

MENSURAÇÃO DA UTILIDADE DOS MEIOS DE TRANSPORTES: UMA ABORDAGEM PSICOFÍSICA

Eiji Kawamoto
Manoel Henrique Alba Soria
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo
José Aparecido da Silva
Universidade de São Paulo - Ribeirão Preto

RESUMO - O objetivo deste trabalho é propor uma expressão matemática que possa traduzir, em termos de índices cardinais, as utilidades relativas dos meios de locomoção. Discorreremos sobre necessidades e desejos, tendência do homem de afastar-se do sofrimento e de buscar o bem-estar, e também sobre a utilidade que o homem vê nas coisas capazes de aliviar essa ansiedade. No caso específico de transporte de pessoas, na situação onde a viagem é vista como uma atividade intermediária, sugerimos que a utilidade intrínseca dos meios de locomoção seja fundamentada no princípio de que todos nós, independente da nossa situação sócio-econômica, procuramos abreviar o tempo e o esforço físico dispendidos na transposição da distância que separa o destino da origem. Propomos então que a utilidade relativa de um meio de transporte seja estimada em função destas variáveis. Na literatura de psicofísica e ergonomia buscamos a maneira como usualmente são quantificadas as sensações eliciadas por um conjunto de estímulos físicos ou sócio-econômicos. Concluímos que o índice de utilidade de um modo de transporte de passageiros pode ser obtido mediante uso de função multiplicativa cujos fatores são potências dos seguintes estímulos físicos: distância em linha reta entre a origem e o destino da viagem, duração da mesma, e energia média consumida por unidade de tempo.

UTILITY MEASUREMENT OF THE MEANS OF TRANSPORTATION: A PSYCHOPHYSICAL APPROACH

ABSTRACT - The objective of this paper is to develop a mathematical equation that expresses, in terms of cardinal indices, the relative utilities of

Endereço: Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes, Campus da USP, 13560, São Carlos, SP.

the means of transportation. We discussed about men's necessities and desires, men's tendencies of avoiding pain and searching welfare, and also the utilities perceived by them in ways that can alleviate such anxieties. In the specific case of passenger transportation, in a situation where the travel is seen as an intermediate activity, we proposed that intrinsic utility of the means of transportation can be fundamented on the following principle: all of us, independently of our socioeconomic situation, seek to abbreviating the time and physical effort spent by transposition of the distance from origin to destination. For this reason we propose that relative utility of each transportation mode be evaluated as a function of these parameters. The literature on Psychophysics and Ergonomics was reviewed searching ways by which the sensation elicited by a set of physical or socioeconomic stimuli are usually quantified. We concluded that the travel mode utility index can be obtained through a multiplicative function whose factors are powers of the following physical stimuli: straight line distance from origin to destination, time, and energy spent by time unity.

O homem é capaz de avaliar a utilidade das coisas? A utilidade pode ser quantificada? Frequentemente deparamos com este tipo de indagações. A resposta para a primeira questão é simples e afirmativa, pois a toda hora estamos comparando coisas, principalmente quando fazemos compras. Comparamos mercadorias entre si, mercadoria com o seu preço, e assim por diante. Isto significa que os bens que compramos não são escolhidos aleatoriamente e que passam por um processo de avaliação. É uma evidência de que temos a capacidade de avaliar subjetivamente a importância ou utilidade das coisas.

Quanto à quantificação da utilidade, ela não é tão simples. Basicamente, isto se deve a duas razões: a) a utilidade não é uma propriedade das coisas, e sim uma qualidade vislumbrada apenas na medida em que nós passamos a vê-las como algo capaz de reduzir o nosso estado de necessidade e desejo. Esse fato nos leva a concluir que é praticamente impossível quantificar a utilidade absoluta de qualquer que seja o bem. Teremos, pois, de tratá-la em termos relativos; b) não dispomos do pleno conhecimento de como e quais informações referentes a cada coisa devem ser consideradas na quantificação da utilidade relativa. Porém, estudos realizados no campo da psicofísica, economia, ergonomia, etc., nos fornecem subsídios, ainda que vagos, de como os diferentes estímulos são processados no nosso cérebro para formarmos a noção de sua valia, importância ou utilidade. É nesse conhecimento que iremos fundamentar a nossa proposta para a quantificação da utilidade do modo de viagem baseando-se no paradigma do emparelhamento intermodal para atributos multidimensionais.

Assim, vamos antes de mais nada tecer alguns comentários a respeito das necessidades e desejos, colocar a utilidade como nexos entre estes e as coisas, para daí extrairmos os elementos fundamentais para a elaboração da proposta.

Necessidades e desejos

O ser humano tende a se afastar do sofrimento e a aumentar o seu bem-estar. A primeira manifestação dessa tendência é procurar suprir as suas necessidades; uma vez satisfeitas as necessidades, procura agora satisfazer aos seus desejos. Mas à medida que os desejos são supridos, vão surgindo outros desejos de ordem superior, numa espiral sem fim. As necessidades e desejos de um ser humano foram muito discutidos pelos economistas políticos, principalmente no século passado, quando se procurava um princípio básico sobre o qual seriam posteriormente fundamentadas as teorias sobre o consumidor. De fato, as inovações introduzidas pelas teorias modernas restringem-se basicamente à relaxação de certas hipóteses estabelecidas no século passado para evitar as suposições irrealistas e à sofisticação matemática da teoria, conforme o comentário de Simonsen (1971) a respeito das Teorias de Hicks e de Samuelson com referência à Teoria de Marshall. Com efeito, Hicks (1939/1987), por exemplo, nem chega a tecer considerações a respeito da natureza humana, ou de suas necessidades e desejos na sua obra, passando quase que imediatamente a reformular a Teoria de Marshall. Por essa razão, hoje, mais de um século depois da publicação de obras de Gossen, Jevons, Walras, Menger, Marshall e muitos outros economistas, pelo menos as suas idéias sobre a natureza do homem, suas necessidades e desejos permanecem ainda atuais. Segundo Menger (1871*/1987, p. 259), as necessidades derivam de nossos instintos e impulsos, e estes estão radicados em nossa natureza; o não atendimento das necessidades tem como conseqüência o aniquilamento, levando o atendimento insuficiente à mutilação de nossa natureza. Por conseguinte, continua Menger, zelar pelo atendimento das nossas necessidades significa o mesmo que zelar pela nossa vida e pelo nosso bem estar; isso constitui o mais importante dos empenhos humanos, pois representa o pressuposto e a base de todos os demais cuidados e empenho do homem. Por sua vez Marshall (1890*/1985) afirma que as necessidades e os desejos humanos são inúmeros e de várias espécies, mas geralmente são limitados e suscetíveis de serem satisfeitas, de maneira que o homem incivilizado não tem mais necessidades do que o animal. No entanto, à medida em que vai progredindo, a quantidade de necessidades aumenta e se diversifica ao mesmo tempo em que surgem novos métodos capazes de satisfazê-las. Passa a desejar não apenas uma maior quantidade das coisas que está acostumado a consumir, como também deseja que essas coisas sejam de maior qualidade; deseja maior variedade, bem como as coisas capazes de satisfazer as novas necessidades que vai adquirindo. Ainda segundo Marshall, quando aumenta o grau de civilização do homem, quando o seu espírito começa a se desenvolver e até mesmo quando as suas paixões animais começam a se associar com uma atividade mental, suas necessidades tornam-se rapidamente mais sutis e mais diversificadas e até mesmo nos menores detalhes da vida ele passa a desejar a variedade pela variedade. Esse ponto foi salientado por Senior que, segundo Jevons (1871*/1987, p. 48),

* Indica a data de publicação da primeira edição. Portanto, não necessariamente corresponde à data de edição da versão da qual a obra consultada foi traduzida. Este artifício foi adotado para que os leitores pudessem ter a noção exata da época em que a referida obra foi escrita.

chamou atenção para a lei da variedade das exigências humanas: "As necessidades da vida são tão poucas e simples que um homem logo se satisfaz com relação a elas, e passa a querer estender o âmbito do seu prazer. Seu primeiro objetivo é variar sua alimentação, mas logo surge o desejo de variedade e elegância no vestir; e a isso sucede o desejo de construir, ornamentar e mobiliar - gostos que uma vez existentes são absolutamente insaciáveis e parecem aumentar com cada progresso da civilização". Esse comportamento do homem era apontado muito antes por Banfield (citado por Jevons, 1871*/1987) que em 1844 já dizia: o homem padece das necessidades mais baixas juntamente com os irracionais; mas ele sente mais tortemente que o resto do mundo animal os tormentos da fome e da sede, etc., porque tem a consciência de que ele não tem qualquer razão para se sujeitar a tais imposições. E indicou a base em que os economistas políticos deveriam construir a teoria da produção e do consumo, ou seja, *na base complexa de baixas necessidades e altas aspirações.* '

Utilidade

Bentham (1789*/1979) foi o primeiro a empregar o termo utilidade com o sentido bem próximo ao do uso atual em economia. Ele atribuiu ao termo o sentido de capacidade que um bem possui para satisfazer a necessidade ou o desejo de uma forma direta ou indireta. Atualmente, sabemos que a utilidade é atribuída às coisas apenas na medida em que exista necessidade ou desejo em relação a elas. Já em 1854, Hermann Gossen (1810-1858), ao tecer considerações sobre a utilidade, na sua obra intitulada "Desenvolvimento das leis do comércio humano e das conseqüentes regras de ação humana", tomou o cuidado de assinalar que não há tal coisa como utilidade absoluta, sendo a utilidade meramente uma relação entre uma coisa e uma pessoa. E prossegue afirmando que partes separadas do mesmo objeto que dá prazer têm graus muito diferentes de utilidade e, em geral, para cada pessoa, apenas um número limitado dessas partes tem utilidade; qualquer acréscimo além desse limite é inútil; mas o ponto de inutilidade só é alcançado depois de a utilidade ter passado por todos os estágios de intensidade. Nesse sentido, a opinião de Gossen coincide com as de Jevons e Menger, e contrasta com a de Bentham. Jevons (1871*/1987), assim como Gossen, não deu ao termo utilidade a conotação de propriedade de um objeto, como fez Bentham. Na concepção de Jevons, embora a utilidade seja uma qualidade das coisas, ela não é uma qualidade inerente, de maneira que a utilidade poderia ser melhor definida como uma circunstância das coisas que surge da relação destas com as exigências do homem. Também Menger (1871*/1987), ao discutir a natureza dos bens em "Princípio de economia política" e colocá-los como nexos causais entre o estado de necessidade para o estado de satisfação dessa necessidade, deixou clara a sua concepção a respeito da utilidade. Disse: "as coisas capazes de serem colocadas em nexos causais com a satisfação de nossas necessidades humanas denominam-se utilidades; denominam-se bens na medida em que reconhecemos esse nexo causal e temos a possibilidade e capacidade de utilizar as referidas coisas para satisfazer efetivamente as nossas necessidades".

A utilidade assim definida necessariamente teria de refletir o grau de saciedade proporcionado ou proporcionável por uma dada quantidade de bem, num determinado

período de tempo. Sobre essa característica Gossen enunciou uma lei natural do prazer: "o aumento do mesmo tipo de consumo produz prazer continuamente decrescente, até o ponto de saciedade". A validade desta é usualmente demonstrada por absurdo. Suponha, por hipótese, que o aumento do mesmo tipo de consumo produza prazer continuamente crescente; neste caso a tendência do consumidor seria a de concentrar o consumo apenas num tipo de bem, pois o prazer cresceria em proporção maior do que o aumento de quantidade. Porém, na realidade, o homem possui a tendência de diversificação, o que contraria a suposição.

Utilidade do modo de viagem

No dia-a-dia nós exercemos diferentes atividades, tais como trabalho, estudo, compras, lazer, etc. Por via de regra, essas atividades não são exercidas no mesmo local. Daí porque a locomoção de um lugar para outro torna-se necessária. E nesse contexto a viagem é considerada atividade intermediária que fornece suporte às outras atividades. Assim, podemos considerá-la um mal necessário. Conseqüentemente, é natural que o homem queira minimizar os efeitos inerentes à transposição de uma certa distância, quais sejam: perda de tempo, desgaste físico, e risco. Por essa razão, propomos que a utilidade de um meio de locomoção seja expressa mediante distância em linha reta entre a origem e destino da viagem, duração, e energia por unidade de tempo requerida pelo modo de viagem. Quanto à segurança, ela não será considerada neste trabalho por ser um atributo de difícil quantificação. Essa utilidade, denominada por Kawamoto (1988) de utilidade intrínseca do meio de locomoção, passa a ser um nexos entre a necessidade de transpor uma distância e o modo de viagem. E, independente da classe sócio-econômica a que pertença, o homem busca primordialmente estas qualidades no modo de viagem. Pretendemos, neste artigo, demonstrar que é possível, a partir do paradigma do emparelhamento intermodal aplicado aos atributos multidimensionais, mensurar a utilidade do modo de viagem. Esta utilidade, embora considerada uma dimensão não física, pode todavia ser mensurada indiretamente a partir de três atributos de dimensões físicas: distância entre a origem e o destino, duração da viagem e energia física dispendida por unidade de tempo. É importante mencionar que estes três atributos unidimensionais são bem caracterizados por funções de potência com expoentes bem definidos (para maiores detalhes ver Stevens, 1975; Krueger, 1989).

Quantificação da utilidade do modo de viagem

A História registra que a quantificação da utilidade de coisas era aventada há muito tempo. Já em 1728, o matemático Gabriel Cramer havia proposto a hipótese de que o valor subjetivo de uma unidade monetária adicional seria inversamente proporcional à raiz quadrada de unidades possuídas. A hipótese de Cramer só veio a ser conhecida porque Daniel Bernoulli mencionou-a numa nota de pé de página do seu artigo, publicado em 1738, onde faz críticas a essa hipótese. Nesse mesmo artigo, Daniel Bernoulli sugeriu a hipótese de que o significado econômico para um indivíduo, de

um dólar adicional, é inversamente proporcional ao número de dólares que ele já possui (para maiores detalhes ver Schumpeter, 1955; Stevens, 1975). A hipótese de Cramer dá origem a uma função potência, e a de Bernoulli a uma função logarítmica.

É provável que Jeremy Bentham (1748-1832) não tenha tido conhecimento dessas hipóteses. Bentham, como legislador, estava empenhado em construir uma legislação fundamentada na natureza humana. Convicto de que o homem é hedonista, Bentham procurou analisar quaisquer ações humanas com base no princípio de que o homem procura o prazer e evita a dor. Mas para isso seria necessário medir o prazer e a dor. Tentou usar o dinheiro como medida destas grandezas. Pois foi precisamente a constatação de que o dinheiro tinha significados diferentes para diferentes pessoas, de acordo com as diversas quantias que possuísem, que levou Bentham a desistir de medir o prazer e o sofrimento em termos de dinheiro.

No início deste século, Pareto (1909*/1987) tentou aplicar uma lei psicofísica, a Lei de Fechner, no contexto da utilidade de uma mercadoria. A idéia surgiu por causa da semelhança existente entre a Lei de Fechner e a Lei da utilidade marginal decrescente. Pareto pretendeu fazer com que a Lei da utilidade marginal decrescente dependesse da Lei de Fechner, mas isso envolveria algumas dificuldades, pois a utilidade marginal de uma mercadoria depende da quantidade consumida, ou do grau de saciedade atingida por uma pessoa; além disso, no mundo econômico existem muitos casos que se distanciam demasiado dos fenômenos aos quais se aplica a Lei de Fechner. De fato, encontram-se no cotidiano muitos casos em que a aplicação da lei psicofísica não parece ser possível. A hipótese da psicofísica parte do pressuposto de que é possível expressar o valor subjetivo de um objeto em função do valor objetivo, e que isso pode ser feito mediante uma expressão matemática. Assim, para se conhecer o valor subjetivo de um objeto seria necessário conhecer os seus valores objetivos. Conseqüentemente, quando um objeto apresenta algum atributo de difícil quantificação, também o seu valor subjetivo torna-se insólito.

A discordância a respeito da forma da função psicofísica tem sido uma das controvérsias marcantes desta área. Porém ela não é única. Existem outras dúvidas que têm suscitado calorosos debates. Uma delas é se essas leis, estabelecidas através de respostas, realmente relacionam os estímulos e as sensações. Há uma certa tendência a admitir que as relações obtíveis não são estímulos-sensações, mas sim estímulos-respostas, e que a verdadeira variável subjetiva permanece subjacente, não observável diretamente (ver, por exemplo, Ekman e Sjoberg, 1965).

A despeito dessas discordâncias e dúvidas, há motivos para otimismo: centenas de experimentos realizados nos últimos quarenta anos têm corroborado a hipótese de que a função matemática que melhor se ajusta aos dados experimentais é a de potência. E mais, a maior contribuição que a psicofísica pode dar ao transporte não está propriamente na relação funcional entre estímulo e sensação, e sim no conceito de emparelhamento intermodal, através do qual pode-se estabelecer uma relação funcional entre duas modalidades de estímulos. O emparelhamento intermodal apresenta grande aplicabilidade. De um lado porque através dele será possível relacionar quaisquer estímulos com um índice cardinal; de outro porque esse procedimento torna desnecessário envolver-se na discussão sobre a verdadeira forma da função psicofí-

sica, pois conforme veremos adiante, tanto os seguidores de Fechner como os de Stevens concordam que a expressão matemática que relaciona dois estímulos de naturezas diversas é a de potência.

As leis psicofísicas

A questão da relação entre o valor objetivo ou a intensidade do estímulo e o valor subjetivo ou a magnitude da sensação tem sido um dos temas mais atraentes da psicofísica e tem chamado a atenção dos cientistas por mais de um século. De fato, um tópico central nesta área tem sido a forma da lei psicofísica e, por conseqüência, a busca de uma simples equação que descreva como estão relacionadas as impressões subjetivas às intensidades dos estímulos.

a) *Lei de Fechner*

A primeira expressão matemática foi introduzida por Fechner em 1850, quando ele propôs que a magnitude da sensação é uma função linear do logaritmo da intensidade do estímulo (Stevens, 1975; Baird e Noma, 1978). Em 1860 ele publicou os resultados de 10 anos ininterruptos num livro, agora clássico, intitulado *Elemente der Psychophysik*. Nesse livro ele relata a origem da lei psicofísica que o tornou famoso. Apesar do estudo teórico da psicofísica ter sido iniciado por Fechner, trabalhos empíricos relevantes tinham sido realizados pelo menos 100 anos antes por Bouguer, em 1760 (Baird e Noma, 1978). Os dados registrados por Weber entre 1829 e 1834 foram, porém, os mais influentes em termos de estimular os desenvolvimentos iniciais e em manter o interesse pela psicofísica desde aquela época até os dias atuais. Na realidade, a lei de Fechner é baseada no trabalho realizado por Weber e foi edificada sobre o conceito de discriminação entre estímulos confundíveis ou muito próximos na escala física. A lei repousa fundamentalmente em dois princípios. Primeiro, que a diferença em magnitude psicológica entre duas magnitudes físicas é proporcional ao número de d.a.p. (diferença apenas perceptível) separando-as. Segundo, o tamanho de intervalo de d.a.p. é proporcional ao tamanho do estímulo tomado como padrão no momento do julgamento. A segunda premissa, conhecida atualmente como Lei de Weber, foi expressa matematicamente por Fechner como $\Delta E/E = c$, onde ΔE é o tamanho da d.a.p., E é a intensidade do estímulo padrão e c é uma constante. A constante c indica a proporção pela qual o estímulo padrão deve ser acrescido a fim de se detectar uma mudança. Isto significa que a magnitude absoluta de $A E$ aumenta quando E aumenta, mas a magnitude relativa permanece constante.

Aceitando como válidos a equação de Weber e os dois princípios de Fechner, torna-se possível derivar a equação que relaciona estímulo físico e a sensação. Seja E_0 o limiar absoluto (o menor estímulo necessário para eliciar sensação), e c a constante de Weber para a modalidade sensorial em questão. De acordo com a segunda premissa de Fechner, para que a sensação seja modificada deve-se acrescentar ao estímulo E_0 no mínimo um estímulo correspondente a $(c.E_0)$. Chamando o novo estímulo de E_1 , tem-se: $E_1 = (1 + c) E_0$. Tomando agora como base o estímulo E_1 , o es-

tímulo deve ser aumentado até $E_2 = (1 + c) E_1 = (1 + c)^2 E_0$. Eo para que seja notada a diferença de sensação. Por indução, o estímulo E_n pode ser escrito como mostra a Equação (1).

$$E_n = (1 + c)^n E_0. \quad (1)$$

De acordo com o raciocínio de Fechner, para se chegar à sensação correspondente ao estímulo E_n , há que passar por n unidades de d.a.p. Atribuindo-se valor unitário à diferença de sensação correspondente à d.a.p., a sensação correspondente a E_n será:

$$S = n = [1/\ln(1 + c)] \cdot \ln(E_n/E_0) \quad (2)$$

fazendo $k = [1/\ln(1 + c)]$, chega-se à equação (3), conhecida como Lei de Fechner.

$$S = k_1 \cdot \ln(E_n/E_0) \quad (3)$$

Esta derivação, que é comumente encontrada na literatura (ver por exemplo, D'Amato, 1970), também pode ser obtida através da equação diferencial, que dentro de nossos objetivos, é muito mais interessante e apropriada, visto que ela permite a comparação com uma outra que dá origem à Lei de Potência. No entanto, para isso é necessário aplicar o que Fechner denominou "princípio auxiliar matemático", um artifício matemático utilizado para converter uma expressão escrita em termos de diferenças discretas em equação diferencial.

De acordo com a Lei de Weber, desde que $\Delta E/E$ permanece constante igual a c , ΔS permanece constante para qualquer valor de E . Fechner supôs que se a variação relativa de $\Delta E/E$ provoca ΔS , a variação relativa a $2\Delta E/E$ provoca $2\Delta S$, e assim por diante, as variações ΔE e ΔS permanecem proporcionais entre si, enquanto continuarem muito pequenas. Assim:

$$S = k_1 \cdot \Delta E/E \quad (4)$$

O "princípio matemático auxiliar" empregado por Fechner supõe que um intervalo de d.a.p. pode ser dividido em diferenças infinitesimais e integradas sem distorcer os resultados. Reescrevendo a Equação (4) em termos de equação diferencial, tem-se:

$$dS = a \cdot k_1' \cdot dE/E \text{ ou}$$

$$dS = k_1 \cdot dE/E \quad (5)$$

A constante a é necessária para converter valores discretos em valores contínuos. Integrando a equação (5) desde E_0 até um valor genérico E , tem-se:

$$S = k_1 \cdot \ln(E/E_0)$$

que é a própria expressão (3). Às vezes essa expressão é encontrada simplesmente na forma:

$$S = k \log E \quad (6)$$

onde S é a magnitude da sensação que um estímulo elicia, E é a magnitude física do estímulo e k é uma constante que depende do valor da fração de Weber.

Embora o princípio de Weber esteja correto no seu fundamento, a lei apresenta nítidas limitações que precisam ser consideradas e, por conseqüência, trazem questões fundamentais quanto à legitimidade da Lei de Fechner. Em primeiro lugar, a Lei de Weber, para uma dada modalidade sensorial, tem-se mostrado válida somente para valores médios de estímulos. Ela não se mantém com estímulos muito fracos ou muito fortes.

Várias equações alternativas têm sido sugeridas para substituir a Lei de Weber (ver especialmente Guilford, 1954). Cada uma delas, todavia, é designada para certas condições experimentais especiais e nenhuma delas tem tido aceitação universal (Baird e Noma, 1978, p. 49). A não-constância da fração c de Weber na proximidade do limiar inferior pode ser levemente corrigida adicionando-se uma constante à formulação original de Weber, uma possibilidade notada por Fechner e Helmholtz no século passado, segundo Miller (1947, em Stevens, 1975). Em segundo lugar, o "princípio matemático auxiliar", empregado por Fechner para legitimar a derivação de sua lei, não se aplica a todas as funções de Weber (ver, por exemplo, Engelmann, 1966; Stevens, 1975).

b) *Lei de Potência*

Porém, mesmo antes do término do século XIX, algumas dúvidas já tinham sido levantadas quanto à acurácia da Lei de Fechner. Plateau, em 1872, havia sugerido que razões iguais entre os estímulos produziriam razões de sensações iguais. Apesar disso, por quase 100 anos a Lei Psicofísica de Fechner dominou a psicofísica. Somente a partir dos anos 50 é que alguns pesquisadores começaram seriamente a questionar a validade da Lei de Fechner. Stevens (1975) descreve muito bem este desenvolvimento. Foi durante este período que Stevens iniciou uma série de experimentos para determinar uma métrica mais adequada à magnitude sensorial ou perceptiva. A evolução deste enfoque e do pensamento de Stevens é delineada muito claramente pelo próprio fundador da nova psicofísica (Stevens, 1975). Aproximadamente 35 anos atrás, Stevens propôs que as sensações não seriam incrementos constantes, mas que razões iguais entre os estímulos produziriam razões iguais entre as respostas. De fato, 100 anos depois da publicação do *Elemente der Psychophysik* de Fechner, Stevens, em 1961, publicou um artigo intitulado "To honor Fechner and repeal his Law", cuja forma original tinha sido apresentada num simpósio em homenagem ao criador da velha psicofísica. Nesse artigo Stevens mostra que a lei logarítmica deveria ser substituída pela lei de potência. Na verdade, Stevens seguindo a sugestão feita e renunciada por Plateau um século antes, sugeriu outra lei que afirma

que o logaritmo da magnitude da sensação é uma função linear do logaritmo da magnitude da intensidade do estímulo. Em notação matemática pode-se escrever:

$$S = k \cdot E^n$$

onde S é a magnitude da sensação, E é a magnitude física do estímulo, k é uma constante arbitrária que depende da unidade de medida, e n é o expoente que caracteriza a modalidade sensória em questão (Stevens, 1961). A título de curiosidade, a Tabela 1 traz uma série de expoentes característicos das modalidades sensoriais.

Tabela 1 - Expoentes da função-potência para algumas modalidades perceptivas

MODALIDADE OU ATRIBUTO	EXPOENTE
Intensidade sonora	0,28
Tonalidade	0,77
Tempo	0,91
Brilho	0,26
Choque elétrico	2,80
Distância visual	0,97

Fonte: Da Silva e Macedo (1982).

Vale lembrar que a Lei de Potência se estabeleceu inicialmente de maneira empírica, como resultado de inúmeros experimentos. No entanto, dispõe-se hoje de elemento no qual muitos psicólogos baseiam a sua fundamentação teórica. Segundo estes, também ao nível da sensação existe um princípio semelhante à Lei de Weber, e que seria: "a variabilidade medida em unidades subjetivas varia linearmente com a magnitude psicológica medida nas mesmas unidades". Este princípio, conjecturado por Brentano, em 1874, é atualmente mais conhecido como Lei de Ekman, por este texto popularizado (Stevens, 1975; Teghtsoonian, 1974). Matematicamente, a Lei de Ekman pode ser representada como sendo S ($S = b \cdot S$), onde S é a variação apenas perceptível na sensação, em unidades subjetivas, S é a magnitude da sensação nas mesmas unidades, e b é uma constante de proporcionalidade. A propósito, segundo Teghtsoonian (1971, 1974) existem evidências de que a constante b da Lei de Ekman tem o mesmo valor de 0,03 para vários contínuos sensoriais.

Considerando, como na derivação da Lei de Fechner, que E e S possam ser substituídos pelos diferenciais dE e dS, respectivamente, de acordo com o "princípio matemático auxiliar", e admitindo como válidas as leis de Weber e de Ekman, as variáveis podem ser relacionadas da seguinte forma:

$$dS = b \cdot S \dots \dots \text{Lei de Ekman}$$

$$dE = c \cdot E \dots \dots \text{Lei de Weber}$$

A divisão da Lei de Ekman pela Lei de Weber, membro a membro, e posterior remanejamento dos fatores resulta em equação diferencial dada pela expressão (8). Deve-se, no entanto, ter claro que a divisão membro a membro entre as duas leis só faz sentido se dS e dE são correspondentes, ou seja, se o dS é eliciado pelo dE .

$$dS/S = n \cdot dE/E \quad (8)$$

onde $n = b/c$ é uma constante da proporcionalidade entre as variações relativas infinitesimais da sensação e do estímulo, e o seu valor seria uma característica da modalidade sensorial. A solução da equação diferencial (8) é uma função do tipo $S = k \cdot E^n$, que é a própria equação (7), a Lei de Stevens.

Observando as duas equações diferenciais (5) e (8), a partir das quais originaram-se a função logarítmica (6) e a função de potência (7), ambas baseadas na Lei de Weber, nota-se que a diferença é sutil:

$$dS = k_1 \cdot dE/E \text{ e}$$

$$dS/S = n \cdot dE/E$$

A controvérsia que se estabeleceu em torno deste assunto, ou seja, da verdadeira forma da função psicofísica, ainda persiste por causa da dificuldade de se aferir se a variação provocada na sensação pela diferença apenas perceptível do estímulo é absoluta ou relativa.

De maneira similar às leis de Weber e de Fechner, e a despeito de um grande número de experimentos que a sustenta, a Lei de Stevens, assim popularizada, é também questionada como uma lei psicofísica universal, pois encontra-se, freqüentemente, dados que não a corroboram. Alguns pesquisadores têm notado (ver Da Silva e Macedo, 1982,1983; e Da Silva, Santos e da Silva, 1983) que quando os valores dos estímulos estão muito próximos ao limiar absoluto, a relação entre os logaritmos do estímulo e do seu valor subjetivo deixa de ser linear. O valor de n que deveria ser constante passa a crescer à medida que se aproxima do limiar. Ekman (1956, 1958, 1959), Lockner e Burger (1961) e Stevens (1961) propuseram modificações, conforme será visto mais adiante, que restauram a relação linear. Em todas elas a correção é efetuada com a subtração de uma constante (ver Ekman, 1956; Lockner e Burger, 1961). Embora tenha sido aventada a possibilidade desta constante ser o limiar absoluto, empiricamente isto não tem tido muito sucesso, sendo mais conveniente denominá-la limiar efetivo, a partir do qual um estímulo torna-se efetivamente perceptível. Por exemplo, num ambiente onde haja ruído sonoro, um estímulo sonoro da mesma natureza somente será perceptível se ela for maior do que a ambiental. Esse ruído ambiental pode ser considerado limiar efetivo.

Outro ponto que tem contrariado a hipótese da Lei de Potência como uma lei universal é a variabilidade do expoente da função de potência. A variabilidade do expoente tem fomentado muitas discussões teóricas e experimentais justamente porque a Lei de Potência está assentada na suposição de que ele é constante. Por exemplo,

Kunnapas (1960) e Da Silva (1985a, 1985b) têm mostrado que o expoente da função de potência para distância aparente é afetado substancialmente pela amplitude das distâncias físicas, que é a razão entre a maior e a menor das distâncias empregadas no experimento. Tem sido observado que o expoente varia inversamente com o aumento da amplitude dos estímulos de modo que quanto maior a amplitude menor o expoente. Além da amplitude, outros fatores têm influído no valor do expoente. São eles: presença ou ausência de um estímulo-padrão, posição do estímulo-padrão na série de estímulos utilizados, etc.

Estes fatos sugerem que a hipótese da função potência não é plenamente compatível. Kawamoto e Da Silva (1985) analisaram a equação diferencial que originou a função potência e notaram uma falha: está implícita na equação diferencial que a todo estímulo corresponde uma sensação. Isso não é totalmente verídico. Desde Weber sabe-se que somente a partir do limiar absoluto (ou efetivo) torna-se possível obter respostas. A equação diferencial (8) não leva em conta tal fato, provocando incompatibilidade para estímulos próximos ao limiar. Estes autores sugerem, então, uma modificação na equação (8), no sentido de substituir o estímulo absoluto E pelo estímulo efetivo (E - E₀). A equação diferencial que resulta dessa modificação dá origem à função que foi sugerida por Ekman (Equação 9), em 1956, apenas com base em observações empíricas.

$$S = k \cdot (E - E_0)^n \quad (9)$$

Além disso, esta modificação permite explicar várias questões levantadas sobre a variabilidade observada no expoente da função potência. Pode-se ainda concluir, a partir do gráfico de expoente X estímulo (ver Kawamoto e Da Silva, 1985, p. 71) que o expoente da função potência deve ser estimado com estímulos maiores que 20 vezes o valor do limiar efetivo, para evitar a obtenção de expoente que não seja o representativo da modalidade sensorial. Assim, desde que empreguem os estímulos que não estejam próximos ao limiar efetivo e a amplitude seja razoavelmente grande, a Lei de Potência pode ser usada sem restrição. A utilização da Lei de Potência Modificada seria imprescindível apenas nos casos em que o emprego dos estímulos próximos ao limiar fosse inevitável, ou nos casos de mascaramento ou inibição de sensação (para maiores detalhes a respeito ver Stevens, 1975).

Existe, além da modificação proposta por Ekman, uma série de outras. No entanto são propostas cujas funções apresentam um grande número de parâmetros, aparentemente mais preocupadas em descrever o comportamento da curva do que com o aspecto psicofísico (ver, por exemplo, a equação proposta por Baird e Stein, 1970). É interessante lembrar que existe uma infinidade de funções monotonicas que poderiam representar a relação psicofísica. É evidente que quanto maior for o número de parâmetros tanto maior será o grau de ajuste ou de aderência aos dados obtidos. O mais importante, todavia, não é ter simplesmente uma equação perfeitamente ajustada, mas sim que a função psicofísica esteja fundamentada na lógica do fenômeno sensorial e que apresente uma explicação adequada dos mecanismos e processos subjacentes ao fenômeno em questão.

Emparelhamento intermodal

À parte as modificações introduzidas nas funções psicofísicas com o intuito de obter um melhor ajuste aos dados experimentais, o embate entre seguidores da Lei de Fechner e a Lei de Potência tem se acirrado cada vez mais. De lado a lado têm sido apresentados argumentos que corroboram as respectivas teses. Dentre eles, o paradigma do emparelhamento intermodal foi o método mais elegante empregado por Stevens, na tentativa de confirmar a Lei de Potência. Como será visto, o método do emparelhamento intermodal tornou-se algo de fundamental importância dentro da psicofísica.

Sabe-se que toda modalidade de mensuração é exercício de emparelhamento. O homem primitivo contava o número de cabeças de gado do seu rebanho emparelhando-os com pedras. Uma distância é normalmente medida através do emparelhamento com os múltiplos de uma unidade de comprimento, seja ela arbitrária ou padronizada, e assim por diante. O procedimento na mensuração da sensação não é diferente. Emparelha-se a intensidade da sensação com uma unidade qualquer. Assim, submetido a um estímulo, o sujeito sente a sua intensidade e emparelha-a com aquilo que lhe é mais familiar - o número (para maiores detalhes ver Stevens, 1975). Esse procedimento possibilita a construção da escala de sensação cuja relação com a escala de estímulo é representada por lei psicofísica.

Seria possível emparelhar, ao invés de contínuo sensório com números, dois diferentes contínuos sensórios? Para responder a esta questão Stevens construiu, em 1958, um equipamento que permitia ao mesmo tempo estimular diferentes modalidades. Ao sujeito cabia manipular o controlador de um dos estímulos de modo que a sensação provocada por este parecesse igual à causada por outro. Em outras palavras, este equipamento proporcionava um teste de transitividade da escala sensorial em que,

$$\text{se } A = B \text{ e } A = C \text{ então } B = C.$$

Suponha que um observador faça a estimativa de magnitudes de duas modalidades perceptivas diferentes, 1 e 2. Em seguida, duas funções de potência são ajustadas de modo usual, de forma que

$$S_1 = k_1 \cdot E_1^{n_1} \quad \text{e} \quad S_2 = k_2 \cdot E_2^{n_2}$$

onde n_1 e n_2 são os expoentes característicos destas modalidades. Quando S_1 e S_2 são emparelhados em vários níveis de intensidade, a equação resultante será de potência, dada pela Equação (10).

$$E_2 = (k_1/k_2)^{1/n_2} \cdot E_1^{(n_1/n_2)} \quad (10)$$

A representação desta expressão em coordenadas *di-log* resulta em reta com a inclinação igual à razão n_1/n_2 dos expoentes originais obtidos através do convencional

método de estimação de magnitude. Como os expoentes podem ser calculados a partir de dados observáveis, esta relação é plenamente testável. A verificação desta relação que envolve diretamente sensações entre duas modalidades constitui-se em forte evidência da validade do método de estimação de magnitude e, por consequência, da Lei de Potência (Da Silva, 1985b). De fato, Stevens (1975, p. 113) mostra que a inclinação das retas resultantes do emparelhamento intermodal, das diversas modalidades sensoriais com a força dinamométrica, difere apenas da ordem de 4,4% das inclinações previstas.

Apesar desse argumento, o emparelhamento intermodal como instrumento para confirmação da Lei de Potência não obteve a aceitação geral. A razão central disso é que ainda permanece a dúvida quanto à afirmação de que se está medindo a sensação. McKenna (1985), por exemplo, afirma que a relação observada nos julgamentos psicofísicos é entre estímulo e resposta, e não entre estímulo e sensação. A dúvida se acentua ainda mais quando se analisa a nota de Ekman (1964) intitulada "Is the Power Law a special case of Fechner's Law?", na qual, para o propósito de discussão, o autor supõe que a Lei de Fechner descreva adequadamente a relação entre quaisquer variáveis de estímulo, incluindo a variável número, e a correspondente variável subjetiva: seja E qualquer variável de estímulo, N a variável particular de estímulo consistindo de números, e SE e SN as variáveis subjetivas correspondentes. Supondo então a Lei de Fechner, tem-se:

$$SE = aE + bE \cdot \log EE \quad \text{e} \quad SN = aN + bN \cdot \log EN .$$

O sujeito é instruído a dar uma estimação numérica, isto é emparelhar um estímulo N ao estímulo E tal que:

$$SN = SE . \quad \text{Segue daí que } N = k \cdot E^n .$$

Assim, a função potência é verificada. De maneira similar, este tipo de emparelhamento poderia ser realizado entre diferentes modalidades e como resultado obter-se-ia a função de potência. Dessa forma, o paradigma do emparelhamento intermodal que serviria de suporte para a Lei de Potência, serve também para apoiar a Lei de Fechner.

Para reforçar a idéia de que quando se faz o emparelhamento intermodal não é essencial conhecer a forma da verdadeira função psicofísica, pode-se demonstrar matematicamente que a inclinação da reta resultante do emparelhamento, traçada em coordenadas *di-log*, é igual, seja admitindo válida a Lei de Potência ou a Lei de Fechner.

Em primeiro lugar vamos supor que a verdadeira lei psicofísica seja a de Potência. O expoente resultante do emparelhamento entre as modalidades 1 e 2, com E_2 colocada no eixo das ordenadas e E_1 no eixo das abscissas, é dado pela razão $n = n_1 / n_2$, onde n_1 e n_2 são obtidos a partir das frações de Ekman (b) e de Weber (c). Lembrando que existem evidências de que a fração de Ekman tem o mesmo valor de 0,03 para vários contínuos sensoriais (ver Teghtsoonian, 1971; 1974), e portanto supondo que ela seja invariante, temos:

$n_1 = b/c_1$ e $n_2 = b/c_2$, de maneira que a inclinação da reta será: $n = n_1/n_2 = c_2/c_1$

Supondo agora que a verdadeira lei psicofísica seja a de Fechner, o valor do expoente resultante do emparelhamento de estímulos de modalidades 1 e 2, com estímulo E_2 no eixo das ordenadas será:

$$n' = [\ln(1 + c_2)]/[\ln(1 + c_1)]$$

Sabe-se que $\lim_{x \rightarrow 0} [\ln(1 + x)]/x = 1$ significa que para valores de x muito pequenos

$\ln(1 + x) = x$. De fato, para $x = 0,1$ o erro é de apenas 4,7%. Considerando-se que os valores das frações de Weber são da ordem de 0,04, alguns um pouco mais outros um pouco menos (ver Teghtsoonian, 1971; 1974), para efeitos práticos pode-se admitir que $\ln(1 + c) = c$. Assim, o valor de n' , com erro muito pequeno, será de:

$$n' = c_2/c_1,$$

e portanto, igual ao resultado obtido supondo que a Lei de Potência seja a verdadeira função psicofísica.

De acordo com esta sugestão, a verdadeira variável subjetiva S permanece uma variável subjacente que não é diretamente observável, e as estimativas quantitativas são comportamentos comparáveis à manipulação dos controladores de estímulo (Ekman e Sjoberg, 1965). Aliás, o próprio Stevens foi gradualmente aceitando o ponto de vista de que a estimativa de magnitude é uma tarefa de emparelhamento (Zinnes, 1969).

Concluindo a seção, podemos dizer que o paradigma do emparelhamento intermodal, ainda que não tenha servido à finalidade a que foi concebido, veio a demonstrar que:

a) Independentemente de se a verdadeira função psicofísica é logarítmica ou de potência, a expressão matemática resultante de emparelhamentos é a de potência. Tal constatação, aliada aos resultados experimentais que indicam a validade da função de potência para emparelhamentos intermodais, proporciona certa comodidade aos que pretendem estender a aplicação da Psicofísica a outros ramos do conhecimento, e particularmente ao de transporte: eles não precisarão tomar partido na polêmica de qual seja a verdadeira função psicofísica; basta que estejam conscientes de que a relação matemática diz respeito ao emparelhamento intermodal e não à relação psicofísica.

b) É possível associar um índice cardinal à magnitude de um estímulo. O índice cardinal se refere a valores correspondentes aos estímulos. É índice porquanto uma seqüência de estímulos de uma modalidade sensorial não será sempre associada à mesma seqüência de números. Mas o índice será cardinal porquanto haverá correspondência entre as progressões do estímulo e do número. Exemplificando: seja uma seqüência de estímulos 2, 3 e 5 metros; um sujeito poderá atribuir, em correspondência, os números 20, 30 e 50, ou os números 1, 1,5 e 2,5, respectivamente, ou qualquer outra seqüência. Assim, cada seqüência de números tem um referencial arbitrário, e portanto elas são apenas índices. Porém os índices são cardinais na medida em

que seguem uma certa ordem definida. Em linguagem matemática, todos os índices apresentam uma relação definida pela função de potência de expoente unitário, diferindo apenas em constante de proporcionalidade.

c) É possível estabelecer equivalências entre estímulos de diferentes naturezas. Uma das maiores contribuições fornecidas pelo emparelhamento intermodal está na possibilidade de se determinarem os "pesos" relativos entre estímulos de diferentes naturezas. Conforme visto acima, o emparelhamento consiste em determinar o estímulo de uma modalidade que seja aparentemente equivalente a um dado estímulo de uma outra modalidade. O "peso" relativo é dado pelo expoente da função de potência resultante do emparelhamento; caso esse expoente seja unitário, o aumento de um por cento num dos estímulos provocará aumento de igual proporção no outro estímulo; caso o expoente seja maior do que a unidade, o aumento de um por cento no estímulo que será elevado àquele expoente provocará o aumento no outro estímulo, proporcional ao valor desse expoente.

Multidimensionalidade

Até agora examinamos as funções psicofísicas que envolvem apenas estímulos unidimensionais. Na realidade porém, a sensação de um determinado objeto depende de um conjunto de atributos ou estímulos que caracterizam o objeto. É verdade que sempre é possível isolar uma modalidade de estímulos.

Qualquer sensação apresenta uma multiplicidade de aspectos, atributos, ou dimensões, pois qualquer estímulo é em si multidimensional. Assim, quando se faz um julgamento da magnitude de um dado estímulo se está julgando um conjunto de dimensões de naturezas diversas. Um exemplo de atributos multidimensionais é a sensação de vibração.

Não se sabe ainda como as diferentes variáveis se associam para eliciar uma determinada sensação. O que se sabe, através de inúmeros experimentos, é que a resposta a uma dada variável do estímulo, mantendo-se todas as demais fixas, parece seguir a Lei de Potência, ou mais corretamente, a Lei de Potência Modificada.

O fenômeno da multidimensionalidade não se manifesta apenas em estímulos físicos. Isso acontece também com estímulos não físicos. A esse respeito, Shinn (1969) - citado por Stevens (1975) - quantificou as opiniões de 25 sujeitos sobre o poderio de várias nações fictícias. Cada nação foi descrita em termos de três atributos: a população, o produto nacional bruto (PNB), e a porcentagem do PNB devotada às instituições militares. Aos sujeitos, todos com cursos avançados em política internacional, foram dadas várias combinações dos três atributos nacionais e foi-lhes pedido para que fizessem a estimativa de magnitude do poderio de cada nação. Os resultados mostraram que todos os atributos contribuem para aparentar o poderio nacional, e que os dados podem ser descritos de forma ajustada por três funções de potência, uma para cada atributo. A etapa seguinte foi a de descobrir a forma como os três atributos combinam para representar o poderio subjetivo de uma nação. Foram examinadas duas possíveis hipóteses: uma, supondo que os três atributos combinam-se aditivamente, e a outra, supondo que a combinação seja multiplicativa. O mo-

delo multiplicativo revelou-se muito superior ao aditivo. Assim, a percepção dos 25 sujeitos foi sumariada através da equação do tipo:

$$\text{Poderio nacional subjetivo} = k \cdot (\text{Pop})^{0,4} \cdot (\text{PNB})^{0,6} \cdot (\%GM)^{0,3}$$

onde κ é uma constante, Pop é a população do país, PNB é o produto nacional bruto desse país, e %GM é a porcentagem do PNB alocada para o gasto militar. Se realmente esta expressão retrata o poderio nacional, é uma questão em aberto. No entanto, o resultado do experimento mostra um bom senso intuitivo. O expoente para o PNB é o maior, seguido do expoente para população que é aproximadamente 2/3 do maior, e finalmente, o expoente para o desenvolvimento militar que é apenas a metade do maior. Em outras palavras, o poderio nacional percebido cresce mais rapidamente quando a produtividade geral aumenta.

Desde que a resposta a cada uma das variáveis dos estímulos seja a Lei de Potência Modificada, parece razoável supor que a relação entre estímulo multidimensional e resposta seja uma relação multiplicativa. Matematicamente essa possibilidade fica mais evidente.

Sejam, E_1, E_2, \dots . En as variáveis que se associam de alguma forma para eliciar a resposta R, segundo uma função

$$R = f(E_1, E_2, \dots, E_n), \quad (11)$$

tomando-se a variável E_1 , mantendo todas as demais constantes. Por hipótese, a resposta a E_1 segue a lei de potência, representada pela equação

$$R = k_1 \cdot E_1^{n_1} \quad \text{ou} \\ \sigma R / \sigma E_1 = n_1 \cdot R / E_1, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

Por definição, o diferencial total é a soma dos diferenciais parciais. Assim.

$$dR = (\sigma R / \sigma E_1) dE_1 + (\sigma R / \sigma E_2) dE_2 + \dots + (\sigma R / \sigma E_n) dE_n \quad (13)$$

Substituindo a equação (12) na (13), tem-se:

$$dR/R = n_1 \cdot dE_1/E_1 + n_2 \cdot dE_2/E_2 + \dots + n_n \cdot dE_n/E_n \quad (14)$$

Integrando a equação (14) chega-se a uma função multiplicativa conforme mostra a Equação (15)

$$R = k \cdot E_1^{n_1} \cdot E_2^{n_2} \cdot \dots \cdot E_n^{n_n} \quad (15)$$

Não são muitos os trabalhos publicados que enfocam a psicofísica multidimensional. No entanto, resultados preliminares têm indicado a boa aderência das funções

multidimensionais multiplicativas (ver Cafarelli, Cain e Stevens, 1977; Jones e Hunter, 1983). No que diz respeito à escolha animal, Rachlin, Logue, Gibbon e Frankel (1986), com base em grande número de autores, afirmam que "pode-se dizer com segurança que uma grande fração de dados sobre escolha de animais é descrito pela forma funcional do tipo:

$$(B_1/B_2) = (A_1/A_2)^a \cdot (R_1/R_2)^b \cdot (D_1/D_2)^c \quad (16)$$

onde (B_1/B_2) , (A_1/A_2) , (R_1/R_2) e (D_1/D_2) são respectivamente razões entre respostas num dado intervalo de tempo, quantidades de reforços liberados naquele intervalo, taxa de reforço naquele intervalo, e atraso de reforço; os expoentes a, b e c representam as sensibilidades dos animais com relação à quantidade, taxa e atraso". Desse resultado decorre que também as respostas de animais podem ser descritas através da função multiplicativa. Especificamente com relação à percepção da utilidade de bens com n atributos Einhorn (1970) sugeriu uma expressão do tipo (15) como uma aproximação do modelo conjuntivo. Também Louviere (1978) afirma que algumas pesquisas realizadas sugerem a grande aceitabilidade da regra multiplicativa como representativa da percepção de um conjunto de atributos, e dos julgamentos humanos nas áreas relacionadas ao comportamento de viagem. De fato, como mostramos na seção na qual descrevemos a utilidade do modo de viagem, esta pode ser mensurada através de três atributos: distância, duração e energia física dispendida. Um trabalho que realizamos corrobora a multidimensionalidade da viagem, bem como o emprego dos três atributos acima mencionados. O trabalho constou basicamente de duas partes: calibração do modelo proposto e a posterior verificação dos resultados. O modelo calibrado aos dados de um grupo de usuários de transporte explicou 85% dos modos de viagem escolhidos pelos indivíduos de outro grupo. Os expoentes obtidos foram: 0,93 para distância, 0,62 para tempo e 1,65 para energia física dispendida por unidade de tempo. Pretendemos descrever este trabalho experimental com maiores detalhes em um outro artigo.

CONCLUSÃO

As literaturas das áreas de percepção e psicofísica, e de ergonomia indicam que a escala de magnitude de sensação geralmente não é a mesma da magnitude física do estímulo. Mostram também que é possível comparar duas magnitudes de modalidades sensoriais diversas. Além disso, sugerem que a sensação eliciada por um conjunto de estímulos multidimensionais pode ser estimada e comparada mediante uma função multiplicativa cujos fatores são potências dos estímulos relevantes à avaliação da mesma. Essa hipótese, ainda que não tenha sido verificada com rigor, apresenta indícios de que é uma boa alternativa para se quantificar a percepção da utilidade subjetiva do meio de locomoção. Conforme comentamos na seção sobre utilidade do modo de viagem, a percepção da utilidade intrínseca de um meio de viagem depende do seu desempenho na transposição de uma distância física. Normalmente avaliamos esse desempenho através da duração de viagem (T), da energia física que

o meio de locomoção requer do usuário (E), e da distância (D) entre a origem e o destino que serve como referência na avaliação da eficiência dos modos de transporte considerados. Propomos então que o índice de utilidade do modo de viagem (U_m) seja quantificado usando a expressão $U_m = a \cdot D^b \cdot T^c \cdot E^d$, onde a, b, c, d são constantes.

REFERÊNCIAS

- Baird, J. C & Noma, E. (1978). *Fundamentals of Scaling and Psychophysics*. New York: Wiley.
- Baird J. C. & Stein, T. (1970). When power function fails: A theoretical explanation. *Perceptual and Motor Skills*, 30, 415-425.
- Bentham, J. (1979). *Uma introdução aos princípios da moral e da legislação*. São Paulo: Abril Cultural.
- Cafarelli, E., Cain, W. S. & Stevens, J. C (1977). Effort of dynamic exercise: influence of load, duration, and task. *Ergonomics*, 20(2), 147-158.
- D'Amato, M. R. (1970). *Experimental Psychology: methodology, psychophysics, and learning*. New York: McGraw-Hill.
- Da Silva, J. A. (1985a). Processos psicofisiológicos subjacentes à função de potência: uma crítica à psicofísica de Stevens. *Arquivos Brasileiros de Psicologia*, 38(4), 3-21.
- Da Silva, J. A. (1985b). Scales for perceived egocentric distance in a large open field: comparison of three psychophysical methods. *American Journal of Psychology*, 98(1), 119-144.
- Da Silva, J. A. & Macedo, L. (1982). A função-potência na percepção - significado e procedimentos de cálculo do expoente. *Arquivos Brasileiros de Psicologia*, 34, 27-45.
- Da Silva, J. A. & Macedo, L. (1983). Efeito de algumas variáveis experimentais sobre a invariância das escalas perceptivas. *Arquivos Brasileiros de Psicologia*, 35, 48-70.
- Da Silva, J. A., Santos, R. A. & Da Silva, C. B. (1983). Análise psicofísica do espaço visual - teoria e pesquisa: tributo a S. S. Stevens. *Arquivos Brasileiros de Psicologia*, 35, 3-35.
- Einhorn, H. J. (1970). The use of nonlinear, noncompensatory models in decision making. *Psychological Bulletin*, 73(3), 221-230.
- Ekman, G. (1956). Subjective power functions and the method of fractionation. *Report from the psychological Laboratories, University of Stockholm*, n. 34.
- Ekman, G. (1958). Two generalized ratio scaling methods. *Journal of Psychology*, 45, 287-295.
- Ekman, G. (1959). Weber's law and related functions. *Journal of Psychology*, 47, 343-352.
- Ekman, G. (1964). Is the power law a special case of Fechner's law? *Perceptual and Motor Skills*, 19, 730.
- Ekman, G. & Sjöberg, L (1965). Scaling. *Annual Review of Psychology*, 16, 451-474.
- Engelmann, A. (1966). A lei de potência de Stevens: um caso de constante perceptiva? *Jornal Brasileiro de Psicobgia*, 3, 19-48.

- Guilford, J. P. (1954). *Psychometric Methods*. New York: McGraw-Hill.
- Hicks, J. R. (1987). *Valor e capital: estudos sobre alguns princípios fundamentais da teoria econômica*. São Paulo: Nova Cultural.
- Jones, L. A. & Hunter, Ian W. (1983). Perceived force in fatiguing isometric contraction. *Perception & Psychophysics*, 33(4), 369-374.
- Jevons, W. S. (1987). *A teoria da economia política*. São Paulo: Nova Cultural.
- Kawamoto, E. & Da Silva, J. A. (1985). Comentários sobre a derivação das funções psicofísicas e suas conseqüências. *Psicologia*, 11 (2), 55-74.
- Kawamoto, E. (1988). *Um novo enfoque do processo de escolha em transporte com tratamento baseado na psicofísica multidimensional*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Krueger, L. E. (1989). Reconciling Fechner and Stevens: toward a unified psychophysical law. *Behavioral and Brain Sciences*, 12(2), 251 -320.
- Kunnapas, T. M. (1960). Scales for subjective distance. *Scandinavian Journal of Psychology*, 1, 187-192.
- Lockner, J. P. A. & Burger, J. F. (1961). Form of function in the presence of masking noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 33, 1705-1707.
- Louviere, J. (1978). Psychological measurement of travel attributes. Em D. A. Hensher & Q. Dalvi (Orgs.). *Determinants of Travel Choice*. London: Saxon House. Pp. 148-186.
- Marshall, A. (1985). *Princípio de Economia*, (vol. 1). São Paulo: Nova Cultural.
- McKenna, F. P. (1985). Another look at the "new psychophysics". *British Journal of Psychology*, 76, 97-109.
- Menger, C (1987). *Princípios de Economia Política*. São Paulo: Nova Cultural.
- Pareto, V. (1987). *Manual de Economia Política*. São Paulo: Nova Cultural.
- Rachlin, H., Logue, A. W., Gibbon, J. & Frankel, M. (1986). Cognition and behavior in studies of choice. *Psychological Review*, 93(1), 33-45.
- Schumpeter, J. A. (1955). *History of Economic Analysis*. Londres: George Allen & Unwin Ltd.
- Simonsen, M. H. (1971). *Teoria micro-econômica*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas.
- Stevens, S. S. (1961). To honor Fechner and repeal his law. *Science*, 133, 80-86.
- Stevens, S. S. (1975). *Psychophysics: introduction to its perceptual, neural and social prospects*. New York: Wiley-Interscience.
- Teghtsoonian, R. (1971). On the exponents in Stevens' law and the constant in Ekman's law. *Psychological Review*, 78, 71-80.
- Teghtsoonian, R. (1974). On facts and theories in psychophysics: does Ekman's law exist? Em H. R. Moskowitz, B. Scharf and J. C Stevens (Orgs.). *Sensation and measurement: papers in honor of S. S. Stevens*. Boston: D. Reidel. Pp. 167-176.
- Zinnes, J. L. (1969). Scaling. *Annual Review of Psychology*, 20, 447-478.

Artigo recebido em 03/07/89.