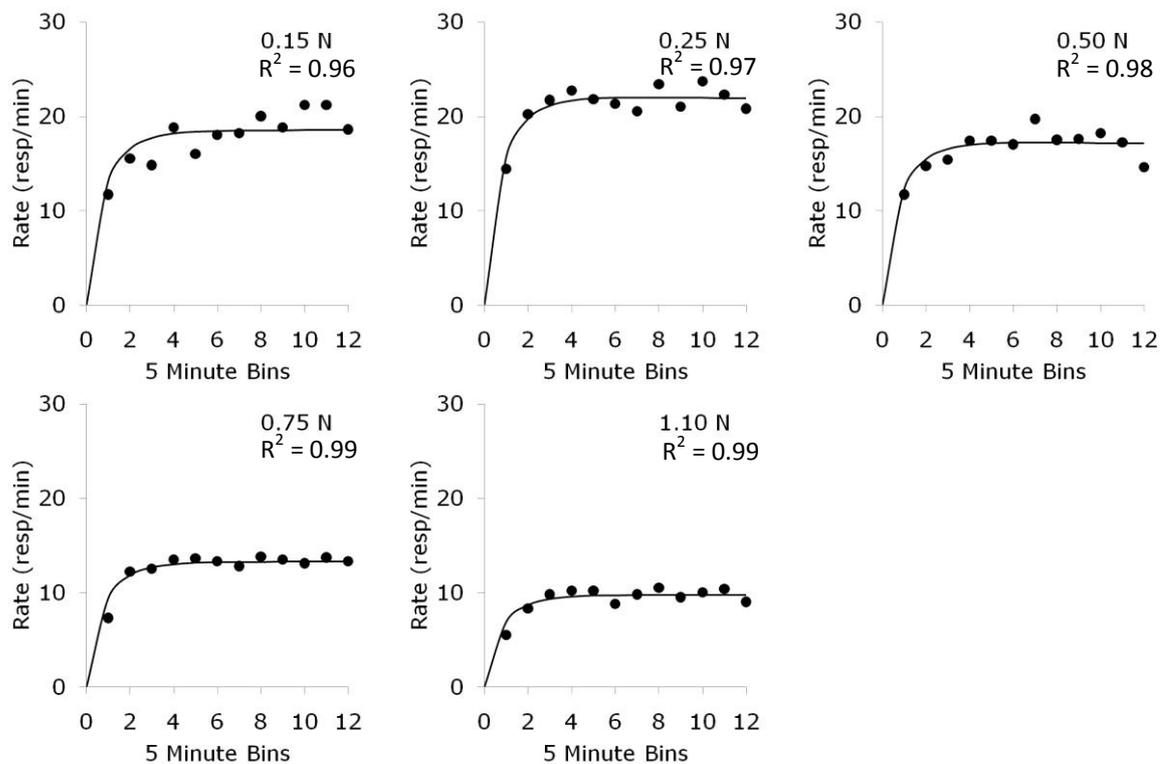


Figura 4. Taxas de resposta intra-sessão de ratos em diferentes condições do experimento de Melville et al. (1996). Os números no canto superior direito dos painéis representam a força requerida para mover a alavanca em cada condição. As curvas foram desenhadas a partir da Equação 13, com as estimativas de parâmetros apresentadas na Tabela 3.

de k diminuindo linearmente à medida que a força necessária para responder aumentava, como demonstrado na Figura 5. O leitor deve se recordar de que k é inversamente proporcional a δ , o tempo requerido para emitir uma resposta. Como o aumento da força requerida para operar a alavanca provavelmente aumenta o tempo de uma resposta, as reduções em k demonstradas na Tabela 3 eram previamente esperadas. A conclusão aqui é idêntica à de Kileen (1994). Após analisar um experimento de Mazur (1982), ele concluiu que aumentar o peso da alavanca resulta em aumentos em δ , ao mesmo tempo em que o nível de excitação se mantém invariável.

Tabela 3. Estimativas de parâmetros da Equação 13 quando aplicada a dados de Melville, Rybiski & Kamrani (1996).

| Condição | Parâmetros | | | |
|----------|------------|------|-------|----------|
| | k | Q | μ | β |
| 0.15 N | 38.8 | 0.15 | 6.0 | ∞ |
| 0.25 N | 46.4 | 0.15 | 6.0 | ∞ |
| 0.50 N | 36.4 | 0.15 | 6.0 | ∞ |
| 0.75 N | 27.8 | 0.15 | 6.0 | ∞ |
| 1.10 N | 20.4 | 0.15 | 6.0 | ∞ |

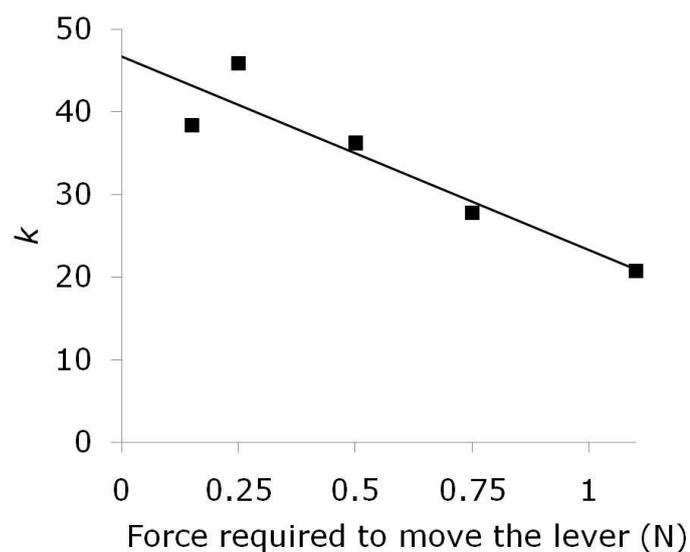


Figura 5. Estimativas do parâmetro k em função da força requerida para operar a alavanca em Melville et al. (1996). As duas medidas são inversamente proporcionais, como esperado.

4.3. Variando a magnitude do reforçador

Cannon and McSweeney (1995) reportaram um experimento onde três pombos responderam sob esquemas de reforçamento VI 30-s. A resposta consistia em bicar um disco, e a duração dos reforçadores (acesso a ração) variou de 2-s a 20-s em diferentes condições. Eles apresentaram seus resultados como números de respostas em intervalos sucessivos de 5-min divididos pelas respostas totais da sessão. A partir dessas proporções, foram calculadas as taxas de resposta. Os resultados do experimento e os ajustes da Equação 13 estão ilustrados na Figura 6. As estimativas dos parâmetros estão presentes na Tabela 4. O teto da taxa de respostas k foi fixado em 40 respostas por minuto, e μ em seu valor padrão de 6-min. Os parâmetros Q e β , por sua vez, apresentaram grande correlação com a magnitude do reforçador, mas em direções opostas. À medida que a magnitude do reforçador aumentou, o impulso de excitação eliciado por cada reforçador (Q) aumentou ($r = .96$), enquanto o número de reforçadores necessários para produzir 63.2% de saciação (β) diminuiu ($r = -.93$). As relações entre esses dois parâmetros e o tamanho do reforçador estão apresentadas nas figuras 7 e 8. Em resumo, conclui-se que aumentos na magnitude dos reforçadores afetam a taxa de resposta através de um mecanismo duplo: Q sofre uma elevação e β sofre uma redução.

Tabela 4. Estimativas de parâmetros da Equação 13 quando aplicada a dados de Cannon & McSweeney (1995).

| Condição | Parâmetros | | | |
|----------|------------|------|-------|---------|
| | k | Q | μ | β |
| 2-s | 40.0 | 0.08 | 6.0 | 47.8 |
| 5-s | 40.0 | 0.16 | 6.0 | 48.2 |
| 8-s | 40.0 | 0.12 | 6.0 | 30.5 |
| 15-s | 40.0 | 0.28 | 6.0 | 9.2 |
| 20-s | 40.0 | 0.39 | 6.0 | 13.0 |

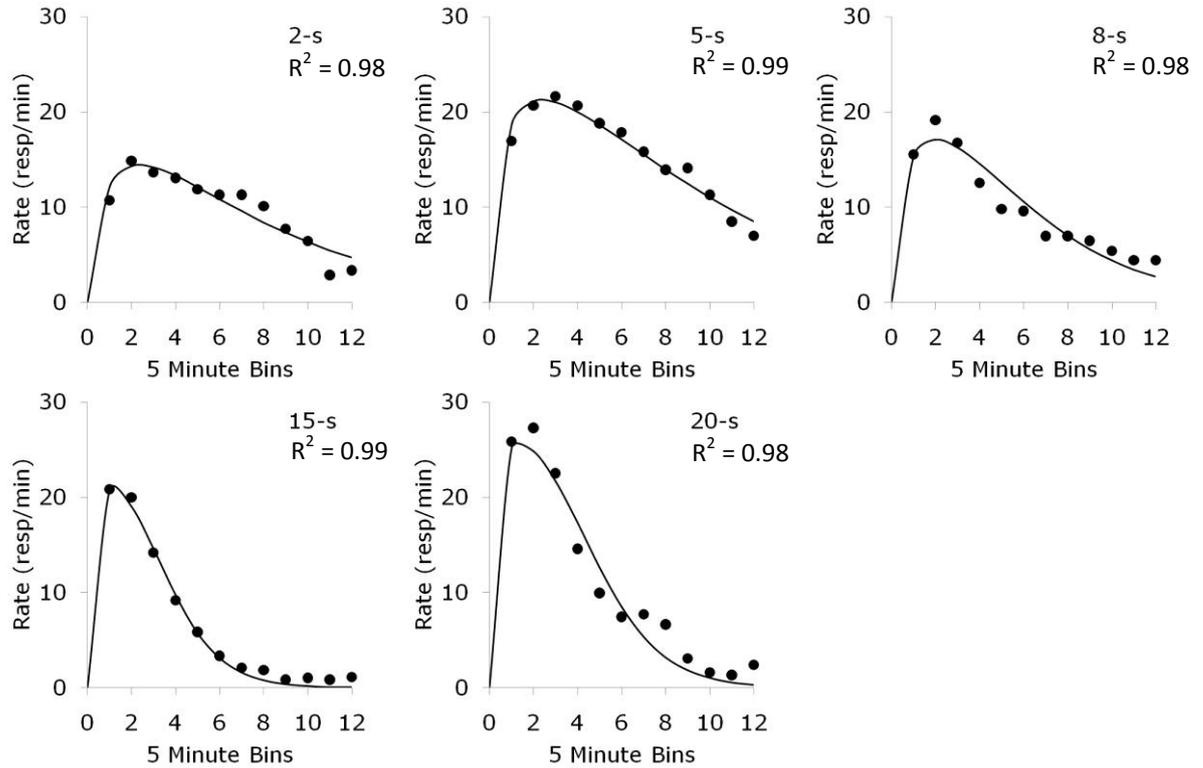


Figura 6. Taxas de resposta intra-sessão de pombos respondendo por reforçadores cuja duração variava entre condições. As curvas foram desenhadas a partir da Equação 13, com as estimativas dos parâmetros apresentadas na Tabela 4. Os dados são de Cannon & McSweeney (1995).

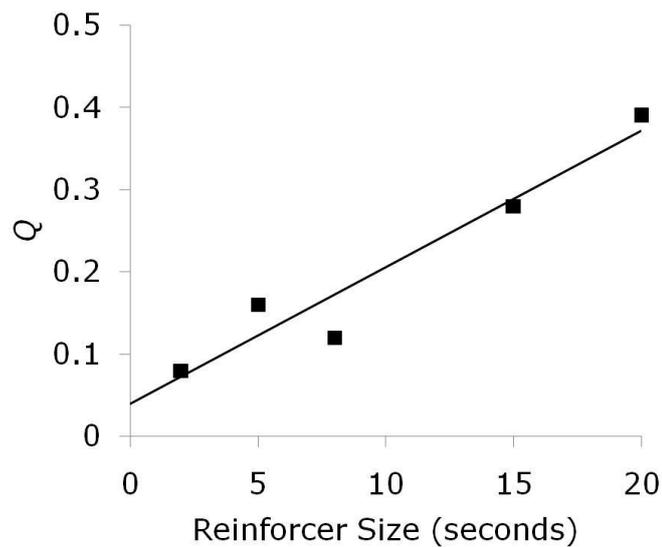


Figura 7. Estimativas do parâmetro Q em função da magnitude do reforçador em Cannon & McSweeney (1995). As duas medidas são diretamente proporcionais, como esperado.

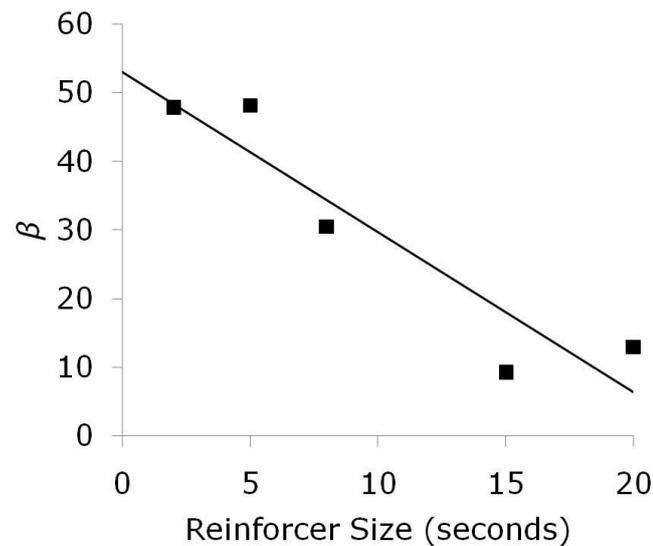


Figura 8. Estimativas do parâmetro β em função da magnitude do reforçador em Cannon & McSweeney (1995). As duas medidas são inversamente proporcionais, como esperado.

4.4. Variando a capacidade do organismo

DeMarse, Killeen & Baker (1999) mensuraram o peso de 20 pombos em privação de alimento antes e depois de fornecerem 1-hr de acesso a um copo de ração. A diferença de peso foi definida como a capacidade de ingestão do animal. Os quatro sujeitos com maior capacidade ($M = 47.5$ g) foram agrupados para formar o Grupo LC, enquanto os quatro sujeitos com menor capacidade ($M = 19.2$ g) formaram o Grupo SC. Em seguida, os pombos de ambos os grupos foram submetidos a esquemas VI 30-s. Em diferentes condições, os reforçadores consistiram em 2-s ou 5-s de acesso ao comedouro. Os resultados, apresentados como médias das últimas cinco sessões nas quais cada condição esteve em efeito, estão ilustrados na Figura 9, juntamente com as curvas desenhadas pela Equação 13.

Tabela 5. Estimativas de parâmetros da Equação 13 quando aplicada a dados de DeMarse, Killeen & Baker (1999).

| Condição | Parâmetros | | | |
|--------------|------------|-----|-------|---------|
| | k | Q | μ | β |
| Grupo SC 2-s | 93.8 | 0.3 | 6.0 | 99.4 |
| Grupo SC 5-s | 89.8 | 0.3 | 6.0 | 20.2 |
| Grupo LC 2-s | 74.8 | 0.3 | 6.0 | 260.1 |
| Grupo LC 5-s | 65.8 | 0.3 | 6.0 | 56.4 |

Como pode ser visto das estimativas de parâmetros apresentadas na Tabela 5, as mudanças mais significativas ocorreram no parâmetro de saciação β , como previsto. Esse parâmetro assumiu valores menores (indicando saciação mais rápida) no Grupo SC do que no Grupo LC. Dentro dos grupos, a saciação foi mais rápida na condição de 5-s de acesso ao comedouro do que na condição de 2-s. O parâmetro k variou ligeiramente entre as condições, e os parâmetros Q e μ foram fixados em 0.3 e 6-min, respectivamente. Deve ser notado que um pequeno desvio dos pontos de dados ocorre nos primeiros *bins* em todas as curvas. Isso pode ter sido causado pela apresentação de um reforçador ao início de cada sessão – procedimento adotado pelos pesquisadores como uma tentativa de atenuar efeitos de *warm-up* (DeMarse et al., 1999).

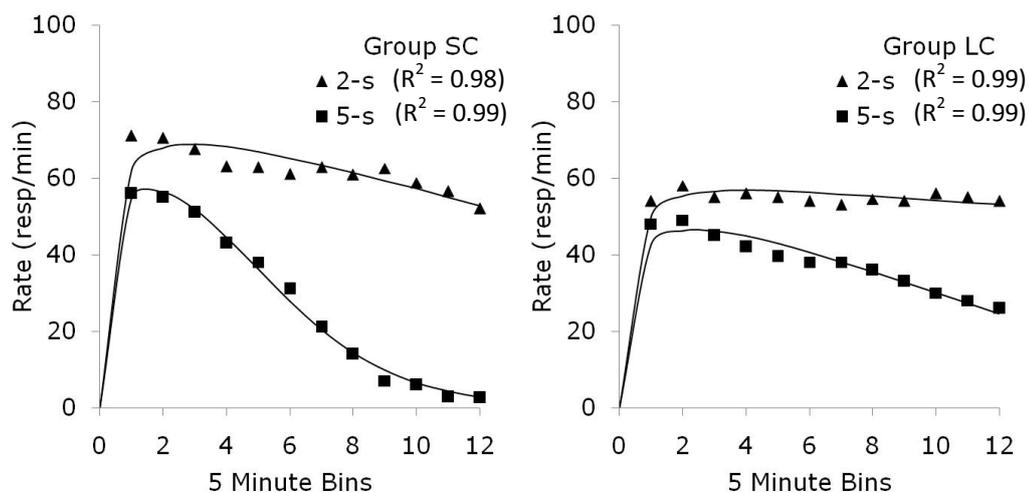


Figura 9. Taxas de resposta intra-sessão de ratos de grande capacidade (LC) e pequena capacidade (SC) respondendo por reforçadores cuja duração variava entre condições. As curvas foram desenhadas a partir da Equação 13, com as estimativas dos parâmetros apresentadas na Tabela 5. Os dados são de DeMarse, Killeen & Baker (1999).

5. CONCLUSÃO

O presente estudo confiou em premissas simples para derivar um modelo formal da dinâmica motivacional em uma sessão operante. As premissas foram: (a) os reforçadores excitam os organismos, (b) a excitação decai ao longo do tempo, (c) a excitação se acumula, (d) os reforçadores perdem seu efeito excitatório ao longo de apresentações sucessivas e (e) existe um limite para o grau em que um organismo pode ser excitado. As três primeiras premissas também estão presentes no modelo dinâmico de Killeen (1995). Todavia, o processo pelo qual apresentações sucessivas do reforçador afetam a excitação não foram claramente delineados, levando seu modelo a um erro conceitual. O modelo de excitação de Killeen também carece de um teto. Finalmente, premissas adicionais foram adotadas para permitir a previsão de taxas de resposta. Foram elas: (f) uma fração C da excitação de um organismo é direcionada à emissão de respostas-alvo e (g) o tempo limita o responder. Esses dois princípios não são novos, e estão no cerne da MPR (Killeen, 1994).

Essas sete premissas foram formalmente elaboradas, resultando em uma equação que descreve a taxa de resposta em função de cinco variáveis: (1) o impulso de excitação Q , (2) a constante de tempo de decaimento da excitação μ , (3) a constante de saciação β , (4) o teto da taxa de resposta k e (5) a taxa de reforçamento R . A aplicação do modelo a dados de diferentes laboratórios demonstrou sua generalidade. O modelo forneceu uma boa descrição do responder de ratos e pombos trabalhando por diferentes reforçadores sob diferentes condições experimentais.

Os parâmetros da equação mudaram na direção prevista quando ajustados aos dados comportamentais. O impulso de excitação Q se mostrou correlacionado à magnitude do reforçador. A constante de saciação β se correlacionou à taxa de reforçamento, à magnitude do reforçador e à capacidade do organismo. O teto de resposta k variou com a força requerida para responder. A constante de decaimento da excitação μ permaneceu invariável ao longo de

diversas manipulações experimentais, sempre fixada em 6-min. Esse valor de μ também foi estimado por Killeen et al. (1978) que, utilizando um estabilímetro, mensurou quão rapidamente a atividade de pombos decaía após a apresentação de um reforçador.

Além de fornecer um modelo consistente da dinâmica motivacional, o presente estudo demonstrou a utilidade dos dados operantes intra-sessão. Como os esquemas de reforçamento são geralmente mantidos constantes ao longo da sessão, as variações observadas nas taxas de resposta devem ser necessariamente atribuídas a mudanças no nível de excitação, saciação e habituação. Como consequência, os dados intra-sessão oferecem um meio valioso de clarificar a relação entre performance e variáveis motivacionais relevantes.

Finalmente foi demonstrado que, representando a excitação como um parâmetro que varia entre 0 e 1, é possível formalizar a MPR (Killeen, 1994) na forma simples e intuitiva da Equação 12.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BITTAR, E. G. **Within-session responding under several variable interval schedules of reinforcement.** Manuscrito não publicado, 2010.
- CANNON, C. B.; McSWEENEY, F. K. Within-session changes in responding when rate and duration of reinforcement vary. **Behavioural Processes**, v. 34, p. 285-292, 1995.
- CATANIA, A. C. **Learning.** Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1998.
- DEMARSE, T. B.; KILLEEN, P. R.; BAKER, D. Satiation, capacity, and within-session responding. **Journal of the Experimental Analysis of Behavior**, v. 72, p. 407-423, 1999.
- FALK, J. L. Production of polydipsia in normal rats by an intermittent food schedule. **Science**, v. 133, p. 195-196, 1961.
- FALK, J. L. The nature and determinants of adjunctive behavior. In: GILBERT, R. M.; KEEHN, J. D. (Eds.). **Schedule effects: drugs, drinking, and aggression.** Toronto, Canada: University of Toronto Press, 1972.
- KILLEEN, P. R. Mathematical principles of reinforcement. **Behavioral and Brain Sciences**, v. 17, p. 105-172, 1994.
- KILLEEN, P. R. Economics, ecologics, and mechanics: the dynamics of responding under conditions of varying motivation. **Journal of the Experimental Analysis of Behavior**, v. 64, p. 405-431, 1995.
- KILLEEN, P. R.; BIZO, L. A. The mechanics of reinforcement. **Psychonomic Bulletin & Review**, v. 5, p. 221-238, 1998.
- KILLEEN, P. R.; HANSON, S. J.; OSBORNE, S. R. Arousal: its genesis and manifestation as response rate. **Psychological Review**, v. 85, p. 571-581, 1978.
- KILLEEN, P. R.; SITOMER, M. T. MPR. **Behavioural Processes**, v. 62, p. 49-64, 2003.
- MAZUR, J. E. A molecular approach to ratio schedule performance. In: COMMONS, M. L.; HERRNSTEIN, R. J.; RACHLIN, H. (Eds.). **Quantitative analyses of behavior. Vol. 2: Matching and maximizing accounts.** Cambridge, MA: Ballinger, 1982.
- McSWEENEY, F. K. Rate of reinforcement and session duration as determinants of within-session patterns of responding. **Animal Learning & Behavior**, v. 20, p. 160-169, 1992.

- McSWEENEY, F. K. Dynamic changes in reinforcer effectiveness: satiation and habituation have different implications for theory and practice. **The Behavior Analyst**, v. 27, p. 171-188, 2004.
- McSWEENEY, F. K.; HATFIELD, J.; ALLEN, T. M. Within-session responding as a function of post-session feedings. **Behavioural Processes**, v. 22, p. 177-186, 1990.
- McSWEENEY, F. K.; HINSON, J. M. Patterns of responding within sessions. **Journal of the Experimental Analysis of Behavior**, v. 58, p. 19-36, 1992.
- McSWEENEY, F. K.; JOHNSON, K. S. The effect of time between sessions on within-session patterns of responding. **Behavioural Processes**, v. 31, p. 207-218, 1994.
- McSWEENEY, F. K.; ROLL, J. M.; WEATHERLY, J. N. Within-session changes in responding during several simple schedules. **Journal of the Experimental Analysis of Behavior**, v. 62, p. 109-132, 1994.
- McSWEENEY, F. K.; SWINDELL, S.; WEATHERLY, J. N. Exposure to context may contribute to within-session changes in responding. **Behavioural Processes**, v. 43, p. 315-328, 1998.
- McSWEENEY, F. K.; WEATHERLY, J. N.; SWINDELL, S. Within-session changes in key and lever pressing for water during several multiple variable-interval schedules. **Journal of the Experimental Analysis of Behavior**, v. 64, p. 75-94, 1995b.
- MELVILLE, C. L.; RYBISKI, L. R.; KAMRANI, B. Within-session responding as a function of force required for lever press. **Behavioural Processes**, v. 37, p. 217-224, 1996.
- NEVIN, J. A.; GRACE, R. C. Behavioral momentum and the law of effect. **Behavioral and Brain Sciences**, v. 23, p. 73-130, 2000.
- ROLL, J. M.; McSWEENEY, F. K. Within-session changes in operant responding when gerbils (*Meriones unguiculatus*) serve as subjects. **Current Psychology**, v. 15, p. 340-345, 1997.
- SKINNER, B. F. **The behavior of organisms: An experimental analysis**. New York: Appleton-Century Company, 1938.
- WALLACE, M.; SINGER, G. Schedule induced behavior: a review of its generality, determinants, and pharmacological data. **Pharmacology, Biochemistry, and Behavior**, v. 5, p. 483-490, 1976.