

Manual Didático

Manual Didático de Teoria e Prática de Psicofísica

Prof. Livre-Docente Dr. Marcelo Fernandes da Costa¹

Instituto de Psicologia
Departamento de Psicologia Experimental
Área de Psicofisiologia Sensorial
Disciplinas:
PSE1545 – Psicologia Sensorial
PSE1646 – Percepção e Cognição
PSE3751 – Psicofísica Clínica

¹ Professor Associado II da área de Psicofisiologia Sensorial do Departamento de Psicologia Experimental do Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo. Coordenador do Setor de Psicofísica e Eletrofisiologia Visual Clínica – Laboratório da Visão – do Instituto de Psicologia da USP. E-mail: costamf@usp.br

SUMÁRIO

Apresentação	2
Capítulo I – Introdução à Psicofísica	3
História da Psicofísica	5
Precusores da Psicofísica	5
Surgimento da Ciência Psicofísica	6
Princípios Filosóficos da Psicofísica	9
Psicofísica Interna	9
Psicofísica Externa	10
Problemas Fundamentais em Psicofísica	11
Introdução aos Parâmetros Psicofísicos	12
Leitura Complementar Sugerida	13
Capítulo II – Teoria da Medição e Psicofísica	14
Instância Científica da Medida Psicológica	16
Leitura Complementar Sugerida	16
Capítulo III - A Psicofísica Clássica	17
O Conceito de Limiar	17
Teorias do Limiar	20
Sensibilidade Absoluta	21
Sensibilidade Diferencial	22
Metodologia Psicofísica Clássica	22
Método do Ajuste	22
Método dos Limites	23
Método dos Estímulos Constantes	26
Métodos Psicofísicos Adaptativos	27
Método Up-Down (Escada)	28
Método da Escolha Forçada	30
PEST	31
Estímulos de Captura (Catch Trials)	31
Leitura Complementar Sugerida	32
Capítulo IV – Análise de Decisões	33
Dispersão Discriminativa	33
Teoria de Detecção do Sinal	34
Parâmetros de Discriminabilidade	36
Curva ROC	38
Leitura Complementar Sugerida	39
Capítulo V – Escalonamento Psicofísico	40
Tipos de Escalas	40
Lei de Fechner	44
Lei do Julgamento Comparativo	45
Lei de Stevens (Lei de Potência)	49
Equiparação Entre Modalidades	52
Comparação dos Métodos de Escalonamento	54
Leitura Complementar Sugerida	56
Apêndices	57
Apêndice A	57
Apêndice B	58
Referências Bibliográficas	59

APRESENTAÇÃO

A Psicofísica é a Ciência que estuda a relação métrica entre as dimensões físicas e as dimensões subjetivas destas decorrentes. Esta é, no entanto, a definição original, cunhada há mais de 150 anos, na origem desta disciplina. Ao longo de seu desenvolvimento filosófico, teórico e científico, pequenas, mas fundamentais modificações em sua definição foram elaboradas, refinando e aprimorando os fundamentos e aplicações desta área da Psicologia. Muitas destas definições ainda estão presentes em textos clássicos e nos livros de Psicologia Sensorial e Psicologia Fisiológica, porém, nos cabe aqui a responsabilidade de trazer o *estado da arte* desta ciência psicológica.

Certamente, o aspecto mais fundamental que dá base para toda a Psicofísica e, em verdade, para todo e qualquer processo de medida, é o uso do próprio homem como instrumento de medida. Os processos e técnicas psicofísicas, colocando o homem como elemento central, permite a obtenção de medidas de altíssima precisão, quando o método é devidamente empregado.

Iniciamos com uma visão histórica que permitirá ao aluno entender mais profundamente a origem desta disciplina, seu desenvolvimento enquanto área da Psicologia Clássica, bem como sua influência, contribuição e pertinência na Psicologia Moderna. Assim, o início deste Manual Prático se destina a apresentar criticamente, os elementos históricos da psicofísica e suas personalidades, seguido por um capítulo sobre medidas e mensurabilidades, introduzindo os princípios filosóficos e metodológicos que buscam desmitificar a (im)possibilidade de se medir eventos subjetivos de qualquer natureza.

Os demais capítulos servirão de unidades didáticas destinadas à apresentação gradual dos termos, conceitos e de como a Psicofísica aborda metricamente questões fundamentais para o entendimento dos comportamentos e processos mentais, objetos de estudo da Psicologia, como sua definição. Dentro de cada unidade didática, apresentaremos, além dos princípios teóricos e metodológicos, aplicações e perspectivas da evolução destes assuntos para os dias atuais. Fechamos cada unidade com uma lista de 5 leituras complementares sugeridas, como forma de ampliação dos fundamentos apresentados na disciplina e de ilustração do estado-da-arte da área na investigação de mecanismos sensoriais e perceptuais básicos para a formação da consciência, bem como da aplicação da medida psicofísica em diversas áreas como saúde, educação, artes etc.

Embora a Psicofísica faça parte das disciplinas que originaram o que, atualmente, conhecemos com um nome mais amplo de Psicologia Experimental, ainda detém um papel central nas áreas básicas da Psicologia. Seu desenvolvimento e aplicações constantes por mais de um século e meio atesta sua real e atual importância, solidificando o uso do homem como instrumento de medida, e para o estabelecimento da Psicologia como uma "Ciência de Relações Objetivas", moderna e com atividades e aplicações baseadas em evidências.

Prof. Dr. Marcelo Fernandes da Costa

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO À PSICOFÍSICA

Gustav Theodor Fechner (1860) ao publicar seu livro *Elemente der Psychophysik* tinha como propósito estudar as relações constantes ou legítimas entre o mundo material e o mundo mental

"...has up to now remained merely a field for philosophical argument without solid foundation and without sure principles and methods for the progress of inquiry".
(Fechner, 1860)

Neste período, os assuntos relacionados às experiências subjetivas como as sensações, as percepção, o reconhecimento, a memória, as tomadas de decisão eram do domínio da filosofia. Estabelecendo formas de se estudar sistematicamente as relações entre o mundo físico e o mundo subjetivo, Fechner estava contribuindo para o desenvolvimento de uma disciplina atualmente conhecida como Psicologia Experimental.

Os princípios filosóficos postulados por Fechner para sua teoria Psicofísica envolviam dois níveis de acesso à consciência, os quais ele próprio chamou de "psicofísica externa" e "psicofísica interna". A Psicofísica Externa envolvia seus métodos psicofísicos clássicos, os quais, medindo as relações entre mundo físico (um estímulo sonoro) e mundo mental (detectar um som), derivariam as leis que regiam estas relações. No entanto, esta relação entre os estímulos e as sensações ignorava a fisiologia mediadora. A Psicofísica Interna, na época, apenas um postulado teórico, regia as relações entre a os processos cerebrais produzidos pelas energias físicas e as experiências subjetivas (Scheerer, 1992) (Figura I.1).

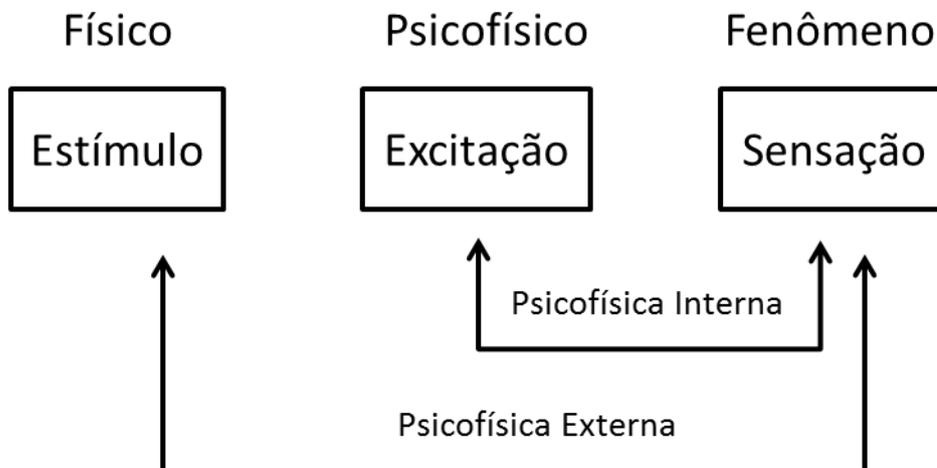


Figura I.1: O conceito teórico de Fechner sobre psicofísica. A Psicofísica Externa foi assumida ser a relação obtida entre aspectos do mundo físico e fenomenológico com base na descrição e controle dos estímulos. A Psicofísica Interna era um conceito puramente teórico que baseado nos achados de psicofísica externa, buscava inferir as leis de processamento e transformação dos estímulos pelos processos e funções neurais e as sensações produzidas. Adaptado de (Ehrenstein & Ehrenstein, 2000).

Entendemos na atualidade que o conceito de Psicofísica Interna de Fechner, na verdade, estava antecipando as leis entre fisiologia e a mente, campo dominado hoje pelas áreas de Psicologia Fisiológica e Neurociência Cognitiva. Já a relação entre estímulo físico e atividade fisiológica é explorada pelo campo da Psicofisiologia.

Recentes avanços tecnológicos como potenciais evocados relacionados a eventos (ERPs) e técnicas de imagiamento cerebral como Ressonância Magnética Funcional (RMIf) representam um avanço e uma sofisticação do campo da Psicologia Fisiológica para o estudo científico da consciência.

O quadro atual do estudo sistemático e quantitativo da consciência se desenvolveu muito desde o período vivido por Fechner. No entanto, sua teoria continua atual e mais relevante do que nunca. A evolução da Psicologia Fisiológica e da Psicofisiologia, juntamente com a da Psicofísica, e por meio de medidas e estudos correlacionais, nos permitem ter acesso ao tripé necessário para o entendimento científico da consciência humana (Figura I.2).

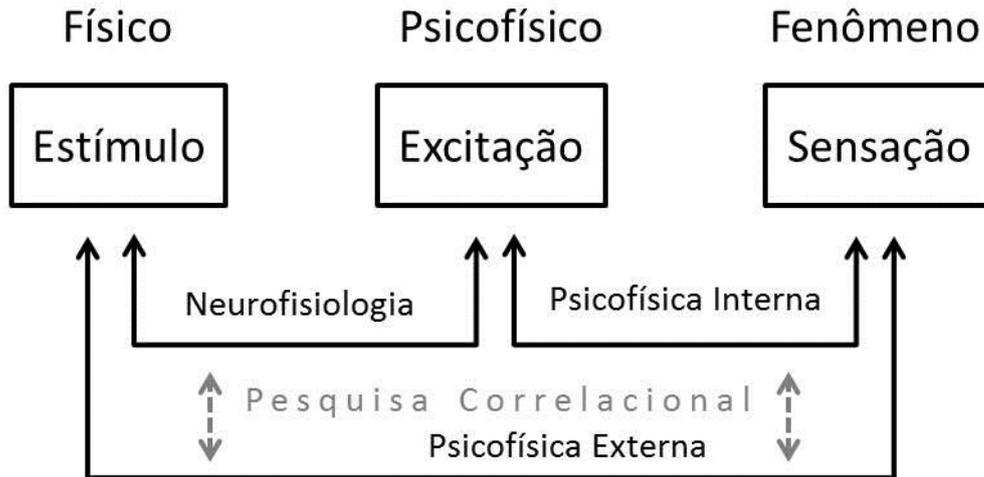


Figura I.2: Concepção moderna da Psicofísica. Com o avanço de métodos neurofisiológicos, a atividade neural periférica e central pode ser registrada e medidas objetivamente, permitindo, assim, as comparações quantitativas entre psicofísica e os correlatos neurais da percepção. Adaptado de (Ehrenstein & Ehrenstein, 2000).

Os processos mentais que ocorrem entre as instâncias física, neurofisiológica e fenomenológica são importantes para o entendimento do curso do processamento da consciência perceptual. A resposta associada à consciência necessita passar por, pelo menos, duas instâncias, a transdução da informação por padrões de energia do mundo físico em atividade neural e esta atividade neural tem que ser forte o suficiente para gerar atividade mental consciente e é aí que aparecem as decisões e os julgamentos sobre as respostas.

Para situações experimentais muito simples, podemos considerar que o processo psicofísico mede a tradução entre estímulo físico e as sensações e que estas últimas, são idênticas às respostas obtidas (Figura I.3 – a). No entanto, mesmo para situações de alta simplicidade, podemos ter o efeito do critério do sujeito. Este efeito é muito mais evidente quando estamos realizando experimentos de maior complexidade.

Desta forma, mesmo com os controles experimentais desenvolvidos pela Psicofísica Clássica e pelos Métodos Adaptativos, devemos levar em conta uma segunda classe de processos mentais que ocorrem entre a geração da sensação pela ativação neurofisiológica e a o aparecimento da experiência consciente, o que certamente, interfere mais significativamente nos critérios de resposta do observador (Figura I.3 – b).

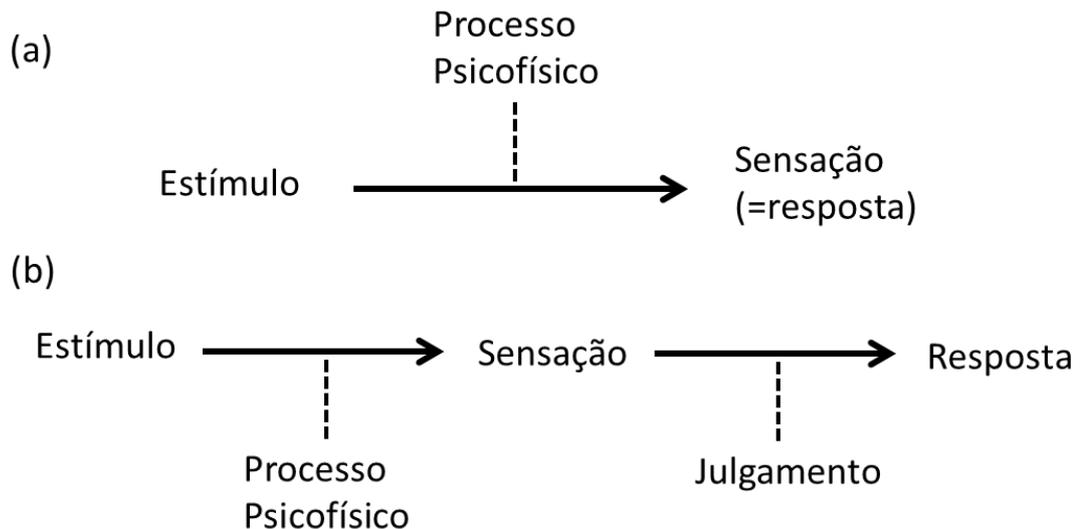


Figura 1.3: Modelos de resposta estímulo em psicofísica. (a) Um modelo clássico tem que o estímulo provoca uma sensação que é diretamente traduzida em uma resposta precisa. (b) Um modelo mais moderno reconhece que pode haver processos de decisão e julgamento humano envolvidos na tradução da sensação em uma resposta (um ponto de dados) e, portanto, há pelo menos dois estágios e dois processos para estudar. Adaptado de (Lawless, 2013).

Durante muitos anos, este segundo momento do processamento psicofísico foi ignorado pelos investigadores, influenciados pela possibilidade de apenas se medir psicofisicamente um evento de relação estímulo resposta, ou seja, a Psicofísica Interna era inacessível. Assim, assumia-se que a resposta era a tradução precisa da sensação percebida conscientemente. As variabilidades eram fortemente justificadas e estudadas do ponto de vista de variabilidade quântica dos estímulos físicos e neurais do sistema nervoso.

Foi somente por volta de 1920 que modelos mais probabilísticos dos fenômenos subjetivos foram introduzidos e que, este segundo estágio do processamento psicofísico, passou a ser considerado na medida. Veremos isto com mais detalhes no Capítulo IV – Análise de Decisões.

HISTÓRIA DA PSICOFÍSICA

PRECURSORES DA PSICOFÍSICA

Muito tempo antes de Fechner apresentar a Psicofísica ao mundo, pesquisadores já buscavam encontrar relações matemáticas entre as impressões subjetivas e objetos físicos. Estes pesquisadores trabalharam com aspectos importantes da subjetividade humana em detecção, discriminações e julgamentos escalares. Hoje, a reunião do conjunto de tais problemas, são os objetivos de estudo da Psicofísica.

O matemático, físico e hidrógrafo francês Pierre Bourger (Croisic, 16 de Fevereiro de 1698 - Paris, 15 de Agosto de 1758), premiado pela Académie des Sciences da França (1727), era professor de hidrografia em Croisic. Em 1729 publica um importante trabalho, intitulado "Ensaio de óptica sobre a gradação da luz", cujo objetivo era de medir a quantidade de luz perdida, quando atravessa uma dada distância na atmosfera terrestre.

A importância deste trabalho para a Psicologia se dá por dois motivos. O primeiro, relacionado à Psicologia Sensorial, é o fato de que este trabalho realizado por Bourger é o primeiro registro que existe de uma medição fotométrica de brilho (quantidade de luz física corrigida pela sensibilidade do olho humano – luminância). O

segundo motivo, este totalmente relacionado à Psicofísica, pois descobre que a luz solar percebida é 300 vezes mais intensa do que a luz percebida da Lua. Além disso, determina o valor de 1/64 para a adaptação do olho humano à luz, no qual valores além deste, não há discriminação entre duas intensidades luminosas. Ou seja, uma medida hoje definida como um valor limiar de discriminação (Boring, 1961).

Os trabalhos de Pierre Bourger foram importantes para o estudo dos sistemas sensoriais. O próprio Ernest Weber se influenciou e inspirou nestes trabalhos de Bourger para estudar a relação de intensidade do estímulo e o seu limiar de detecção. Weber nomeou como Relação de Bouguer-Weber (Bastie, 1999) a qual posteriormente se tornou a Lei de Weber.

Daniel Bernoulli (1700-1782), matemático suíço, também apresenta estreita relação com a Psicofísica, principalmente pelos seus trabalhos em probabilidade e estatística. Seu trabalho publicado em 1738, intitulado "*Specimen theoriae novae de mensura sortis*" (A observação de uma nova teoria da medida de lote) é conhecida especialmente por economistas por ser a primeira formulação de um modelo de utilidade esperada e de uma função de utilidade, atualmente muito utilizada na teoria de decisão e conhecidas como os Princípios de Bernoulli (Schoemaker, 1982).

A relação destes princípios com a Psicofísica vem dos seus achados nos quais encontrou uma distinção entre o valor objetivo de todos os bens de uma pessoa e os valores subjetivos de todos estes bens, definidos como o valor de satisfação total ou a utilidade proporcionada por todos os bens possuídos. Assim, as respectivas modificações em X eram determinadas por ΔX e as correspondentes modificações em Y determinadas por ΔY . Seus resultados validaram o senso-comum de que uma variação $\Delta X/\Delta Y$ é percebida como menor para pessoas ricas do que para pessoas pobres (Masin, Zudini, & Antonelli, 2009). Este princípio da proporcionalidade evidenciado por Bernoulli foi fundamental para as derivações de Fechner. Uma importante conclusão dos trabalhos de Bernoulli foi a observação de que a curva da função de utilidade é negativamente acelerada, semelhante à Função Psicométrica da Lei de Fechner, a qual veremos mais adiante.

SURGIMENTO DA CIÊNCIA PSICOFÍSICA

Nos séculos XVII e XVIII, o estudo da mente e da consciência era limitado ao campo da filosofia e, portanto, apenas acessível pelas interpretações filosóficas. Nesta época, temos três diferentes correntes que, relativamente de forma simultânea, se desenvolviam na França, Inglaterra e Alemanha.

De Condillac vinha da tradição "mente ausente" do sensacionalismo francês, no qual não existiam ideias inatas, todas as faculdades mentais seriam explicadas pelos sistemas sensoriais e, portanto, não havia mente para ser estudada. A consciência era puramente a consciência perceptual (De Condillac, 1798). Herdeiro desta corrente filosófica é o Behaviorismo Radical de Skinner/Watson.

O empirismo britânico, cujo nome central é Locke, concebia a existência de uma "mente passiva" na produção da consciência. Partilhavam a ideia da ausência de ideias inatas, porém, diferiam dos sensacionalistas assumindo a necessidade de uma mente para a combinação de ideias e reflexões. O mais famoso herdeiro da filosofia da "mente passiva" é o estruturalismo introspectivo de Titchener (Titchener, 1898).

O idealismo alemão, encabeçado por Leibniz e Kant, propunha uma "mente ativa" e a necessidade de categorias mentais inatas para a mente e a percepção. Concebiam também que a mente era mais extensa que a consciência. Os herdeiros desta corrente que propunham uma importância central nos processos conscientes são a Psicologia Ativa de Brentano, Psicologia Social de Wundt, a escola de Wurzburg e Piaget. Os herdeiros cuja importância da atividade mental estava no inconsciente são Schopenhauer, Freud e Jung.

Foi nesta mesma época que a Psicologia surge com o objetivo de se estudar o problema de se identificar a mente e a consciência, definindo que a *Psico-logia* se

limitaria ao escopo dos processos mentais conscientes e identificando a consciência primária com a consciência reflexiva.

No século XIX, o desenvolvimento da Psicologia como ciência experimental foi possível pelo emprego de métodos que buscaram encontrar leis de ligação entre estímulo, resposta fisiológica e consciência da presença do estímulo. Este período foi marcado pelos estudos "psicofísicos" de Weber, Fechner e Helmholtz. Embora o termo Psicofísica tenha sido cunhado por Fechner, os trabalhos destes pesquisadores foi centrado em uma "física sensorial" que enfatizava a experiência subjetiva (Boring, 1961).

Os métodos utilizados por estes pesquisadores buscavam mapear os aspectos psicológicos sobre os aspectos físicos. A quantificação de regularidades entre os estímulos do mundo real e a experiência perceptual consciente destes, foram realizadas de várias formas: (1) entre objetos e representações deles no nosso cérebro; (2) pela manipulação da parte física e obter registros/ respostas de mudanças na psique.

Pelo fato de trazer conceitos e métodos das áreas da física e da fisiologia, para os assuntos até então, de domínio exclusivo da filosofia, podemos entender que a Psicofísica foi uma transição importante destas disciplinas para a concepção de uma Psicologia científica. Este novo movimento acadêmico foi significativo para os avanços no conhecimento do psiquismo. Ficou muito claro que para o entendimento da mente humana, havia a necessidade de se conhecer sobre os mecanismos da "máquina do pensamento". Por exemplo, em 1846, a neurofisiologia descobre que a doença mental é fruto da ação direta ou indireta de diversos fatores sobre as células cerebrais. Um dos caminhos naturais que a fisiologia tomou, foi o de estudar os fenômenos mentais humanos.

Ernst Weber (1795-1878) foi um dos principais pesquisadores para o desenvolvimento da Psicofísica como uma ciência psicológica. Ele era professor de anatomia e fisiologia na Universidade de Leipzig, Alemanha, entre 1818 e 1878. O foco do seu trabalho era em sensações de toque/tato, pressão e temperatura, estudando a localização de sensações e dos limites perceptuais (Abadi, Forster, & Lloyd, 2006; Hench, 1967).

Os trabalhos de Weber ocorreram entre anos 1830-1850, quando se interessou pelo estudo do sistema sensorial e em particular do sistema nervoso cutâneo no homem. Suas perguntas científicas era o de saber como é que a estrutura do sistema nervoso podia conduzir a uma representação funcional do espaço externo. Publicou inicialmente, em 1834, um capítulo intitulado "Sobre a sensibilidade táctil", onde se encontra a primeira formulação da Lei de Weber. Mas foi somente em 1846, na obra "Sobre o sentido do tacto e a sensibilidade comum" que Weber apresenta a versão completa, incluindo uma parte mais teórica do trabalho precedente e o desenvolvimento da Lei, pelos resultados de novos experimentos.

Nos resultados destes trabalhos, Weber encontrou um limiar diferencial para a discriminação de peso e uma constante matemática que representa a relação entre o peso do objeto comparado e a quantidade de peso modificada para geral este limiar diferencial, expressa pela equação:

$$\frac{\Delta S}{S} = k \quad (\text{Eq. 1})$$

onde S é o valor estímulo comparado, ΔS é o valor do estímulo minimamente modificado para ser percebido como diferente, e k é o valor constante desta relação, conhecido como fração de Weber. Isto quer dizer que, se para um objeto cujo peso é 30gramas, uma diferença minimamente perceptível é obtida com 33gramas, o valor de k é 0,1; para um objeto de peso 90gramas a mínima diferença perceptível é obtida em 99gramas, com o mesmo k de 0,1.

Esta relação geral foi definida como a Lei de Weber, a lei mais básica de ligação entre mudanças no estímulo físico e as mudanças conscientes na percepção discriminativa decorrentes dela. A essência deste resultado de Weber, mostra que nossa experiência subjetiva está sintonizada para diferenças relativas e não absolutas nos estímulos físicos pois aumentar 6 gramas em 30 gramas gera uma experiência subjetiva de pesos diferentes, enquanto que aumentar 6 gramas em 90 gramas, não gera diferença subjetiva.

O foco nas inferências inconscientes da percepção foi o maior tema de trabalho de Herman von Helmholtz (1821-1894). Para Helmholtz, todas as nossas inferências como, por exemplo, a inferência de espaço vem de experiências passadas, as quais nós não temos ciência de como o processamento deles se dá (inferência inconsciente). Ele escreveu:

"As atividades psíquicas que nos levam a inferir que ali diante de nós em um determinado lugar há um certo objeto de um certo caráter, geralmente não são atividades conscientes, mas inconscientes. Em seu resultado, são equivalentes a uma conclusão, na medida em que a ação observada de nossos sentidos nos permite formar uma ideia quanto à possível causa dessa ação; embora, de fato, sejam invariavelmente simplesmente os estímulos nervosos que são percebidos diretamente, ou seja, as ações, mas nunca os próprios objetos externos ... pode ser permitido falar dos atos psíquicos da percepção ordinária como conclusões inconscientes ... Fatos como esses mostram a influência generalizada que a experiência, o treinamento e o hábito têm em nossas percepções. ... Muitas vezes pode ser bastante difícil dizer o quanto de nossas percepções (Anschauungen) como derivado pelo sentido da visão é devido diretamente à sensação, e quanto deles, por outro lado, é devido à experiência e treinamento." (páginas 125-127; tradução nossa) (Kahl, 1971).

Weber e Helmholtz tiveram importantes influências para o surgimento da psicofísica, mas foi Gustav Theodor Fechner (1801-1887), o qual também lecionou na Universidade de Leipzig por um tempo, que desenvolveu o trabalho e a Lei de Weber. Em muitos livros da área, a Lei de Fechner é referida como Lei de Weber-Fechner, dada a importância dos achados de Weber para os trabalhos de Fechner.

A publicação de "Elementos de Psicofísica: Considerações Gerais sobre a Relação Mente e Corpo" por Fechner (1860), foi considerada pela comunidade científica da época como o surgimento de uma ciência da mente, concordando que a psicofísica de Fechner procurou *"formar leis elementares da relação do mundo material e do mundo mental para ganhar uma teoria durável e desenvolvida em vez de uma opinião geral"* (p.6) e *"como uma teoria exata das relações funcionalmente dependentes do corpo e da alma ... do material e do mental ... do físico e do mundo psicológico"* (p 7) (Fechner, 1860).

Fechner reconhecia que havia três fatores básicos envolvidos na relação psicofísica: (1) físico – um estímulo a ser manipulado; (2) fisiológico – o condutor neural (sensor e cérebro) é quem faz a mediação da relação psico-física; (3) psíquico – a experiência subjetiva e o julgamento feito sobre ela.

Reconhecia, também, que em seus dias, apenas a relação entre estímulo físico e experiência consciente/ julgamento era acessível (o que ele chamou de Psicofísica Externa) e que o fator fisiológico seria tratado como uma caixa-preta.

Sua maior curiosidade, de fato, estava em entender como a experiência consciente e os eventos do mundo físico se relacionam. Ele descobriu que as funções matemáticas destas relações não são lineares, de forma alguma. Este foi o seu principal achado, mostrando cientificamente que a experiência subjetiva não é diretamente proporcional em relação aos eventos do mundo físico.

Um dos principais resultados das pesquisas de Psicofísica é a determinação dos parâmetros de uma classe de estímulos que são relevantes para a experiência consciente. Pelo fato de ela conceber a existência de uma relação entre características físicas (comprimento de onda eletromagnética) e experiência subjetiva (tonalidade de cor), a Psicofísica não apenas define o fenômeno da percepção, mas também determina quais informações do estímulo são mais relevantes para a experiência subjetiva.

Além de identificar parâmetros de estímulo relevantes, a psicofísica muitas vezes determinou relações estímulo-fenômeno que forneceram "especificações do sistema" para a fisiologia explicar. O exemplo clássico desta "especificação do sistema" é a conclusão de (Hecht, Shlaer, & Pirenne, 1942), baseada em medições psicofísicas, de que o limiar absoluto para a visão dos bastonetes (escotópica) é de cerca de 7 quanta e que esses quanta são absorvidos por 7 moléculas de pigmento visuais, cada um localizado num receptor diferente. A partir desta conclusão conclui-se que a isomerização de uma única molécula de pigmento visual é adequada para excitar um receptor.

PRINCÍPIOS FILOSÓFICOS DA PSICOFÍSICA

Muito embora a Psicofísica tenha ficado conhecida como a ciência que estuda a relação quantitativa entre os mundos físico e mental, avaliados por meio dos sistemas sensoriais, muito do trabalho de Fechner foi elaborar uma filosofia sobre o funcionamento mental, inclusive sobre a cognição inconsciente (Romand, 2010, 2012). A segunda parte do livro *Elemente der Psychophysik* é dedicado ao estudo da "psicofísica interna", a relação entre fisiologia nervosa e os estados mentais; a investigação das relações imediatas de correspondência entre as funções psíquica e física, ou seja, as relações qualitativas e quantitativas entre estados mentais e atividade cerebral (Robinson, 2010; Romand, 2012). Já a primeira parte deste livro dedica-se à "psicofísica externa", ou seja, a investigação das relações mediadas pela correspondência entre sensações e estímulos pois, diferente de Kant, Fechner afirmava que a mente pode ser sujeita às experiências e submetida à matemática.

Este aspecto da filosofia psicofísica da mente de Fechner infelizmente foi muito pouco creditado pelos filósofos e historiadores da psicologia, muitos deles se referindo ao inconsciente de Fechner como um visão de mundo metafísica e pseudocientífica herdada pelo interesse de Fechner, na sua juventude, à filosofia romântica (Dzhafarov & Colonius, 2011; Murray & Bandomir, 2009; Norwich & Wong, 1997; Robinson, 2010; Scheerer, 1987).

PSICOFÍSICA INTERNA

De acordo com Romand (Romand, 2012), o modelo de consciência de Fechner consiste de dois tipos de atividades mentais, a atividade representacional e a atividade atencional. A atividade representacional era definida como um "fenômeno de consciência particular" e a atividade atencional como um "fenômeno de consciência geral". A consciência particular representa todo o estado mental que é dotado de conteúdo definido (sensações, imagens mentais, pós-imagens, sonhos etc.). A consciência geral constitui a capacidade de apreender ou ampliar a clareza de um conteúdo particular (a atenção).

Cada uma das consciências varia em intensidade de acordo com a variação de intensidade da atividade psicofísica, ou seja, do substrato neural ativado. Desta forma, a concepção de mente de Fechner é baseada numa concepção modular, na qual os conteúdos representacionais apresentam autonomia funcional. Fechner define o inconsciente como o estado de consciência que aparece quando a atividade representacional (conteúdos da consciência) ocorre localmente no cérebro, tanto na ausência de atenção como separadamente do resto da atividade representacional (experiência consciente), ou seja, não gera experiência subjetiva (Robinson, 2010).

Os trabalhos de Fechner, juntamente com os de Herbart outros pesquisadores alemães entre os anos de 1830 e 1870 são as origens de todos os modelos teóricos de cognição inconsciente e também o ponto de partida das investigações experimentais em inconsciência, adotadas pela Psicologia Cognitiva e Neurociência nos dias atuais (Romand, 2012). Para saber mais sobre concepção de mente de Fechner e das origens dos estudos experimentais modernos do inconsciente, erroneamente considerado à Freud e sua teoria psicodinâmica como origem, veja (Romand, 2010, 2012).

PSICOFÍSICA EXTERNA

Deixando de lado a concepção e teoria do inconsciente de Fechner, nosso foco neste material será na "psicofísica externa" e, portanto, nas relações entre modificações físicas e mentais. Podemos definir a Teoria Psicofísica, como um Monismo de duplo-aspecto, no qual atividade cerebral e mente são expressões diferentes do mesmo elemento. Isto significa que se há modificação fisiológica nos sensores e nos sistema nervoso, há atividade mental e, se esta atividade for forte o suficiente para ultrapassar um determinado limite, ela, então, se tornará consciente. Uma característica importante do monismo de duplo-aspecto, é o fato de eliminarmos a causação mental, ou seja, unido matéria e mente, estabelece-se uma dupla via de interação, uma concepção em duplo aspecto (Benovsky, 2016). Isto quer dizer que, uma vez existindo uma relação entre mundo físico e mundo subjetivo, necessariamente uma modificação que ocorre em uma instância leva a modificações na outra.

Foi o próprio Fechner que elaborou uma analogia para sua filosofia monista de duplo-aspecto, pela representação de um balão de festas. As perspectivas e experiências do lado interior serão sempre côncavas, enquanto que as perspectivas e experiências do exterior serão sempre convexas mas, ambas são, na verdade, duas representações do mesmo objeto (Fechner, 1860). Neste caso, inclusive, parecendo a cada um dos lados, em completo antagonismo ou condição paradoxal ao outro.

O fato de a Psicofísica conceber uma filosofia monista de duplo-aspecto, apenas o problema mente-corpo tem uma aparente resolução para a aplicação de métodos de experimentação para estudo da consciência. Uma vez que a experiência consciente é de natureza de eventos em primeira pessoa, como é possível dela ser investigada? Pela determinação da relação entre estímulo físico (que é público, objetivo e independente do observador) e da variabilidade na resposta subjetiva dado a manipulações neste estímulo, repetidas e repetidas vezes, obtêm-se informações sobre o universo privado de forma, precisa, com credibilidade, com o mínimo de influência humana (desapaixonada, sem pré-concepções ou vieses) (Velmans & Nagasawa, 2012).

A medida Psicofísica, assim como qualquer outra medida realizada pela Química ou pela Física, não é puramente objetiva no sentido de ser livre do observador (Velmans, 1990, 2003, 2007). Mas, assume um posicionamento de ciência experimental, quando adota o uso do próprio ser humano como instrumento de medida e deriva funções de relação entre os mundos material e psicológico. Desta forma, a psicofísica e toda a psicologia experimental adquire um status de ciência propedêutica, elementar, no sentido de que, estuda o ser fundamental para a realização de qualquer medida, o ser que observa (Stevens, 1936a; S.S. Stevens, 1939).

O duplo-aspecto da experiência consciente é ainda mais fascinante quando observamos os resultados dos experimentos psicofísicos. A relação entre os mundos material e psicológico, não é linear, ou seja, modificações em um lado da relação levam a modificações de diferentes proporções no outro lado da relação. O fato de nossa consciência não funcionar de maneira linear para processar nossa experiência consciente é fundamental para inferir a origem e a magnitude dos comportamentos. Esta distorção na ontogênese da consciência reflete as características epistemológicas do processamento sensorial, perceptual e cognitivo de alta ordem. Veremos esta não linearidade com mais detalhes nos Capítulos III e V.

Recentemente, a teoria do Monismo Reflexivo apresenta outra característica epistemológica para a Psicofísica (Velmans, 2012). Considerando que a nossa consciência é projetada reflexivamente para o mundo físico, para a origem de sua evocação, podemos entender a medida Psicofísica como uma medida da distância entre o mundo físico (material) e o mundo subjetivo (mental). Assim, as funções observadas em experimentos psicofísicos podem ser interpretadas como distâncias entre os mundos físico e mental.

PROBLEMAS FUNDAMENTAIS EM PSICOFÍSICA

Quando consideramos a relação entre o mundo físico e nossa experiência consciente deste, vários aspectos fundamentais desta experiência devem ser investigados (Bergamann & Spence, 1944). Os aspectos mais estudados e reportados na literatura da área são a Detecção, Identificação, Discriminação e o Escalonamento.

A *Detecção* está relacionada com a capacidade de experimentar minimamente um estímulo. A pergunta que dá suporte a este aspecto é "Qual propriedades deve possuir um estímulo para que nós possamos ter ciência de sua existência?".

A *Identificação* pode ser considerada como um aspecto mais elaborado a partir da detecção. Não basta apenas ter ciência de que existe um estímulo, mas há a necessidade de sabermos que estímulo é este. Assim, a pergunta por trás da função de identificação é: "Como nós sabemos o que é este estímulo?".

O terceiro problema fundamental da Psicofísica é a *Discriminação*, o qual está relacionado não com a presença ou ausência de estímulos, mas com a mínima diferença entre dois estímulos para que possam ser experienciados como diferentes. A pergunta que suporta este problema é "Como dois ou mais estímulos devem diferir entre si para que nós possamos distingui-los como diferentes?".

O quarto aspectos que iremos apresentar não está relacionado com os limites da experiência consciente, mas como ela ocorrer ao longo de toda a gama de características que estimulam nossos sensores. O *Escalonamento* está portanto relacionado à variação de magnitude percebida, em função da variação da magnitude física. As perguntas científicas deste aspecto são "Como nós julgamos a magnitude de um parâmetro de um determinado estímulo?" e "Como nós julgamos o grau de similaridade ou diferença para estímulos discrimináveis?".

Devemos ter em mente que os métodos psicofísicos foram desenvolvidos para resolver problemas com relação à natureza dos organismos. Diversos estudos mostram que determinados contínuos psicológicos são discriminados com base em processos mentais aditivos. Estes contínuos foram chamados por Stevens de Classe I ou Protéticos e compreendem os contínuos quantitativos e contínuos de intensidade (Stevens, 1958). A pergunta relacionada a estes contínuos é "Quanto?". A Classe II, ou Metatéticos, são baseados em processos mentais substitutivos e inclui os contínuos qualitativos e contínuos posicionais. São os contínuos das perguntas "O Que?" e "Onde?".

Estes contínuos psicológicos denominados Protéticos e Metatéticos são fundamentalmente importantes para o estudo das escalas subjetivas, uma vez que a principal diferença entre eles está na característica de simetria das relações matemáticas encontradas entre os estímulos e as respostas. Os contínuos psicológicos Metatéticos podem ser representados por funções matemáticas simétricas (lineares) de detecção e de discriminação quando utilizamos unidades subjetivas em função das unidades físicas. De maneira distinta, os contínuos psicológicos Protéticos podem ser representados por funções matemáticas cuja característica é a de uma forte assimetria (não lineares) entre as respostas físicas e subjetivas, ou seja, as unidades subjetivas de discriminação não são equivalentes às unidades físicas.

INTRODUÇÃO AOS PARÂMETROS PSICOFÍSICOS

Os problemas abordados pela Psicofísica são metodologicamente estudados numa relação estímulo – resposta (Psicofísica Externa), assim, definida como $R = f(S)$. Estes métodos são afetados por inúmeros parâmetros: a tarefa a ser realizada pelo sujeito; a forma de apresentação do estímulo; as estatísticas usadas para a descrição dos dados obtidos. Importante mencionar que a modificação de apenas 1 destes elementos impacta profundamente os dados obtidos e, conseqüentemente, a análise psicofísica realizada.

As informações detalhadas sobre cada um dos elementos que compõem o tripé da Psicofísica formam adaptados do artigo seminal de Stevens (Stevens, 1958).

As tarefas são baseadas principalmente nas instruções e buscam orientar o observador para a realização dos julgamentos relacionais. Elas podem ser classificadas em 5 tipos principais: Classificação, Ordem, Intervalo, Razão e Magnitude.

Classificação. Nesta tarefa, o observador realiza um julgamento binário, ou seja, se sua experiência consciente encontra um determinado critério nominal ou não. Do ponto de vista operacional, sua tarefa é dizer se um determinado estímulo ou característica está presente ou ausente. Por exemplo, apertando um botão, ele deve dizer se percebeu ou não um som; ou se o som demorou mais ou menos do que 1 segundo para ser ouvido; ou em que orelha o som foi ouvido. Estas são tarefas relacionadas à detecção do estímulo. Podemos também, perguntar ao observador, se os estímulos apresentados são equivalentes em uma determinada dimensão, por exemplo, se duas luzes de cores diferentes tem ou não o mesmo brilho. As tarefas de classificação podem ainda ser de maiores complexidades, envolvendo funções psicológicas de identificação ou reconhecimento. Por exemplo, se o som ouvido ao apertar um botão foi uma palavra ou qual foi a palavra ouvida, respectivamente.

Ordem. O observador tem que julgar se um estímulo é de grandeza maior ou menor do que outro. Por exemplo, o peso da esfera 1 é maior ou menor do que a esfera 2; se a luz da esquerda é mais ou menos brilhante do que a da direita; se a face apresentada num primeiro momento é mais ou menos representativa de uma pessoa negra do que a apresentada em um segundo momento; se a gravidade de uma ofensa apresentada na esquerda é maior ou menor do que a apresentada na direita.

Intervalo ou Distâncias. A tarefa do observador é julgar a distância ou a diferença entre dois ou mais estímulos. Por exemplo, dividir um contínuo em duas partes de igual representatividade psicológica.

Razão. A tarefa a ser desempenhada necessita que o observador julgue diretamente a razão ou a proporcionalidade entre dois ou mais estímulos. Por exemplo, deixar o brilho na figura apresentada à direita de um monitor com 1/6 da intensidade da figura apresentada à esquerda; ajustar a temperatura de uma barra de metal segurada pela mão direita para uma experiência perceptual de 3 vezes maior que o metal da mão esquerda.

Magnitude. Tarefa semelhante à de razão, porém, o observador diretamente representa a magnitude percebida por um numeral.

O outro parâmetro que afeta a medida psicofísica é a forma de apresentação do estímulo. Basicamente, os estímulos podem ser fixos ou ajustáveis pelo próprio observador. Esta escolha não é arbitrária e leva-se em consideração a característica da dimensão estudada e o suporte de equipamentos metodológico existentes. Por exemplo, é muito difícil conseguir uma condição que permita a variação contínua de peso suspenso ou para a variação de matiz de uma fonte luminosa, mas pode-se facilmente obter esta condição para a intensidade de estímulos sonoros.

Cada condição apresenta prós e contras na medição de limiares e sensibilidades sensoriais, as quais serão explicados mais objetivamente no Capítulo III.

Estímulos Fixos. Frequentemente pré-definidos pelo pesquisador, o qual seleciona um número específico de estímulos que variam em uma forma pré-determinada e, são diferentemente apresentados a cada testagem.

Estímulos Ajustáveis. Podem ser ajustados, tanto pelo examinador quanto pelo observador, durante o curso de sua apresentação. Frequentemente, repetidos ajustes são realizados para estímulos iniciando em diferentes pontos do contínuo em investigação.

O terceiro parâmetro tem relação com a possibilidade de aplicações de ferramentas estatísticas para a obtenção de informação nos dados coletados. Eles dependem dos propósitos do experimento. Basicamente, podemos dividir as informações estatísticas advindas de dois tipos de medida, localização e variabilidade.

Medidas de Localização. Nas medidas de localização estamos, geralmente, interessados na tendência central dos dados, sendo portanto, mais comumente utilizadas as médias (aritmética, harmônica ou geométrica), a mediana ou a moda. No entanto, cada medida é adequada para uma tarefa. Por exemplo, medidas de ordem são melhores descritas por moda, enquanto que medidas de intervalo podem ser por média aritmética ou mediana e medidas de razão por média geométrica.

Existe uma regra de segurança para estudos de medida central para quando não temos informações que nos permita, criteriosamente, escolher a medida de tendência central: use a mediana (Stevens, 1958). Isto porque ela é muito semelhante à média, em caso de dados distribuídos normalmente, e a medida de tendência central que se ajusta para a maioria das demais distribuições não-normais.

Medidas de Variabilidade. Para o nosso propósito, as medidas de variabilidade incluem medidas de dispersão (desvio-padrão, variância, faixa entre quatis) ou, menos frequentemente, medidas de confusão como a proporção ou a frequência de aparecimento do estímulo em uma dada categoria. Estas medidas são importantes para o estabelecimento da sensibilidade discriminativa ou do poder de resolução de um julgamento. Também são utilizadas como medidas de distâncias percebidas ao longo de um contínuo psicológico.

Uma tabela relacionando os principais problemas e métodos psicofísicos podem ser encontradas no Apêndice A.

LEITURA COMPLEMENTAR SUGERIDA

- a. A psicofísica como uma ciência da experiência primária (Wackermann, 2010).
- b. Uma visão perspectiva da história da Psicofísica (Murray, 1993).
- c. O papel da psicofísica humana na neurociência moderna (Read, 2014).
- d. A lógica da medida psicofísica (Bergmann & Spence, 1944).
- e. O contínuo psicofísico (Hollingworth, 1916).

CAPÍTULO II – TEORIA DA MEDIÇÃO E PSICOFÍSICA

Medição é um conceito muito utilizado pelas várias ciências e frequentemente realizado em muitas das atividades humanas. Medimos nossa temperatura corporal quando estamos gripados para saber se estamos ou não com febre, medimos a distância que percorremos de casa até a Universidade, medimos o peso de uma quantidade de carne e assim para muitas outras situações e contextos. Temos, portanto, uma relativa familiaridade com o que é medir e como se medir.

Esta noção de medida e as técnicas e procedimentos utilizados no nosso dia-a-dia são muito semelhantes aos utilizados por áreas como a física e a engenharia. No entanto, disciplinas comportamentais e sociais como psicologia, antropologia e sociologia estão cada vez mais incluindo a medida dentro de seus contextos e para seus objetos de estudo. Certamente, uma pergunta percorre nossas cabeças neste instante, “É possível e como fazemos para medir eventos complexos e privados como os estudados pelas disciplinas humanas?”.

Para responder a tal pergunta, devemos começar pelo princípio, definindo o que é medição. É neste momento que nos deparamos com a Medição, como uma área do conhecimento em pleno desenvolvimento, cujas teorias e concepções apresentam substancial diferenças entre si. O conceito de medição mais intuitivo pela prática que realizamos é

“...a representação objetiva de nosso conhecimento empírico do mundo por números, e um elemento essencial de todas as ciências”. (L. Finkelstein & Leaning, 1984).

No entanto, esta concepção de que medida é necessariamente uma representação numérica está baseada em um equívoco histórico de interpretação. Durante a Renascença, a ciência modificou-se de um discurso Aristotélico a priori para uma concepção baseada empiricamente. Neste momento, a medida passou a ser importante e com base na definição de Galileu, a medição moderna se desenvolveu (Ferris, 2004).

“Contar o que é contável, Medir o que é mensurável e o que não for mensurável, fazê-lo mensurável.” (Ludwik Finkelstein, 2003)

Os equívocos na interpretação desta retórica de Galileu são detectados em Kelvin, o qual modificou o contexto retórico e colocou peso na expressão numérica da medida.

“Costumo dizer que quando você pode medir o que você está falando, e expressá-lo em números que você sabe algo sobre ele. Mas quando você não pode medi-lo, quando não pode expressá-lo em números, seu conhecimento é de um tipo fraco e insatisfatório: pode ser o começo do conhecimento, mas você quase não avançou para o estágio da ciência, qualquer que seja a questão.” (Ferris, 2004)

Observamos nesta noção de medição apresentada por Kelvin que, embora haja um equívoco na concepção de que medição é a expressão de qualquer coisa em números, há um progresso no raciocínio da necessidade de se utilizar a medição para avançar no conhecimento científico (cuja verdade é verificável e testável) de qualquer área do saber. Sem a medição, avançamos em concepções filosóficas e teóricas, mas deixamos parte da epistemologia desconhecida, pois esta só é acessível pela medida (K. T. Jones, 1998).

Uma das definições de medição mais comumente encontrada em livros textos e referenciada em artigos científicos foi concebida por Campbell, a qual foi estruturada na interpretação de Kelvin.

"A medição é o processo de atribuição de números para representar qualidades: o objeto de medição é permitir que a poderosa arma da análise matemática fosse aplicada ao assunto da ciência." (Ferris, 2004)

Esta definição também apresenta uma contribuição para o avanço do entendimento sobre o que é medir. A possibilidade de se traduzir um evento na linguagem matemática, apresenta certas vantagens sobre o discurso linguístico: (1) necessidade de definição exata dos termos utilizados; (2) construção e verificação de relações entre os termos de acordo com as regras desta ciência, por exemplo, se $X > Y$, não existe a possibilidade de X ser 3 e Y ser 8; (3) aplicação de ferramentas estatísticas para a extração de informações e verificação de erros; (4) uso da própria matemática para a validação lógica de constructos e relações.

O desenvolvimento da Psicofísica influenciou a definição sobre o conceito de Medição. Stevens definiu medição como "um conjunto de regras para atribuir números a coisas" (Stevens, 1946). Ou seja, uma importante diferença entre esta definição e as anteriores está no fato de que a preocupação de Stevens estava centrada nas regras e não na quantificação numérica propriamente dita. Esta preocupação com as regras é sustentada pelo fato de que diferentes operações empíricas realizadas pelo observador definem a estrutura do mapeamento pelas escalas e, conseqüentemente, as possibilidades de tratamentos dos dados e das estatísticas aplicáveis em cada uma delas.

Na publicação deste fundamental trabalho, Stevens apresenta quatro tipos de escalas e suas características matemáticas fundamentais: Nominal, Ordinal, Intervalar e Razão. Nós veremos com mais detalhes tais escalas no capítulo intitulado Escalonamento Psicofísico.

Outras teorias e avanços ocorreram após a publicação de Stevens, e se popularizaram em segmentos específicos das disciplinas humanas. Recentemente, tem ganhado força a Teoria Representacional da Medição. Para esta, a definição de medição é:

"...um processo empírico, usando um instrumento, efetuando um mapeamento rigoroso e objetivo de um observável em uma categoria, em um modelo do observável que significativamente distingue a manifestação de outras manifestações possíveis e distinguíveis." (Ferris, 2004).

Esta definição representacional considera a Medição a partir de uma perspectiva do poder descritivo em relação ao objeto observado, enfatizando em particular que os resultados da medição localizam o observado em relação ao entendimento deste observado pelo observador (R. D. Luce & Suppes, 2004). Ou seja, ela é um retorno interpretativo da ideia Psicofísica de ser um instrumento de mapeamento da realidade sobre uma escala.

A leitura das medidas sob a perspectiva da Teoria Representacional atesta a visão de Stevens, Thurstone e Fechner sobre os princípios de invariância presentes em cada tipo de medição, do entendimento das medições numéricas e do utilitarismo das escalas, das discriminabilidades e dos limites psicológicos, respectivamente. Quando realizamos uma medida psicofísica (encontro de relações entre mudanças físicas e mudanças subjetivas), estamos realizando um mapeamento de como nossas funções mentais variam de acordo com as modificações externas.

O que é particular na Psicofísica e as disciplinas afins (Psicometria, Sociometria) é a utilização de o próprio ser humano como instrumento de medição e

de como definir as formas sistemáticas de expressar objetivamente suas experiências privadas, seja na análise de um indivíduo, seja na análise de um grupo.

INSTÂNCIA CIENTÍFICA DA MEDIDA PSICOLÓGICA

Vimos que a concepção de ciência está diretamente relacionada com o uso de medições como epistemologia e que a Medição como disciplina vem se desenvolvendo de maneira importante por muitos séculos. Vimos também, que a Psicologia como ciência iniciou-se com a possibilidade de se medir eventos subjetivos relacionados à atividades fisiológicas e psicofísicas. No entanto, o consenso sobre ciência psicológica é mais recente do que imaginamos.

Como descrito por Stevens (S. S. Stevens, 1939; Stevens, 1946) foi somente em 1940, depois de 7 anos de debates acadêmicos e muitos desacordos sobre o tema da medição, em uma comissão composta pelas seções A (Matemática e Física) e J (Psicologia), que a Sociedade Britânica para o Avanço da Ciência considerou a possibilidade da Psicologia poder utilizar os termos "medição".

Foi somente com os intensos trabalhos de Stevens, provando que as medidas psicofísicas que ele havia realizado sobre magnitude do volume percebido, identificando-a como uma escala de razão e que esta, não difere das escalas de razão utilizadas pela física, que a Psicologia avança como uma ciência. Somente a prova de que as medidas quantitativas realizadas pela física são fundamentalmente as mesmas operações empíricas realizadas pela Psicofísica e que, qualquer escala sensorial ou física, podem ser sujeitas e vieses, baixa precisão e generalidade restrita, que os argumentos dos objetores foram eliminados.

Assim, a Psicofísica não só foi uma das responsáveis pelo surgimento da Ciência Psicológica como foi, também, a responsável pelo seu reconhecimento, perante a comunidade científica internacional.

Atualmente, as medidas em Psicologia estão presentes em todas as suas vertentes básicas e aplicadas. A Psicofísica tem expandido suas medidas para o entendimento de processos básicos dos sistemas sensoriais, perceptuais e cognitivos, desde o funcionamento dos sensores, do processamento neural até as expressões conscientes de memória, julgamentos e tomadas de decisões. Medidas psicofísicas são também importantes para áreas aplicadas da Psicologia como a Clínica, a Social e a Educação. Medidas de atitude, de identidade, de percepção social, de estados de humor são baseadas em modelos quantitativos que derivaram da Psicofísica.

A Psicometria é uma área do conhecimento psicológico que derivou das medidas psicofísicas de Louis Leon Thurstone (Thurstone & Chave, 1929b, 1929c) para avaliação de atitudes e inteligência, posteriormente robustecida pelo trabalho de Louis Guttman (Guttman, 1944) e Rensis Likert (Likert, 1932).

Como curiosidade, apresentamos alguns periódicos científicos indexados pela APA (American Psychological Association) que lidam exclusivamente com as questões que envolvem medidas psicológicas quantitativas e continuam a impulsionar o avanço desta área. São eles: *Psychometrika*, *Educational and Psychological Measurement*, *Journal of Educational Measurement*, *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, *Applied Psychological Measurement*, *Attention, Perception and Psychophysics*, *Journal of Classification*, *Psychological Methods* e o *Journal of Mathematical Psychology*.

LEITURA COMPLEMENTAR SUGERIDA

- a. O sentido lógico da medida em psicologia (Bergamann & Spence, 1944).
- b. Avanços recentes nas definições de medida (Ferris, 2004).
- c. Aplicações históricas de testes mentais e medidas (Cattell & Galton, 1890).
- d. A media aplicada a estados subjetivos (Gulliksen, 1956).
- e. Texto de revisão sobre medida (Cozby, 2004).

CAPÍTULO III - A PSICOFÍSICA CLÁSSICA

Os processos sensoriais tem um papel único para a Psicologia: eles são as portas para a mente. Sensações estão envolvidas em praticamente todos os comportamentos e aquisições de conhecimento. Mais ainda, séculos de estudo tem mostrado o papel ativo dos sentidos na construção ativa do nosso mundo subjetivo. Os sentidos não são apenas sensores, receptores passivos, mas atuam na detecção e na organização das informações sobre o mundo permitindo que os organismos sejam capazes de detectar, discriminar, reconhecer, julgar e decidir sobre estas informações.

Toda a Psicofísica foi desenvolvida inicialmente para estudar a relação quantitativa entre as energias no ambiente e a respostas dos sensores para esta energia. Foi o próprio Gustav Theodor Fechner em *Elemente der Psychophysik* (Fechner, 1860) quem apresentou os métodos psicofísicos que têm sido utilizados até os dias de hoje para o estudo das sensações, percepções, fisiologia e limites das funções sensoriais. Estes métodos são conhecidos como Métodos Psicofísicos Clássicos.

A Psicofísica clássica está, então, fortemente centrada na medida dos limites sensoriais. Para tal, sempre buscou medir respostas de observadores para estímulos que variam de forma cuidadosa e sistematicamente controladas. Os estímulos utilizados em experimentos psicofísicos clássicos tendem a ser simples (como luzes, tons sonoros, soluções químicas, calor) e frequentemente variam em apenas uma única dimensão física por vez (tais como duração, frequência, amplitude, concentração molar). Vale lembrar que os métodos psicofísicos clássicos têm mais de 150 anos e ainda contribuem imensamente para o entendimento de como nossos receptores sensoriais realizam suas funções de transformação de energias do ambiente para iniciar a geração de nossa experiência subjetiva.

Por buscar os limites sensoriais e da experiência subjetiva para estímulos simples e elementares do ambiente, a psicofísica clássica e seus métodos estudam duas categorias de limites, os limiares absolutos e diferenciais.

O CONCEITO DE LIMIAR

No início dos anos 1800s, o desenvolvimento tecnológico começou a possibilitar aos cientistas serem capazes de controlar de forma mais precisa, a energia de diversos estímulos físicos (luz, som, calor). Começou, então, a ficar popularmente evidente que existiam níveis de energia abaixo da capacidade humana de nota-los. Foi em 1824 que o filósofo Herbart escreveu que eventos mentais necessitariam ser mais fortes ou intensos do que alguma quantidade crítica mínima, para que pudesse ser conscientemente experienciada (Gescheider, 1997). Este conceito teórico de limiar é denominado conceito "tudo-ou-nada", representado graficamente na Figura III.1.

As tentativas de se medir este limiar foram incapazes de demonstrar esta característica binária. As medidas de limiares absolutos mostravam resultados de modificações da sensibilidade do observador de momento para momento. Mesmo que alguns pesquisadores ainda cogitassem a ideia de que, em todo o momento, deveria existir um limiar fixo, o qual se ultrapassado, geraria uma experiência psicológica, levar este conceito para o laboratório tornou-se uma ideia questionável e de limitada utilidade.

As medidas de limiares mostravam que a porcentagem de detecção ou a probabilidade de detecção consciente para uma série de estímulos, não apresentava o formato de curva predito pela teoria do "tudo-ou-nada". A forma de curva obtida era muito semelhante à de uma função senoidal (também conhecida como ogiva).

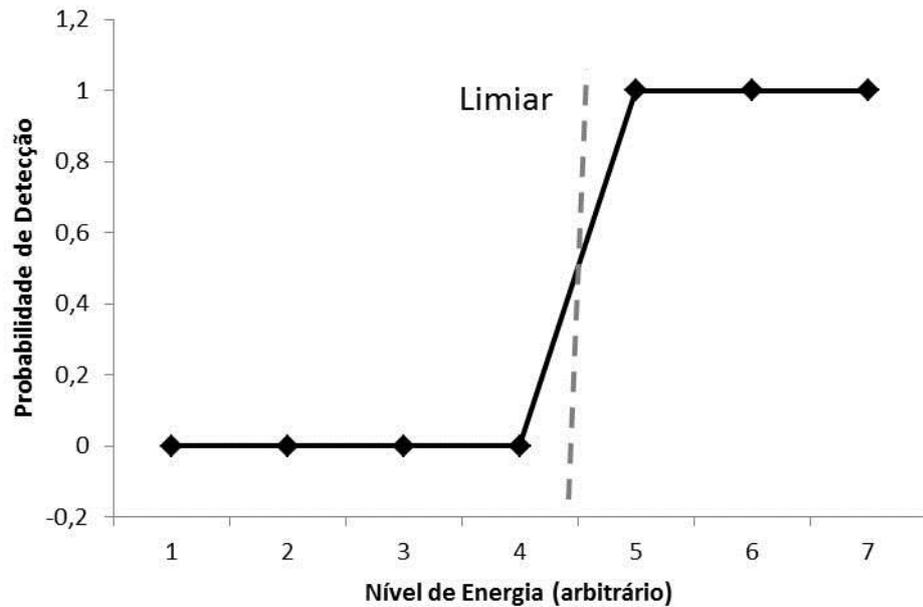


Figura III.1: O conceito de limiar "tudo-ou-nada", no qual a detecção consciente de um estímulo sensorial nunca ocorre para as intensidades abaixo do limiar, enquanto que acima do limiar este estímulo sempre leva à experiência consciente. Adaptado de (Lawless, 2013).

Esta função que descreve a probabilidade de experiência consciente para detecção como uma função dos estímulos, como a pressão sonora ou intensidade de uma luz, é denominada função psicométrica (Figura III.2). A definição de limiar, portanto, só pode ser concebida como uma entidade estatística, ao invés de um ponto fixo. Por aspectos práticos, o limiar ficou definido como o valor do estímulo que eliciasse uma ocorrência de detecção de 50%.

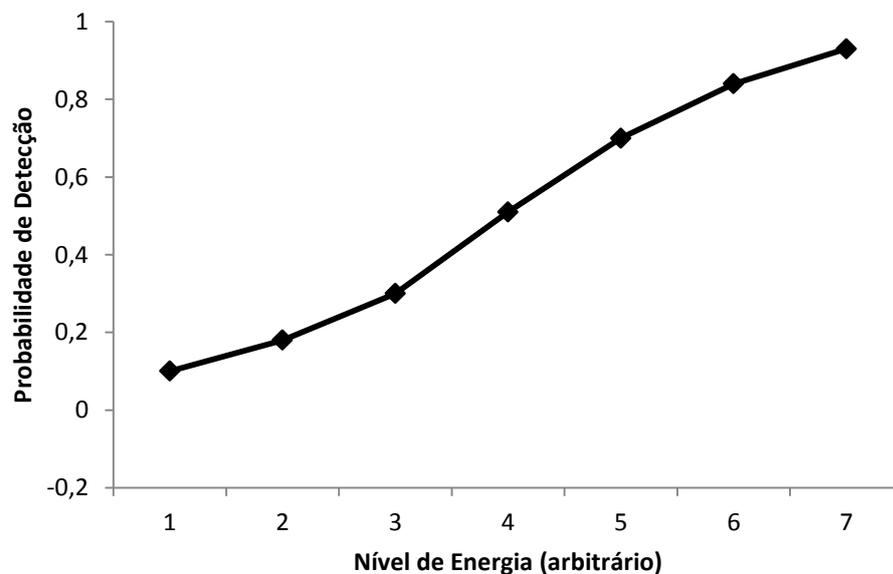


Figura III.2: A função psicométrica descrita como a relação entre a probabilidade de resposta (experiência consciente) traçada contra os níveis de energia dos estímulos formando uma curva similar à forma de uma letra S. Adaptado de (Lawless, 2013).

A relação entre a função psicométrica, a ogiva em forma de S, com a distribuição normal acumulada é demonstrada na Figura III.3. O limiar é definido como o ponto que separa em duas partes iguais as probabilidades de detecção ou não detecção consciente.

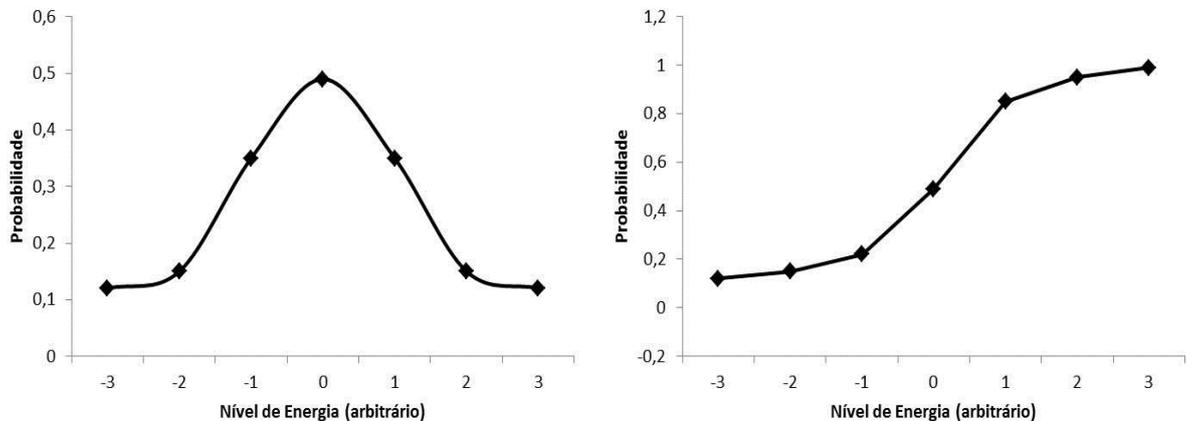


Figura III.3: A função psicométrica formando uma curva similar à forma de uma letra S (direita) é relacionada à curva de distribuição normal acumulada (esquerda). Adaptado de (Dixon & Massey, 1969).

Uma vantagem adicional da possibilidade de representação da função psicométrica como uma função normal, vem do fato de que esta última apresenta uma distribuição bem entendida e com parâmetros bem conhecidos, como uma localização central (a média μ) e um espalhamento (desvio padrão σ ou variância σ^2). Isso possibilita também que possamos representar as medidas de probabilidade de detecção em unidades de distância do limiar, utilizando o desvio-padrão como unidade, pelo uso do escore-Z. Esta conversão pode ser obtida por meio de uma tabela de conversão de proporção para escore-Z (Tabela B1; Apêndice B). Esta relação pode ser observada na Figura III.4.

É importante que o leitor se sinta confortável em fazer a conversão de probabilidade para escore-Z e vice-versa, pois esta relação forma a base de muitos cálculos em psicofísica que serão apresentados posteriormente.

O escore Z é uma transformação da medida normal para valores de distância do valor central. Assim, o valor central (50% ou a média) assume valor "0" (zero) e os demais valores são referenciados por uma unidade de distância padronizada (desvio-padrão). Desta forma, o cálculo de um valor em unidades de escore Z segue a equação 2.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (\text{Eq. 2})$$

onde X é o valor determinado ou o escore bruto, μ é o valor da média amostral ou populacional e σ é o desvio padrão amostral ou populacional. Outra aplicação importante do escore Z é a possibilidade da comparação de medidas que utilizam escalas diferentes, como, por exemplo, peso e altura; notas de português e de matemática (Wilkinson, 1999).

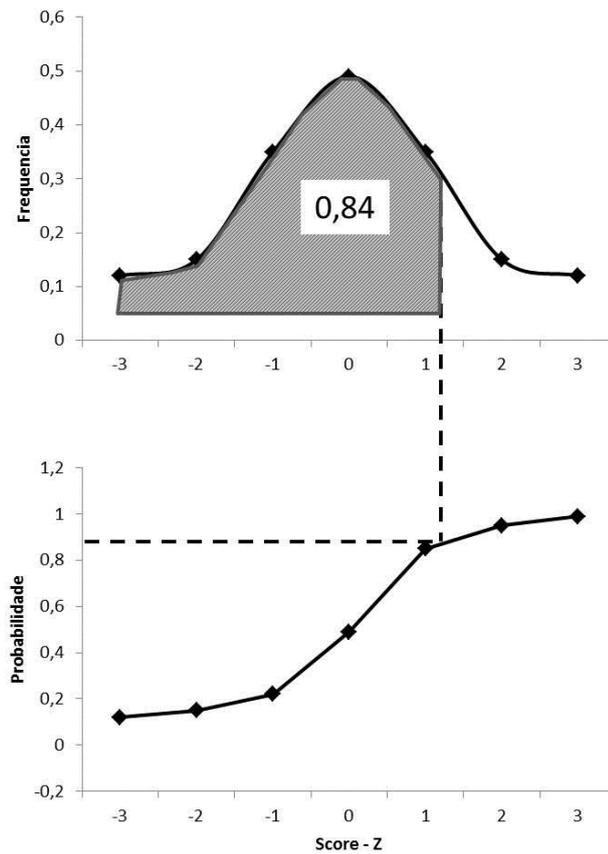


Figura III.4: A relação entre a função psicométrica e a curva normal acumulada representada em escore-Z. Esta relação nos permite identificar a correspondência entre os valores de limiares e sua representação em termos de distâncias de desvio padrão. Adaptado de (Dixon & Massey, 1969).

TEORIAS DO LIMIAR

Há algumas teorias que se propõem explicar este fenômeno comportamental da aparente natureza probabilística do limiar. Uma destas teorias gira em torno da hipótese de que o limiar momentâneo real era de quantidade fixa, mas que varia de acordo com uma distribuição normal.

Uma segunda teoria sustenta a ideia de que o limiar do observador é realmente fixo, mas que o próprio estímulo é quem varia de forma aleatória mas, normalmente distribuído.

Embora ainda haja na literatura algumas tentativas de grupos de pesquisas de validar uma ou outra hipótese, a maioria dos psicofísicos acredita que ambas as fontes de variabilidade estão presentes na maioria dos estudos.

Independente das hipóteses acima, a forma da distribuição da experiência sensorial em função das intensidades dos estímulos apresenta uma forma de S, no qual claramente as medidas de média e variância (os parâmetros de localização e espalhamento) representam a posição do limiar e sua variabilidade. Na Figura III.5, temos um claro exemplo de como interpretar uma função psicométrica.

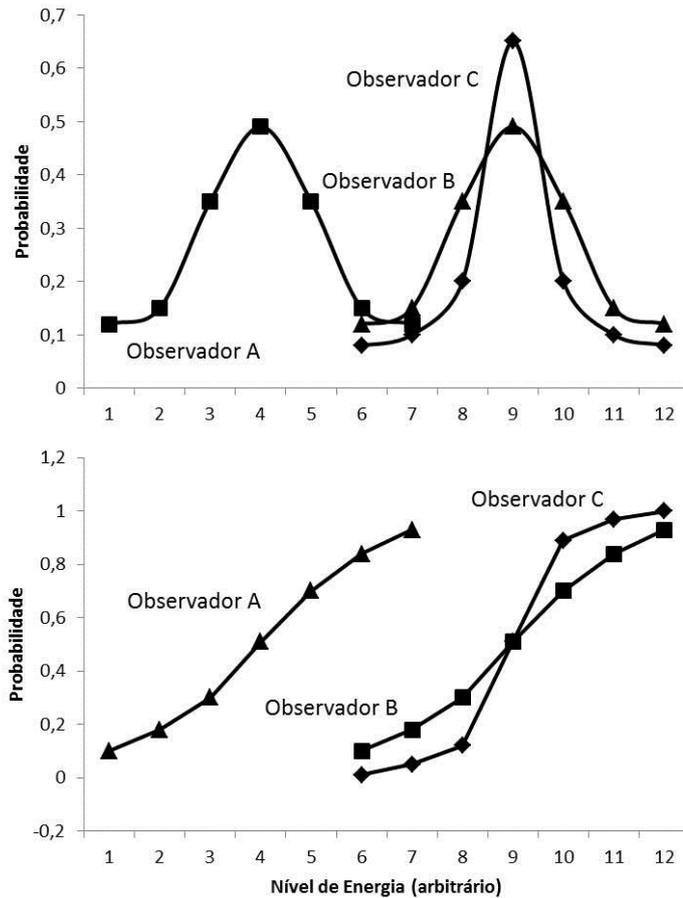


Figura III.5: Limiares momentâneo e obtido de três hipotéticos observadores: o observador A tem sensibilidade mais alta do que os observadores B e C, porque ele responde para níveis de energia mais baixos. O observador C tem limiar muito semelhante ao de B, porém, inerentemente menos variabilidade, resultando em uma função psicométrica com maior inclinação. Adaptado de (Lawless, 2013)

Observamos nesta figura que os observadores A e B apresentam a mesma variabilidade de detecção de um estímulo físico. No entanto, o observador B demonstra uma necessidade de intensidades de energia maiores, portanto, tendo um limiar maior. Isso significa, também, uma menor sensibilidade à estes estímulos. A relação inversamente proporcional entre limiar e sensibilidade pode ser expressa pela seguinte equação:

$$S = \frac{1}{L} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde S é a sensibilidade e L é o limiar obtido em uma medida psicofísica de detecção. Os observadores B e C apresentam a mesma sensibilidade, mas o observador C tem menos ruído neural ou outros fatores que contribuem para a variância, e esta menor variabilidade acarreta em uma função psicofísica de maior inclinação.

SENSIBILIDADE ABSOLUTA

A medida desta função psicológica está relacionada ao limiar que descrevemos até então; relacionada à tarefa mais simples que nossa experiência consciente pode realizar uma detecção. O termo que descreve especificamente este limite da

consciência recebe o nome de Limiar Absoluto, ou seja, a diferença entre o nada e a mínima experiência consciente.

Este é, obviamente, o fenômeno psicofísico mais elementar. Medidas de Limiares Absolutos nos ajudam imensamente a entender a fisiologia funcional de nossos receptores sensoriais e de como nossa resposta consciente está relacionada com a periferia do sistema nervoso. Medidas de limiares absolutos, por exemplo, nos mostram que nossos bastonetes, uma das classes de receptores à luz existentes na retina de humanos, é capaz de gerar experiência consciente visual pela captura de apenas 1 (um) fóton de luz (Hecht, Schlaer, & Pirenne, 1942).

SENSIBILIDADE DIFERENCIAL

O segundo fenômeno psicofísico de maior importância na psicofísica clássica é o Limiar Diferencial. Este limiar está relacionado à mínima quantidade de energia necessária para que haja a experiência consciente de modificação na intensidade do estímulo para mais ou para menos. Outro termo também utilizado para este limiar é a Diferença Apenas Perceptível (DAP).

De várias formas o Limiar Diferencial é da maior utilidade prática do que o Limiar Absoluto. Isto porque permite lidarmos com estímulos ao longo de toda a faixa para a qual o observador pode responder. Este limiar nos possibilita entender como nossos receptores sensoriais funcionam ao longo de diferentes intensidades de estímulos e não apenas com a intensidade mais fraca, na região da detecção.

Ainda, em comparar estímulos para identificarmos a sensibilidade para diferenças, somos capazes de selecionar a linha de base ou o estímulo padrão e medir os limiares para variações positivas (estímulos mais fortes) e negativas (estímulos mais fracos).

METODOLOGIA PSICOFÍSICA CLÁSSICA

Além do desenvolvimento filosófico e epistemológico sobre a natureza da experiência consciente, as atividades de Gustav Fechner incluíram o desenvolvimento de três métodos para a medida de Limiares Absolutos e Diferenciais. São eles: Método do Ajuste, Método dos Limites e Método dos Estímulos Constantes. Estes métodos são frequentemente referenciados como Métodos Psicofísicos Clássicos e podem ser utilizados tanto para a medida de Limiares Absolutos quanto de Limiares Diferenciais.

Hoje sabemos que os sistemas biológicos não são fixos, mas variáveis em sua resposta. Fechner reconhecia esta natureza estatística dos limiares e as consequências metodológicas necessárias para sua medição. Assim, cada um destes métodos consiste de um procedimento experimental e um tratamento matemático dos dados.

O procedimento mais básico para a medida de qualquer função subjetiva é apresentar um estímulo a um observador e perguntar se houve ou não experiência consciente. A revolução da psicofísica para a psicologia foi o desenvolvimento de uma sistematização desta tarefa, definindo uma "metodologia científica" para o estudo quantitativo de eventos subjetivos.

MÉTODO DO AJUSTE

Este é o método mais simples e de menor controle experimental para a medida de limiares. Uma das mais principais características deste método é a possibilidade do observador controlar as mudanças no estímulo.

Na medida de Limiar Absoluto pelo Método do Ajuste, o procedimento consiste em colocar inicialmente o estímulo muito acima ou abaixo da esperada para o limiar. Solicita-se ao observador que ajuste a intensidade do estímulo, aumentando ou

diminuindo, a depender do ponto de partida, até que este seja apenas perceptível, no caso dos estímulos iniciais abaixo do limiar, ou até que ele tenha apenas desaparecido, no caso dos estímulos iniciais acima do limiar.

Durante o procedimento experimental, o observador realiza vários ajustes ascendentes, para estímulos abaixo do limiar, e ajustes descendentes, para estímulos acima do limiar. O valor do Limiar Absoluto é obtido pela média dos valores dos estímulos das séries ascendentes e descendentes. Importante recomendação é a aleatorização das séries e dos valores utilizados como ponto de partida, para evitar efeitos de aprendizagem. Por haver uma grande variabilidade pelos motivos já apresentados e pelo fato adicional da pouca precisão de controle experimental do estímulo, há a necessidade da realização de, em média 100 séries.

As vantagens deste método são pelo fato de que o sujeito tem uma participação muito ativa na tarefa experimental, o que esperamos manter em ótimos níveis a atenção e o desempenho. O fato do ajuste, na maioria das vezes, ocorre de forma dinâmica, pela utilização de estímulos que variam de forma contínua, permite que várias séries ascendentes e descendentes sejam realizadas em curto espaço de tempo. Assim, este é um método muito útil para determinação de limiares que apresentam modificação pelo tempo.

As desvantagens que este método apresenta são a habituação e a expectativa. Estes comportamentos aparecem em experimentos psicofísicos com o nome de Histerese. A habituação ocorre devido ao ponto de partida muito distante do limiar. Para séries descendentes, o observador se habitua para estímulos acima do limiar e apresenta uma tendência natural para responder ao desaparecimento do estímulo além do ponto do verdadeiro limiar. De forma semelhante, para séries ascendentes, há a habituação para a ausência de estímulos o que faz com que os observadores respondam para o aparecimento dos estímulos além do ponto do limiar.

Quando utilizamos o Método do Ajuste para a medida do Limiar Diferencial, o observador é instruído a realizar uma equiparação do estímulo que pode ser modificado (ou estímulo teste) ao estímulo de referência (ou estímulo padrão). Uma vez que são realizadas muitas repetições (aproximadamente 100), há uma bem definida tendência central de representação do ponto de equiparação, se aproximando de uma distribuição semelhante à curva normal.

Após várias repetições de séries ascendentes e descendentes, o valor médio obtido em cada série representa o Ponto de Igualdade Subjetiva (PIS), ou seja, o ponto no qual o estímulo teste, em média, se assemelha ao estímulo padrão. A diferença entre o PIS e o real valor do estímulo padrão é usada para calcular o Erro Constante (EC):

$$EC = PIS - EP \quad (Eq. 4)$$

onde EC é o erro constante, PIS é o ponto de igualdade subjetiva e EP é o valor real do estímulo padrão. Quanto menor for o erro padrão, maior é a sensibilidade do observador na equiparação dos estímulos.

Os limiares diferenciais superior (LDs) e inferior (LDi), são obtidos de forma estatística e, frequentemente, utilizamos o desvio padrão ou a variância como LD. Quanto menor forem as medidas de dispersão, mais próximos serão os LD e, portanto, melhor o desempenho do observador na tarefa. Interpretamos isso como uma maior sensibilidade e maior discriminabilidade do observador.

MÉTODO DOS LIMITES

O Método dos Limites é o método mais utilizado para a determinação de limiares. Quando aplicado corretamente, permite a obtenção de resultados satisfatórios. Diferentemente do Método do Ajuste, os níveis de estímulos a serem apresentados são

pré-definidos pelo experimentador, porém, contém alguns estímulos acima e abaixo da região esperada para o limiar.

Na medida de Limiares Absolutos, inicia-se com valores de estímulos bem acima e abaixo da região do limiar e também se realizam séries ascendentes e descendentes. Em uma série descendente, as mudanças sucessivas do estímulo até que este seja relatado não percebido. Nas séries ascendentes, as mudanças sucessivas do estímulo ocorrem até que observador reporte que está percebendo.

Para cada série, portanto, teremos uma reversão, ou seja, uma modificação da situação de experiência consciente para a inconsciente para o estímulo e vice-versa. Assim, considerando uma série descendente, para o penúltimo estímulo há consciência enquanto que o último estímulo é inconsciente. Pela definição que vimos de limiar, o real valor para esta série está entre estes estímulos. Vejamos a Figura III.6.

Estímulo (unid. arbitrárias)	65		Y	Y	Y	Y	
	32		Y	Y	Y	Y	
	16	Y	Y	Y	Y	Y	
	8	N	Y	Y	Y	Y	
	4	N	Y	Y	Y	Y	
	2	N	N	N	Y	Y	Y
	1	N	N	N	Y	Y	Y
	0,5	N	N	N	N	N	N
	0,25	N	N	N	N	N	N
			A1	D1	A2	D2	A3
						A4	D4
		Série					

Figura III.6: Medida de limiar absoluto pelo método dos limites. Para cada série de estimulação (A) ascendente e (D) descendente, modifica-se a intensidade do estímulo até se obter uma reversão. As últimas reversões são usadas para o cálculo do limiar. Adaptado de (Ehrenstein & Ehrenstein, 2000).

Para a primeira série ascendente, aumenta-se a intensidade do estímulo até a intensidade de 8dB (decibel) o observador não nota a presença do estímulo, a que ocorre para o estímulo de 16dB. Este é o ponto da reversão de resposta da série. Se considerarmos 8dB como 0% de experiência consciente e 16dB como 100% de consciência da presença do estímulo, teremos que o limiar verdadeiro estará em algum lugar entre estes dois valores. Por definição, utilizamos o valor médio destes estímulos, ou seja, 12dB, como o valor de estímulo no limiar da consciência.

O valor do Limiar Absoluto se dá pela média dos valores obtidos pelas reversões de todas as séries ascendentes e descendentes. Uma vez que a variabilidade tende a diminuir conforme a repetição das séries, é comum utilizarmos apenas algumas séries no final do experimento, buscando reduzir a variabilidade e, assim, aumentar a precisão de nossa medida. Este conjunto de séries finais recebe o nome de fase estável.

$$LA = \frac{\sum NiYi}{Nny} \quad (Eq. 5)$$

onde LA é o Limiar Absoluto, $\sum NiYi$ é a somatória dos valores médios das reversões em cada série utilizada para o cálculo do limiar, e Nny é o número de valores totais das reversões. Neste caso exemplificado na Figura III.6, o valor do Limiar Absoluto será obtido pela média das 5 últimas reversões coletadas (com círculos):

$$LA = \frac{1,5 + 0,75 + 0,75 + 0,75 + 0,75}{5} = 0,9dB \quad (Eq. 6)$$

Na medida de Limiar Diferencial, o observador deve oferecer duas respostas. Partindo de estímulos conscientemente diferentes, diminui-se a intensidade do estímulo até que o observador não seja capaz de notar a diferença. Continua-se a modificar a intensidade do estímulo até o ponto no qual o observador novamente reporte uma diferença entre os estímulos em comparação. Estes dois pontos de modificação de resposta correspondem às reversões que definem os Limiares Diferenciais LDs e LDi. De forma semelhante ao cálculo do valor do limiar absoluto, realizamos o cálculo entre as reversões.

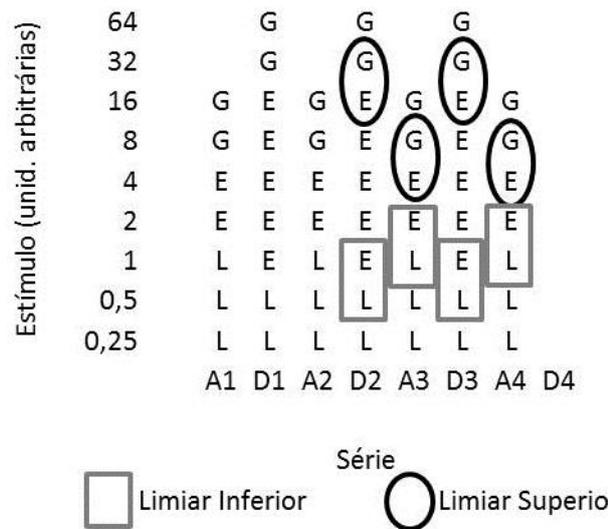


Figura III.7: Medida de limiar diferencial pelo método dos limites. Para cada série de estimulação (A) ascendente e (D) descendente, modifica-se a intensidade do estímulo até se obter uma reversão entre as intensidades maiores e menores. Adaptado de (Gescheider, 1997).

O erro constante medido no método do ajuste aqui se torna um Intervalo de Incerteza (Int.I.), uma vez que esta é uma estimativa indireta da variabilidade e não uma medida direta como no Método do Ajuste. A definição do PIS se dá pela média dos valores entre os LDs e LDi (Figura III.7).

$$LDs = \frac{24 + 6 + 24 + 6}{4} = 15,0 \quad (Eq. 7)$$

$$LDi = \frac{0,75 + 1,5 + 0,75 + 1,5}{4} = 1,12 \quad (Eq. 8)$$

$$PIS = \frac{(LDs + LDi)}{2} = 8,06 \quad (Eq. 9)$$

$$Int. I. = \frac{(LDs - LDi)}{2} = 6,94 \quad (Eq. 10)$$

Se fosse um experimento de discriminação de tamanho de som, em decibel de pressão sonora, os resultados acima nos mostram que ao julgarmos diferentes intensidades de som contra uma referência, um som de 4dB, nossa percepção de intensidade que se iguala à intensidade física projetada no autofalante corresponde a $8,6 \pm 6,9$ cm. Este mesmo som será discriminado como mais intenso na maioria das

vezes, quando ele estiver em 15dB ou mais e será julgado como menos intenso quando estiver a 1,12dB ou menos.

MÉTODO DOS ESTÍMULOS CONSTANTES

Este método é o mais preciso de todos os métodos clássicos. No entanto, ele necessita de um maior tempo de aplicação e, por isso, muitas vezes opta-se pela utilização dos métodos anteriormente descritos.

Um mesmo conjunto de estímulo, geralmente variando entre 5 e 11 valores diferentes, são repetidamente apresentados ao observador, em ordem aleatória, uma grande quantidade de vezes, sendo no mínimo 20 vezes para cada valor. É importante que o valor do limiar se encontre próximo aos valores intermediários do conjunto. Frequentemente, estudos prévios ou pilotos são realizados utilizando os outros métodos psicofísicos clássicos para nos dar a noção da faixa de estímulos e da aproximada posição do limiar.

O Método dos Estímulos Constantes é o que menos apresenta as desvantagens presentes nos métodos anteriores, como a histerese. No entanto, ainda está sujeito, embora em menor grau, à escolha do critério de resposta adotado pelo observador.

As definições dos parâmetros psicofísicos como o Limiar e o Ponto de Igualdade Subjetiva são puramente estatísticos, estando menos limitado aos valores das reversões e, assim, permitindo uma maior precisão quantitativa. De acordo com Whitchman & Hill (F.A. Wichmann & J. Hill, 2001; F. A. Wichmann & J. Hill, 2001), os quais realizaram avaliações e simulações de bootstrap para verificar parâmetros psicofísicos, o "Método dos Estímulos Constantes" apresentou os melhores valores de replicabilidade, dispersão e consistência interna. Isto levou os autores a afirmar que o Método dos Estímulos Constantes é o melhor método psicofísico desenvolvido até os dias de hoje, mesmo quando comparado com métodos adaptativos mais modernos e sofisticados, os quais veremos mais adiante.

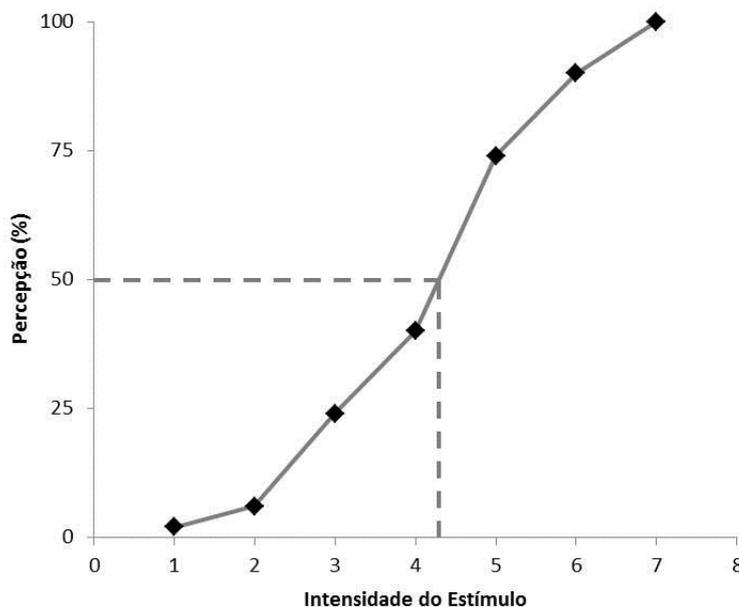


Figura III.8: Limiar absoluto obtido em um experimento com o Método dos Estímulos Constantes. O estímulo limiar é definido estatisticamente e corresponde ao valor de porcentagem de experiências perceptiva de 50%. Adaptado de (Gescheider, 1997).

Tabela 1: Valores obtidos na Medida de Limiar Absoluto pelo Método dos Estímulos Constantes (50 apresentações para cada intensidade). *Adaptado de (Gescheider, 1997).*

Intensidade do Estímulo	1	2	3	4	5	6	7
Frequencia do Estímulo Percebido	1	3	12	20	37	45	50
Porcentagem do Estímulo Percebido	2	6	24	40	74	90	100

Existem várias maneiras de se calcular o Limiar Absoluto obtido pelo Método dos Estímulos Constantes. Algumas envolvem a transformação de valores de porcentagem para escore-Z e identificar os parâmetros do ajuste de uma equação de reta e a partir daí, calcular os valores dos limiares. No entanto, a maneira mais fácil para se calcular o limiar obtido pelo Método dos Estímulos Constantes é apresentado por (Ehrenstein & Ehrenstein, 2000). Utilizaremos como base os dados apresentados na Tabela 1. A maneira mais simples de se encontrar este limiar está descrita na fórmula abaixo:

$$L = a + (e - a) \cdot \frac{50 - Pa}{Pe - Pa} \quad (\text{Eq. 11})$$

onde "a" é o valor do estímulo que imediatamente antecede a porcentagem de certo de 50% e "e" é o valor do estímulo que imediatamente excede a porcentagem de 50%. "Pa" é a porcentagem de acerto para o estímulo que imediatamente antecede a porcentagem de certo de 50% e "Pe" é o valor da porcentagem de acerto para o estímulo que imediatamente excede a porcentagem de 50%.

Em nosso exemplo, apresentados na função psicométrica da Figuras III.8 e nos dados da Tabela 1, podemos proceder ao cálculo do Limiar Absoluto, de acordo com a fórmula (Eq. 11).

$$L = a + (e - a) \cdot \frac{50 - Pa}{Pe - Pa} = 4 + (5 - 4) \cdot \frac{50 - 40}{74 - 40} = 4 + \frac{10}{34} = 4,34$$

Para a determinação dos parâmetros psicométricos da função para calcular o Limiar Diferencial, basta simplesmente repetir o cálculo acima para os valores de 25% e 75%, para a obtenção dos valores de LDi e LDs, respectivamente. O valor de 50% corresponde ao PIS.

MÉTODOS PSICOFÍSICOS ADAPTATIVOS

Os três métodos psicofísicos clássicos criados por Fechner continuam sendo muito utilizados até os dias de hoje. Porém, com o desenvolvimento da Psicofísica e sua inserção como método de investigação em várias áreas aplicadas como a nutrição, a fonoaudiologia, a medicina, a ciências do alimento, ergonomia para citar algumas, os métodos clássicos em sua forma tradicional demandavam muito tempo para que se cumprissem as várias repetições necessárias para a determinação do limiar. Para contornar este novo contexto de aplicação da Psicofísica, métodos novos foram

desenvolvidos a partir dos métodos clássicos. Estes Métodos são conhecidos como Métodos Psicofísicos Adaptativos (Treutwein, 1995).

Existem vários métodos em amplo uso na atualidade e muitos métodos novos são continuamente criados pelo avanço nas ciências estatísticas e probabilísticas. Apresentaremos os métodos mais conhecidos e já consagrados pela literatura da área.

MÉTODO UP-DOWN (ESCALA)

O Método mais conhecido e aplicado em experimentos psicofísicos é o Método da Escada, também conhecido como Método Up-and-Down, desenvolvido por Cornsweet (Cornsweet, 1962). Este método é uma variação do Método dos Limites, no qual, partindo-se de uma série descendente, ao chegar ao ponto de reversão, não há a interrupção da série, mas sim, uma inversão na direção da modificação do estímulo. Por exemplo, se estamos reduzindo a intensidade de som de um ruído e, ao chegarmos ao ponto de reversão, neste caso, do observador deixar de escutar o som; a partir deste ponto, invertemos a direção da mudança e começamos a aumentar a intensidade do estímulo até o ponto de uma nova reversão, que, neste caso, seria a de voltar a ouvir o som, novamente. E assim, procede-se até que um número satisfatório de reversões ocorra para o término da medida. (Figura III.9).

Define-se também, neste procedimento, a quantidade de reversões para a finalização da avaliação e a quantidade de reversões finais utilizadas para o cálculo do limiar. Habitualmente, espera-se que a escada atinja sua "fase estável" para se definir este número de reversões para o cálculo do limiar. Durante o desenvolvimento de um experimento de escada, testam-se estas regras para finalização do experimento e para o cálculo do limiar.

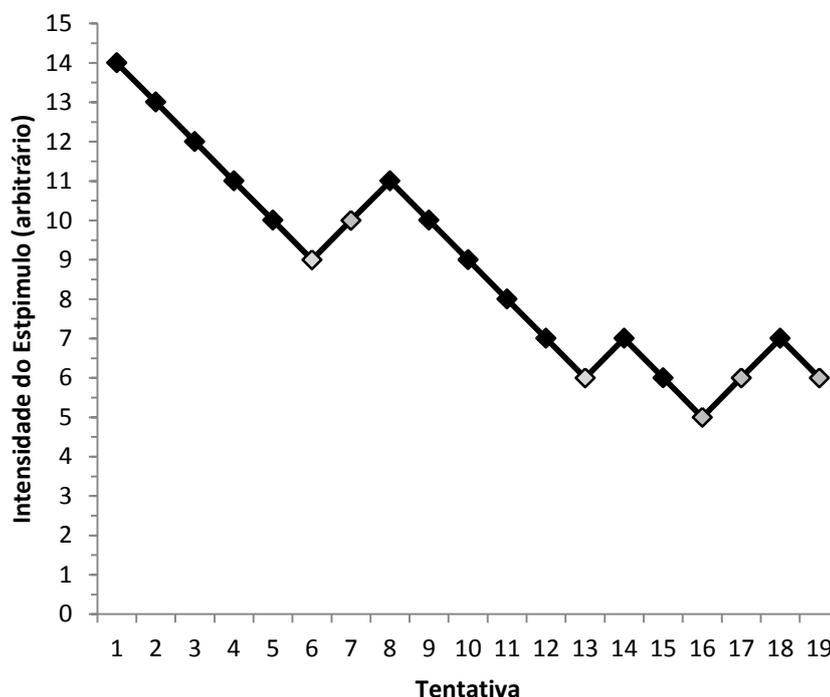


Figura III.9: Medida de limiar utilizando o método Up-Down (escada). Neste exemplo, começamos com uma estimulação descendente, na qual a intensidade do estímulo é diminuída a cada resposta positiva. No momento da reversão, ao invés de iniciarmos uma nova série de estimulação, invertemos a direção, passando, agora a um aumento da intensidade. Procede-se assim até atingirmos o número estimado de reversões. Adaptado de (Ehrenstein & Ehrenstein, 2000).

Por exemplo, em nosso laboratório, na medida de limiar de discriminação de cromaticidade utilizada no Cambridge Colour Test (Goulart et al., 2008; Ventura et al., 2003), utilizamos uma regra de 11 reversões para o final da medida e as últimas 6 reversões para o cálculo do limiar de discriminação.

Para uma medida adequada do limiar sensorial absoluto com o método da escada, devemos ajustar o procedimento experimental para que este tenha um número de reversões mínimo para poder exibir uma região estável da escada, a qual apresenta uma pequena variabilidade entre as respostas positivas e negativas. No geral, o experimento deve exibir, pelo menos, 4 a 6 pontos de reversão nesta fase final do procedimento.

A precisão do limiar pode ser controlada experimentalmente pela manipulação do rastreamento para o estabelecimento da reversão. O Método da Escada tradicional pode ser considerado um método 1Up-1Down, no qual a cada acerto e a cada erro há uma reversão. Esta regra de reversão corresponde a um limiar de aproximadamente 52% nas medidas de limiares (Figura III.9).

Se modificarmos a regra para 1Up-2Down, ou seja 2 acertos consecutivos são necessários para se diminuir a intensidade do estímulo e apenas 1 erro para aumentar, teremos um limiar que corresponderá a 70% de precisão da medida de limiares absolutos (Figura III.10), para a regra 1Up-3Down, aumenta-se para 79% e para a regra 1Up-4Down temos 84% de precisão (Garcia-Perez, 2001). No geral, quanto maior forem as transformações na regra da escada, maior será a precisão do método.

No entanto, vale a pena lembrar que existe um custo atrelado a este aumento, pois quanto maior o número de repetições maior o tempo para o término da medida. Este método é tão eficiente quanto o método dos limites para a determinação de limiares, e realizado num tempo consideravelmente mais curto do que o método original. Este método também está suscetível ao viés de resposta e ao efeito de habituação e histerese do observador. Porém, quando bem desenhado, o resultado obtido por este método é robusto e as fontes de variação insignificantes.

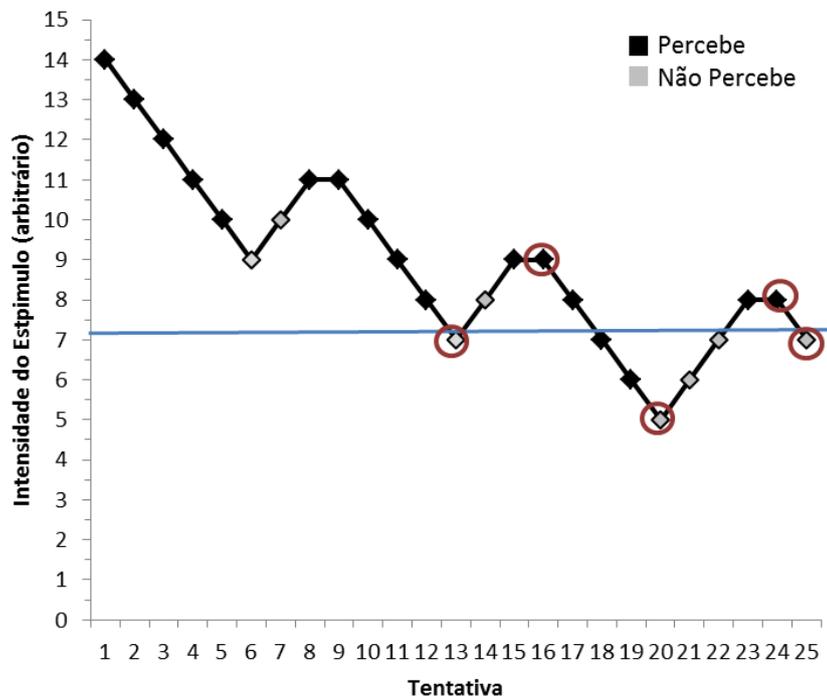


Figura III.10: Limiar medido com método da escada com regra de 1Up-2Down, no qual há a necessidade de duas respostas seguidas da percepção do estímulo para que ocorra a reversão; apenas uma resposta de não percepção para ocorrer a outra

reversão. Habitualmente, elimina-se as primeiras reversões para o cálculo do limiar, utilizando-se a "fase estável" da escada para esta medida. Neste exemplo, a medida do limiar de 7,2 unidades de estimulação corresponde a uma probabilidade de acerto de 70%. Adaptado de (Ehrenstein & Ehrenstein, 2000).

MÉTODO DA ESCOLHA FORÇADA

Outra adaptação do método dos limites foi desenvolvida para a medida de limiares diferenciais. Este método é conhecido como Escolha Forçada (Blackwell, 1952), uma vez que dada uma série de estímulos, o observador é obrigado a escolher o qual ele acredita existir uma mudança. Em verdade, o Método de Escolha Forçada é uma modificação apenas na tarefa que o observador deve desempenhar. De forma semelhante ao método original, modificações do estímulo físico podem ocorrer para valores maiores ou menores e, assim, medir ambos os Limiares Diferenciais.

De acordo com a necessidade experimental, os estímulos podem ser apresentados de forma simultânea, escolha forçada espacial, ou podem aparecer em uma sequência, escolha forçada temporal. Uma das vantagens deste método é o de reduzir consideravelmente o viés de resposta do observador, já que a pergunta não é se "existe ou não a experiência de uma diferença", mas sim "em qual dos estímulos há uma diferença". Os observadores tendem a apresentar menos vieses de resposta quando a pergunta é feita na forma de uma escolha forçada.

Ao utilizarmos este método, temos a necessidade de realizar correções nos valores do cálculo do limiar, uma vez que a premissa de que o limiar corresponde a 50% das respostas para o estímulo se mantém. Isto quer dizer que em uma medida do limiar para uma tarefa de escolha forçada de 2 alternativas (2-Alternated Forced Choice [AFC]) espaciais ou temporais, a chance de resposta ao acaso é 50%, porque se o observador sempre responder para o mesmo estímulo, ele irá acertar 50% das respostas. Neste caso, a correção deve considerar a chance de resposta de 50% como o acaso e 100% como a resposta máxima, definindo, então o limiar para 75% (Figura III.11).

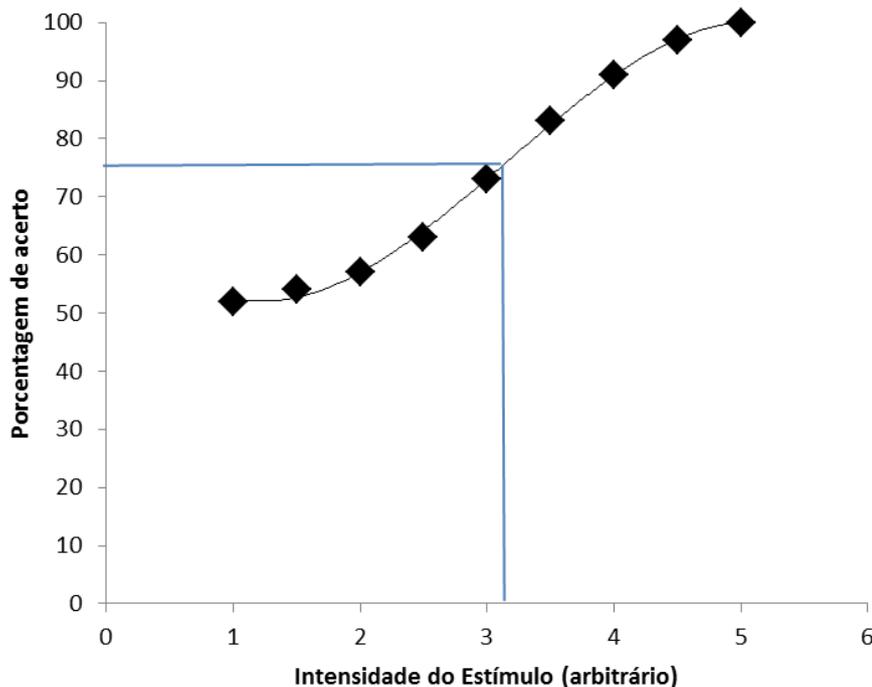


Figura III.11: Limiar medido com método de escolha forçada de 2 alternativas (2-AFC) corresponde a 75% de respostas corretas. Neste exemplo, o limiar absoluto é de 3,1 unidades.

Utilizando o mesmo raciocínio, para medidas de 3 alternativas (3-AFC), o acaso é de 33% e portanto, o limiar será de 66,5%; para 4-AFC o limiar será de 62,3% e assim, sucessivamente.

PEST

Um dos primeiros métodos psicofísicos no qual estatística sequencial foi aplicada foi o *PEST*, um acrônimo em inglês para Estimativa de Parâmetro por Rastreamento Sequencial. Na verdade, *PEST* é um conjunto de regras heurísticas para a determinação da colocação do próximo estímulo, com base na história sequencial de resposta do observador (Taylor & Creelman, 1967).

De forma simplificada, utiliza-se esta metodologia de estatística sequencial para se determinar o número mínimo de respostas necessárias para se rejeitar a hipótese de nulidade na qual as respostas são binomialmente distribuídas, com uma média localizada na probabilidade alvo. Habitualmente, usa-se uma probabilidade de desempenho (de detecção, discriminação etc.) de 75%.

As regras heurísticas esperam que para um determinado nível de estimulação, haja uma quantidade mínima de respostas: (a) para cada reversão, caminha-se metade da distância anteriormente percorrida, (b) o segundo passo em uma mesma direção é igual ao primeiro, (c) o quarto e os subsequentes passos em uma da direção são o dobro dos predecessores e (d) o terceiro passo vai depender da localização desta reversão, sendo próxima à segunda, a distância mudada será semelhante à segunda, enquanto que se for distante, será o dobro da distância anterior.

Com este conjunto de regras, espera-se que se o observador tiver uma alteração que prejudique seu desempenho, ele responderá erroneamente para estímulos que deveriam ter 100% de acerto e, com isso, a medição termina mais rapidamente. Da mesma forma, para observadores normais, estas regras dinâmicas aceleram a identificação da região do limiar e, uma vez que este é definido por uma probabilidade de acerto, poucas medidas nesta região permitem o cálculo do desempenho que corresponde a 75% de acerto. Os estudos iniciais permitiram o término de experimentos psicofísicos de detecção com, aproximadamente 20 apresentações, enquanto que medidas de limiar diferencial são encerradas com 50 apresentações (Taylor, 1983).

O que parecia ser uma metodologia adaptativa promissora, mostrou-se limitada para muitas situações, principalmente para aquelas nas quais há uma grande quantidade de inconsistências ou erros de resposta no início do teste, ou seja, antes do terceiro passo. Estudos posteriores mostraram que nestes casos, ocorre uma extensão da testagem pois as regras não preveem este tipo de comportamento ou, há uma interrupção prematura em regiões de estimulação ainda percebidas pelo observador – para detalhada revisão dos métodos adaptativos, veja (Treutwein, 1995). Tais comportamentos fizeram com que o uso da rotina adaptativa do *PEST* ficasse restrito para poucas aplicações experimentais e em pacientes.

Outros métodos adaptativos são constantemente desenvolvidos mas frequentemente, utilizados para a aplicação em condições específicas de testagem. O método adaptativo *SITA*, acrônimo em inglês para Algoritmo Sueco Interativo de Limiar e o *ZEST*, acrônimo em inglês para Estimativa Robusta por Testagem Sequencial são métodos aplicados na medida psicofísica de perimetria computadorizada, utilizada para o diagnóstico de doenças retinianas como glaucoma e neurites ópticas (Bengtsson & Heijl, 1998; Bengtsson, Heijl, & Olsson, 1998; Bengtsson, Olsson, Heijl, & Rootzen, 1997; Turpin, McKendrick, Johnson, & Vingrys, 2003).

ESTÍMULOS DE CAPTURA (CATCH TRIALS)

Os estímulos de captura não são um método propriamente dito, mas eles podem ser utilizados com qualquer um dos métodos anteriores. Estes são estímulos adicionais

que estão propositadamente muito acima ou muito abaixo do limiar. São estímulos que são sabidamente, serão percebidos aproximadamente 100% ou 0% das vezes que forem apresentados. Tais estímulos são úteis para determinar quando o sujeito está simplesmente adivinhando ou respondendo aleatoriamente para a presença de um estímulo ou se o seu nível de atenção e compreensão estão apropriados para a tarefa. Como para estes estímulos espera-se que a taxa de resposta correta ou errada, respectivamente, seja sempre muito próxima de 100% e 0%, desvios muito significativos destes valores denunciam fraca confiabilidade na medida realizada.

Existem diversas condições na qual o critério de resposta, o viés perceptual ou a intenção deliberada podem ser criticamente empecilhos para a aplicação da Psicofísica, principalmente em medidas clínicas e sociais. Um observador pode apresentar um resultado psicofísico sugerindo alterações sensoriais por ter deixado de responder para estímulos de alta probabilidade de resposta Assim, o uso de *catch trials* possibilita estabelecer um nível de interferência ou de intromissão nas medidas obtidas psicofisicamente e oferecer um índice de confiabilidade do experimento.

LEITURA COMPLEMENTAR SUGERIDA

- a. A Psicofísica da função dos cones S (Smithson, 2014).
- b. Desenvolvimento da Sensibilidade ao Contraste Visual nos 3 primeiros meses de vida do bebê humano (Atkinson, Braddick, & Moar, 1977).
- c. A Psicofísica da percepção visual de movimento e do processamento de formas globais em adolescentes com diagnóstico de autismo (Koldewyn, Whitney, & Rivera, 2010).
- d. Contagem não-verbal em humanos: A psicofísica da representação numérica (Whalen, Gallistel, & Gelman, 1999).
- e. Psicofísica revela uma contribuição do hemisfério cerebral direito para a distorção de imagens corporais em mulheres mas não em homens (Mohr, Porter, & Benton, 2007).
- f. Métodos adaptativos na pesquisa psicofísica (Leek, 2001).

CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE DECISÕES

Os experimentos de Psicofísica Clássica mostraram que não basta controlarmos os estímulos e as tarefas realizadas pelos observadores para termos uma medida com precisão e não contaminada pelos vieses do observador. Um dos fatores difíceis de serem controlados é o critério do sujeito. O critério aparece no segundo momento do processo psicofísico: no julgamento ou nas respostas do observador (rever Figura I.3). Ou seja, metade da medição psicofísica é um processo cognitivo.

O fato dos resultados experimentais da Psicofísica mostrar a existência desta dramática influência no comportamento de detecção de um estímulo, investigadores passaram a buscar formas de identifica-los e eliminá-los. Uma vez que o objetivo do uso da psicofísica é a obtenção de uma medida precisa de detectabilidade ou do poder de resolução ou de discriminação realizada por um observador, qualquer tendência ou viés irá alterar o resultado da medida.

O problema da variabilidade da experiência sensorial na discriminação de estímulos sempre preocupou os psicofísicos ao longo da história. Além da variabilidade que existe intrinsicamente no indivíduo, há também outra fonte de variabilidade importante de ser considerada, a variabilidade entre indivíduos. Esta variabilidade detém maior importância quando pensamos na aplicação psicofísica para a determinação de critérios clínicos e sociais.

DISPERSÃO DISCRIMINATIVA

O olhar dos psicólogos para a variabilidade nas medidas psicofísicas quando para uma série de medições a consistência interna dos resultados, ou seja, a variabilidade de cada ponto testado, era demasiado grande para se considerar uma unidade de medida mental. Nestes casos, o que mais comumente ocorria é que as distâncias entre as DAPs eram muito próximas. Isto mostra que experimentalmente, a diferença genuína da sensação em investigação não poderia ser encontrada.

Foi neste momento que Louis Leon Thurstone (Thurstone, 1927b; Thurstone & Chave, 1929a) desenvolveu um modelo de medida psicofísico baseado na variabilidade que o estímulo e a resposta poderiam ter no contínuo sensorial. Desta forma, ele apresenta seu pressuposto:

"Como as dispersões que os diversos estímulos projetam no contínuo S não são assumidas como iguais, a unidade natural para a medição psicológica torna-se a dispersão de um desses estímulos medidos na escala psicológica." (Thurstone, 1927b)

Thurstone assumia que os processos sensoriais qualitativos conscientes deveriam se comportar de forma probabilística e que estas respectivas probabilidades de associação que ocorriam com um determinado estímulo teriam uma distribuição de frequência normal. Assim, a unidade psicológica de medida mais natural torna-se a variância da distribuição de frequência para o estímulo especificado. Esta unidade de medida mental é medida diretamente no contínuo psicológico.

Este modelo psicofísico, conhecido como modelo Thurstoniano, semelhante à teoria de Fechner, propunha que as sensações somente poderiam ser medidas indiretamente, por meio de uma medição de discriminação de estímulos. O modelo matemático de Thurstone tornou-se uma das Leis Psicofísicas, a Lei do Julgamento Comparativo e será vista com maiores detalhes no Capítulo V. No entanto, para fins introdutórios, a teoria de base deste modelo é muito simples. A partir da proporção de vezes que um estímulo é julgado diferente de outro, em um determinado contínuo psicológico (maior, menor, mais quente, mais intenso), esta distância poderia ser calculada. Daí, conclui-se que os estímulos que são, frequentemente, confundidos ou

pouco discriminados, neste contínuo são, então, assumidos serem psicologicamente similares e estímulos que são pouco frequentemente confundidos são considerados psicologicamente diferentes.

Este modelo de julgamento psicológico é a base para o entendimento de um outro modelo de como pessoas se comportam em momentos de decisão. Este modelo, conhecido como Teoria da Detecção do Sinal, é baseado na teoria de decisão estatística que foi muito utilizada em equipamentos eletrônicos para detecção de sinal e, muito semelhante em fundamentos, à visão probabilística da experiência consciente de Thurstone. No entanto, o tratamento dos dados e suas respectivas interpretações são relativamente distintos e complementares.

TEORIA DE DETECÇÃO DO SINAL

O foco da Teoria de Detecção do Sinal (TDS) está no processo de discriminabilidade sensorial, da mesma forma que o modelo Thurstoniano. Ambas as medidas levam em consideração a variabilidade nas respostas obtidas em medidas psicofísicas. Adicionalmente, permitem aos investigadores medir também o poder relativo de diferentes métodos. Entendemos por Poder a habilidade de se detectar diferenças quando elas estão presentes e não deixa-las passar. Assim, quando estamos desenvolvendo uma avaliação psicofísica, podemos escolher os parâmetros com maior poder discriminativo, na tentativa de ter uma medida de alta sensibilidade e especificidade, com a evitação de perdas, reduzindo, assim, o tempo de avaliação.

Na TDS não há a concepção da ideia de limiar, uma vez que considera que o sinal mental emerge da condição de fundo do sistema de forma contínua. Pelo fato da noção de limiar conceber um ponto ou momento de transição entre a inconsciência e a consciência para o estímulo, e como a TDS concebe uma condição contínua e não fragmentada, não há a mínima necessidade para o conceito de limiar.

A TDS é baseada em dois princípios fundamentais e, portanto, apresenta uma base filosófica muito simples, semelhante à da Psicofísica Clássica. No entanto, esta semelhança na simplicidade do que se assume teoricamente deixa de existir quando se compara ambos os métodos.

O primeiro princípio assume que qualquer sinal é envolvido, está embutido (contaminado) por um *ruído* de fundo. Este ruído é gerado por várias fontes externas e internas ao organismo. Flutuações quânticas do estímulo, nível de atividade neural durante a captura do estímulo físico pelos receptores, nível de atividade neural do sistema sensorial para o sistema perceptual/decisional, características bioquímicas do meio cerebral etc. Porém, uma característica importante deste ruído, como já concebida por Thurstone, é que sua distribuição era normalmente distribuída. O *sinal* é também variável e inclui a estimulação do ruído. Assim, o modelo representa o efeito do estímulo sinal como uma distribuição normal *ruído + sinal* (Figura IV.1). Desta forma, a resposta do observador é sempre binária, ou seja, para cada tentativa ele deve dizer se há ou não estímulo.

O segundo princípio fundamental, dita que o sujeito irá tentar maximizar a sua resposta. No entanto, haverá situações nas quais existirão diferentes benefícios e penalidades para respostas corretas e respostas equivocadas. Um exemplo prático para entendermos estas diferenças de situações. Suponha que você chega em sua casa ao final de um longo dia de trabalho, cansado e vai tomar banho. Durante o banho você imagina ter ouvido o telefone tocar. Em uma situação hipotética, você está pra receber uma ligação de um novo local de emprego, de melhor salário e mais próximo de casa. Em outra situação, você está esperando uma ligação de um amigo que está querendo lhe pedir emprestado dinheiro. Claramente, encontramos uma diferença de probabilidade para cada situação, na qual você interromperia seu relaxante banho para ir atender ao telefone. Assim, descobriu-se que a expectativa e os benefícios das respostas são as situações que mais afetam a situação de decisão (Nevin, 1969).

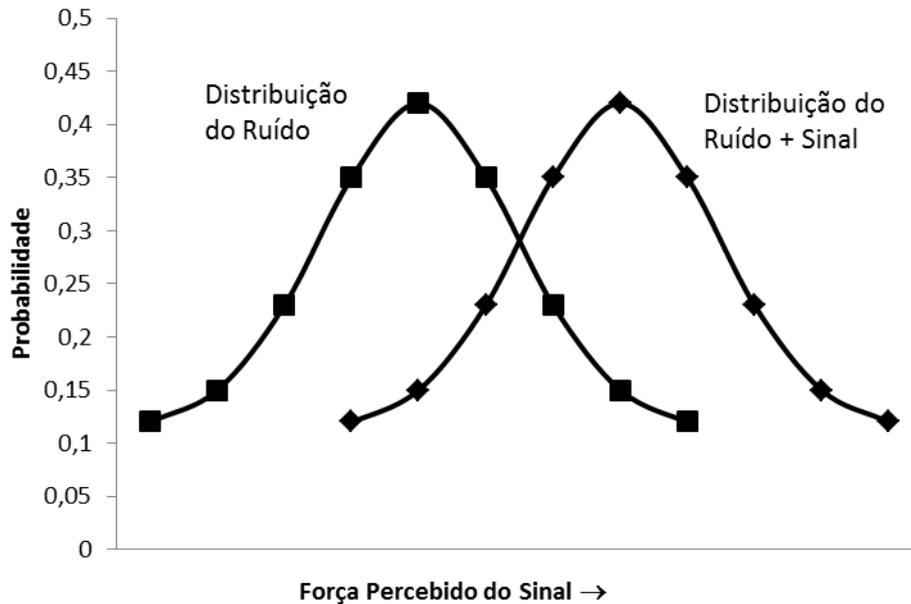


Figura IV.1: Distribuição do comportamento de resposta para quando é apresentado apenas o Ruído (sem estímulo ou estímulo padrão/referência) e para quando é apresentado o Sinal + Ruído (estímulo de detecção ou estímulo discriminativo). Para cada uma das situações experimentais, ou seja, com ou sem estímulo, existe uma probabilidade de haver uma experiência consciente Adaptado de (Gescheider, 1997).

O desenho experimental mais simples para a detecção de sinal é conhecido como *Experimento Sim/Não*. Nele, há a apresentação de dois estímulos. O primeiro é um estímulo "vazio", em "branco" (ar puro em um experimento de odor, tela preta em experimento de visão) e será considerado como ruído. A resposta para este estímulo irá gerar uma distribuição de resposta do ruído. O segundo estímulo é muito fraco, próximo do estímulo da região do limiar, medido na Psicofísica Clássica e está embutido no ruído. A distribuição da resposta para este estímulo irá gerar a distribuição do ruído + sinal.

Há, portanto, duas condições de estimulação (ruído e ruído + sinal) e para cada uma, duas possibilidades de resposta (Sim ou Não para a presença do estímulo – ruído + sinal). Em um estudo de Detecção de Sinal, há a apresentação do estímulo e do fundo, repetidas muitas vezes. Idealmente, cada estímulo é apresentado por mais de uma centena de vezes. Este desenho experimental gera uma matriz de resposta, apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Matriz de resposta em um experimento da Detecção de Sinal.

Estímulo	Resposta: Sinal (ou sim, eu detecto alguma coisa)	Resposta: Ruído (ou não, eu não detecto coisa alguma)
Sinal Presente	Acerto	Perda
Sinal Ausente	Alarme falso	Rejeição Correta

Temos, portanto, a quantidade de "Acertos", quando o observador relata a experiência subjetiva do estímulo e os "Alarmes Falsos", quando ele relata experiência subjetiva do estímulo, mas este não estava sendo apresentado. Assim, a definição também, das respostas de "Rejeição Correta" para quando ele responde não haver estímulo corretamente, e a "Falha", para quando relata não ter estímulo quando este é apresentado.

A matriz de resposta, em cada coluna, descreve completamente o comportamento do observador. Desta forma não há a necessidade de usar as duas colunas para a análise dos dados, apenas uma delas, dado que elas são inversamente proporcionais. Habitualmente, utilizamos os Acertos e Alarmes Falsos para os cálculos dos parâmetros descritivos da discriminabilidade subjetiva.

PARÂMETROS DE DISCRIMINABILIDADE

Na TDS, como vimos, não há a necessidade da concepção de limiar, pois se entende uma variação contínua entre inconsciência e consciência. Assim, os parâmetros de discriminabilidade utilizados são dois: o critério (β) e o índice de discriminabilidade d' (d linha). O critério é uma medida do comportamento de resposta do observador. No exemplo dado anteriormente, a situação na qual se espera um telefonema de um novo e melhor emprego relaxa o critério do observador e assim, faz com que ele tenha uma tendência de responder, saindo do banho, para qualquer ruído que ele ouça (ou pareça ter ouvido). Na situação de ter que emprestar dinheiro, faz com que ele adote um comportamento mais conservador, saindo do banho apenas quando o telefone tocar insistentemente. O cálculo do critério nos permite, assim, identificar qual foi o critério utilizado pelo observador.

Uma vez que nós sabemos a proporção de acertos e alarmes falsos que o observador respondeu, nós temos os acertos como uma função do total de estímulos sinal e os alarmes falsos como uma função do total de estímulos ruídos apresentados. O que necessitamos fazer agora é converter as áreas sob a curva normal para alguma medida de sobreposição ou separação entre as duas distribuições. Dado que conhecemos a forma da curva e esta é uma distribuição normal, podemos relacionar esta área sob a curva como uma distância de algum ponto específico desta curva e expressá-lo em uma unidade de score-Z, a qual é a distância do ponto médio (central) da curva. Nós vimos anteriormente que o score-Z oferece uma unidade de distância com base na variância ou desvio-padrão. Esta unidade apresenta ainda, outra vantagem, que é a de levar em consideração o espalhamento da distribuição e não apenas uma unidade arbitrária de distância. Esta distância é a medida do d' .

Por definição, uma discriminabilidade mínima é definida como sendo de 1 unidade, ou seja 1 desvio-padrão de diferença. Recuperando nossos conhecimentos em estatística, temos que 1 desvio-padrão corresponde a 68,26% de diferença entre dois estímulos. Veja que este valor é próximo ao valor de limiar de 50% obtido em experimentos com métodos de Psicofísica Clássica. Para 2 desvios-padrão a distância corresponde a 95% e para 3 desvios-padrão temos 99% de distância entre a escolha por estimulação de "estímulo+ ruído" e estimulação por só "ruído".

Os cálculos para d' e critério são relativamente simples. Começaremos apresentado o cálculo para d' , que seque a equação:

$$d' = Z(s + r) - Z(r) \quad (\text{Eq. 12})$$

onde $Z(s+r)$ é o valor do score-Z obtido para a porcentagem de acertos (sinal + ruído) e $Z(r)$ é o valor de score-Z obtido para a porcentagem de alarmes falsos (ruído). Vamos a um exemplo prático. Na Tabela 3, temos a matriz de porcentagem de acertos e alarmes falsos de um experimento hipotético, cujo objetivo era determinar a discriminabilidade de uma face com emoção negativa de uma face de emoção neutra.

Tabela 3: Matriz de resposta do experimento hipotético da Detecção de Sinal.

Estímulo	Resposta: Sinal (ou sim, eu detecto alguma coisa)	Resposta: Ruído (ou não, eu não detecto coisa alguma)
Sinal Presente	85	15
Sinal Ausente	20	80

Com base nestas porcentagens, prosseguiremos para o cálculo da discriminabilidade deste observador. A porcentagem de alarmes falsos obtidos neste experimento foi de 20%, cujo escore-Z para 0,20 é de -0,84. A taxa de acertos foi de 85%, cujo escore-Z para 0,85 corresponde a 1,04. Assim, a discriminabilidade pode ser calculada, com base na equação 11: $d' = 1,04 - (-0,84) = 1,88$ desvios-padrão.

Importante fator que pode ser identificado pela análise proposta pela TDS é o do viés de resposta. Assim, além da discriminabilidade, que mede a sensibilidade do observador e do critério, que mede a o comportamento do observador frente à tarefa, ou seja, se ele foi muito conservador – só respondendo quando tinha certeza, ou relaxado – respondeu para o mínimo estímulo que “achou” estar presente. O viés de resposta nos ajuda a perceber se o observador apresentava alguma tendência de resposta e, em caso positivo, se foi para responder para “sim” ou para “não”.

A tendência ou viés de resposta pode ser facilmente calculado, utilizando os valores de acerto e alarmes falsos. Quando não há viés de resposta, o seu cálculo apresenta valor de zero. Valores negativos implicam em viés para responder “sim”, enquanto valores positivos em um viés para responder “não”. Quanto maior o valor, maior a tendência de resposta. A equação para cálculo do viés é

$$C = -((Zs + r) + (Zr))/2 \quad (Eq. 13)$$

onde o viés de critério é baseado $Z(s+r)$ é o valor do escore-Z obtido para a porcentagem de acertos (sinal + ruído) e $Z(r)$ é o valor de escore-Z obtido para a porcentagem de alarmes falsos (ruído). Continuando com nosso exemplo, o viés de resposta para nosso experimento fictício será $C = -(1,04 + (-0,84))/2 = -0,1$. Isto significa que nosso observador hipotético tem um viés muito leve para responder “sim”.

Critério (β) pode ser obtido de diversas maneiras. A mais simples será consiste no calculo da exponencial do produto de d' pelo viés de resposta. Valores altos de β indicam um critério restrito, indicando que o observador foi mais conservador em suas respostas, enquanto um valor baixo de β indica um critério mais relaxado, com uma tendência de comportamento mais liberal. A fórmula para o cálculo de β é definida como

$$\beta = EXP(d' X C) \quad (Eq. 14)$$

Aplicando esta fórmula para nosso exemplo hipotético temos que o valor de critério de nosso exemplo é $\beta = 0,83$. Como β é menor do que 1 estamos frente à um critério liberal. Para valores de β maiores do que 1 estamos frente à um critério conservador.

CURVA ROC

Uma forma simples de representarmos graficamente os valores de discriminabilidade e de critério do observador é pelo uso da curva de isosensibilidade. Esta curva de isosensibilidade mostra que observadores com diferentes critérios ou modificações de critérios em diferentes sessões experimentais deslocam seu critério sobre a mesma curva de discriminabilidade, se esta não se modificar. Ou seja, somos capazes de observar modificações de critério independente das modificações de discriminabilidade, utilizando uma forma gráfica simples e de rápida compreensão.

Esta curva de isosensibilidade recebeu, inicialmente, a denominação de Curva de Operação do Receptor (ROC – Receiver Operating Curve, em inglês), uma vez que seu maior uso e disseminação ocorreu pelas áreas de engenharia de som e acústica, na década de 1960. A curva ROC dispõe graficamente a proporção de Acertos contra a proporção de Alarmes Falsos (Gescheider, 1997). Neste gráfico, a ausência de discriminabilidade é demarcada por uma linha diagonal de 45° e o critério adotado pelo observador pode se localizar próximo ao centro (critério equilibrado), próximo à extremidade inferior (critério conservador) ou próximo à extremidade superior (critério liberal), como mostra a Figura IV.2.

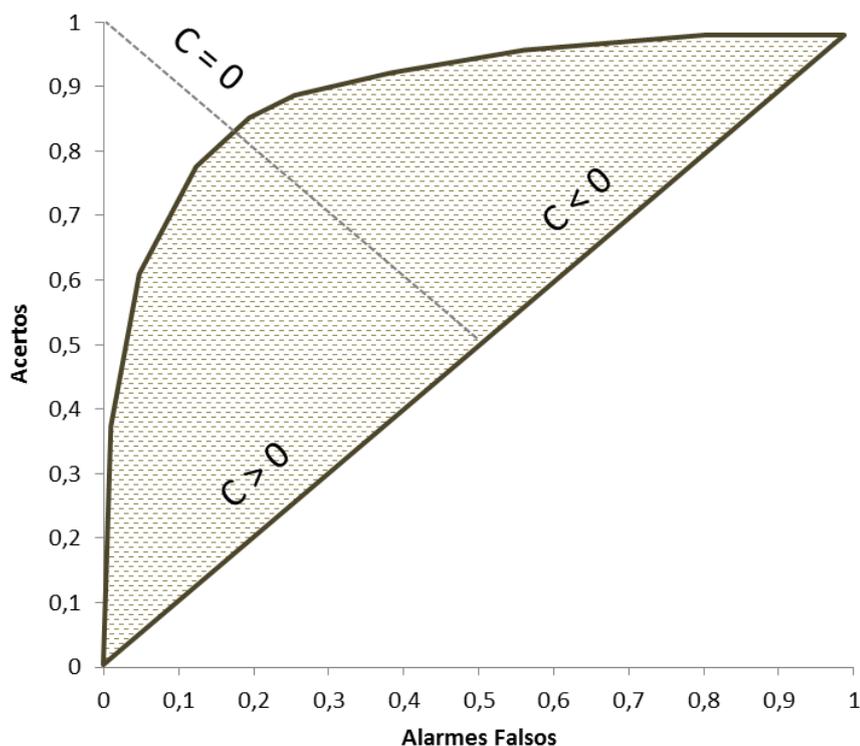


Figura IV.2: Análise gráfica dos valores obtidos com a curva ROC. A linha perpendicular entre a ausência de discriminabilidade (diagonal de 45°) e o ponto de discriminabilidade máxima (1 Acertos - 0 Alarmes falsos) determina o viés de resposta (equilibrado; $C = 0$). Para valores de $C > 0$, temos tendência para responder mais negativamente, "não", e para valores de $C < 0$, temos tendência para responder mais positivamente, "sim". Quanto mais distante da linha diagonal, maior é o nível de conservadorismo ou liberalismo na tomada de decisão. Adaptado de (Gescheider, 1997).

Conforme a discriminabilidade aumenta, o valor de d' se desloca desta linha diagonal central e caminha em direção ao eixo superior esquerdo. A determinação do critério adotado pelo sujeito, no entanto não se modificando, permanece na mesma posição ao longo desta linha de isosensibilidade do novo valor de d' .

No nosso exemplo, o valor que encontramos para d' foi de 1,88 desvios padrão, $C = -0,1$ e o valor de $\beta = 0,83$. Assim temos uma discriminabilidade moderada e um critério levemente liberal, com uma tendência de responder mais para "sim", adotado pelo nosso observador hipotético. Veja como estes resultados são rapidamente evidentes na disposição gráfica da curva ROC (Figura IV.3).

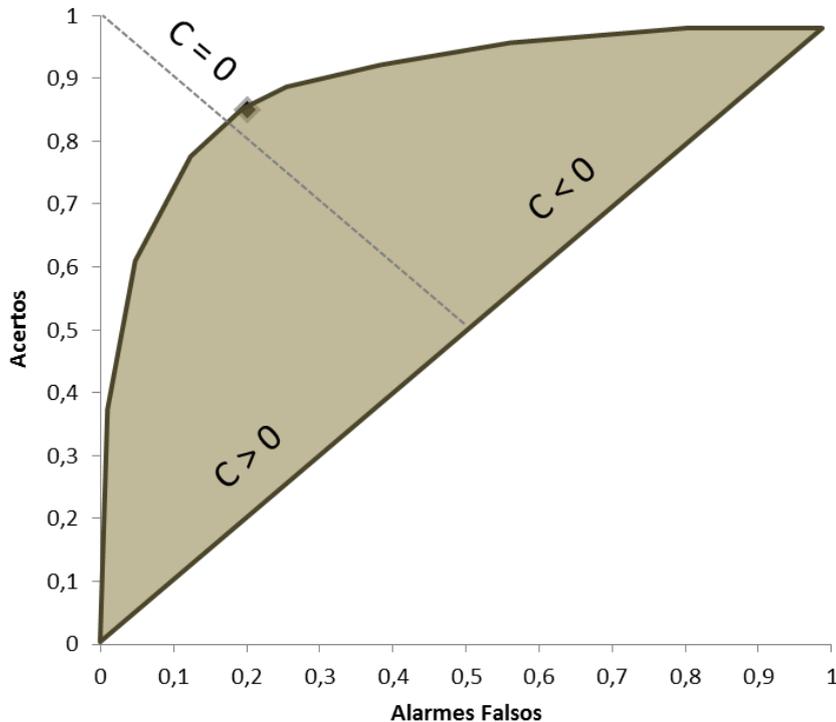


Figura IV.3: Determinação de um resultado de experimento hipotético. O ponto azul determina uma discriminabilidade de 1,88 desvios-padrão. O valor de β é 0,83, evidenciando um critério levemente liberal. O valor de viés de resposta é de $C = -0,1$, mostrando uma tendência de responder mais para "sim". Adaptado de (Gescheider, 1997).

Embora os valores de β e de C sejam equivalentes, uma vez que um sujeito com um critério mais liberal tem uma tendência de responder mais para "sim", são duas medidas distintas, porém complementares. Uma é baseada na resposta oferecida pelo observador, "sim" e "não", enquanto a outra oferece uma medição mais global do comportamento ao longo do experimento.

Importante saber que neste texto, abordamos apenas as formas mais elementares de cálculo de discriminabilidade e critério oferecido pela TDS. Além da possibilidade de se estudar diferentes observadores ou o mesmo observador antes e após uma intervenção, por exemplo, há possibilidades de utilização desta abordagem psicofísica para condições de variâncias diferentes entre sinal e ruído, além de possibilitar o uso de escalas de ordenamento.

LEITURA COMPLEMENTAR SUGERIDA

- Psicofísica da Lembrança (White & Wixted, 1999).
- A Psicofísica da identificação de digitais (Vokey, Tangen, & Cole, 2009).
- Medida do impacto de emoções negativas na paranoia (Westermann & Lincoln, 2010).

CAPÍTULO V – ESCALONAMENTO PSICOFÍSICO

Como vimos nos capítulos iniciais, um dos problemas da Psicofísica é entender o escalonamento das sensações sobre um contínuo psicológico. Este, na verdade, é um dos problemas fundamentais da Psicologia e foi abordado por Fechner, quando baseado nos achados de Weber, concebeu que as sensações variavam aritmeticamente enquanto a variação do estímulo ocorreria geometricamente. Desde então, descobrir os contínuos psicológicos e suas respectivas escalas faz parte dos estudos da Psicologia.

O entendimento de como processamentos nossas experiências subjetivas à estímulos físicos de forma escalar são importantes por, pelo menos, dois princípios: (a) o entendimento de como nossa experiência subjetiva aparece e se modifica com a modificação do mundo físico, (b) entendimento de como o sistema psicofisiológico processa as informações físicas e, (c) para a criação de métodos de medias e escalas de avaliação de funções mentais com base nas métricas das respectivas dimensões mentais.

TIPOS DE ESCALAS

O conceito de escala e os principais tipos de escala já foram introduzidos no item Introdução aos Parâmetros Psicofísicos, no Capítulo I. Sugiro uma breve releitura deste item para posterior prosseguimento. Neste ponto, iremos aprofundar os conceitos iniciais e discutir sobre o significado que podemos dar para as escalas de medidas de sensações.

Ao discutir os fundamentos do escalonamento psicofísico, Stevens (S. S. Stevens, 1939) apresenta fundamentos de análise operacional para o embasamento teórico e definições de conceitos para a Psicofísica. Primeiramente, esclarece que, do ponto de vista da sintaxe e da semântica da aritmética, existem três possíveis distinções a serem destacadas: Numeral, Multiplicidade e Numerosidade. O entendimento destes conceitos é importante para a definição das escalas com base em suas propriedades aritméticas.

Numerais (em inglês *numerals*) são os símbolos ou sinais que desenhamos graficamente nos papéis: 1, 2, 3, cujos respectivos nomes são: um, dois, três.

Multiplicidade (em inglês *numerousness*) é a propriedade na qual podemos discriminar quando em relação à coleção de objetos.

Numerosidade (em inglês *numerosity*) é uma propriedade definida por certas operações realizadas sobre um grupo de objetos.

Numerais, como sinais, são relacionados à multiplicidade e à numerosidade com base em certas regras semânticas. Suponha que você pegue um punhado de grãos de milho de um saco cheio de grãos e ponha-os em cima de uma mesa. Depois, pegue outro punhado e ainda mais um. Os grãos de milho podem variar de várias maneiras, como cor, proximidade dos grãos etc. Uma das possíveis variações dos grãos é na multiplicidade. Com base nesta multiplicidade podemos facilmente, por exemplo, ordenar os grupos de grãos. Portanto, o ordenamento pode ser realizado com base na nossa percepção direta da multiplicidade.

Imaginemos, agora, que resolvamos parear os grãos de forma que o grupo posterior tenha uma diferença de numerosidade de um grão e decidamos usar símbolos para definir estas semelhanças ou diferenças. Desta forma, nos encontramos na condição de necessariamente de usar numerais. A ordem na qual nos escrevemos estes símbolos dependerá do grau de numerosidade de cada numeral. Esta operação é chamada de contagem.

As relações que se obtêm entre os grupos, consideradas do ponto de vista da multiplicidade, refletem-se nas relações que se obtêm entre os números - mas com uma diferença importante: o grau de numerosidade entre os grupos corresponde às relações "espaciais" nas séries numéricas. Da mesma forma, a numerosidade alcançada pela combinação de dois grupos (adição) corresponde ao número chegado a se afastar duas "distâncias" sucessivas ao longo da série numérica e, como a ordem para combinar os grupos e para afastar as "distâncias" é imaterial, Da mesma forma que podemos mostrar transitividade, assimetria, etc. entre as relações de numerosidade, também podemos mostrá-las entre as relações topológicas "espaciais" na série de numerais.

As regras sintáticas usadas na manipulação de números (dirigida por sinais como +, x, =) são projetadas para tornar a série numérica útil como um modelo formal para representar a numerosidade de grupos pelas várias formas de combinação possíveis. Assim, pela contagem, os numerais podem ser utilizados como uma escala para representar a numerosidade. O mesmo não ocorre com a multiplicidade (S. S. Stevens, 1939).

Escalas de multiplicidade podem ser construídas com base em diferentes operações que não a contagem. Podemos criar uma *escala ordinal* pela organização da multiplicidade de grupos considerando "igual a", "maior que" ou "menor que" o grupo precedente. Neste ponto, podemos atribuir numerais para esta ordem. No entanto, estes numerais não apresentam uma relação de distância, como na escala de numerosidade. Outras duas escalas construídas por multiplicidade são as escalas intensivas e as escalas extensivas. As *escalas intensivas* são construídas pela atribuição de alguma regra semântica para determinar a atribuição de numerais adjacentes. Um exemplo seria o de determinar a diferença por uma diferença apenas perceptível. As *escalas extensivas* podem ser construídas quando um grupo é determinado como tendo metade, o dobro ou um terço da numerosidade de outro. Se atribuirmos numerais por este procedimento, criamos relações entre multiplicidades, as quais refletem relações espaciais dos numerais. Importante notar que esta escala extensiva de multiplicidade pode ser comparada diretamente com uma escala de numerosidade (S. S. Stevens, 1939).

Vamos ver um exemplo de criação destas três diferentes escalas psicológicas para intensidade de brilho de luz. O brilho é definido por uma reação do observador à uma intensidade luminosa. Em sendo exposto à uma quantidade de diferentes intensidades luminosas, este observador poderá ser capaz de discriminá-las por intensidades maiores e menores. Uma vez discriminando os diferentes brilhos e, sendo ele capaz de julgar quais são iguais e quais são diferentes, passamos para outro estágio de atividade mental: a possibilidades de escalonamento. Se o observador ordenar o brilho percebido, por exemplo, em uma ordem de crescente intensidade e atribuir numerais correspondentemente crescentes, teremos criado uma *escala ordinal*. Tendo feito isso, pode o observador aplicar alguma regra para a atribuição dos números adjacentes, por exemplo, considerando um DAP. Neste caso teremos uma *escala intensiva*. Este, inclusive foi o procedimento utilizado por Fechner para a definição de sua Lei Psicofísica. Pode, ainda, o observador ser capaz de nos dizer qual estímulo é metade ou o dobre do outro, criando assim, uma *escala extensiva*.

Entendemos agora que escalas são possíveis porque existem relações isomórficas entre o que podemos observar de propriedades dos objetos e de propriedades nas séries de numerais (Stevens, 1946). E é exatamente esta relação entre as propriedades dos numerais e das operações empíricas que realizamos que nos permite usar as séries de numerais (escalas) como modelos de representação de aspectos do mundo físico. Os tipos de escalas utilizadas dependem fundamentalmente: (a) da relação empírica realizada e (b) da natureza característica do próprio objeto em observação.

O estudo destas relações de isomorfismos com base nas relações empíricas e na natureza do objeto foi aprofundado por Stevens e é uma referência para o entendimento de quais relações se pode observar e qual ferramenta estatística pode-se utilizar para sua descrição (Stevens, 1946). O avanço de Stevens foi importante

também por ampliar as relações para as escalas nominais e também, por identificar que escalas intervalares podem ora se comportar como escalas intensivas (Lei de Fechner) e ora como escalas extensivas (Lei do Julgamento Comparativo). Evitando, assim, criar confusões terminológicas, o autor apresenta uma organização destas relações, de acordo com as relações empíricas e com as possibilidades de transformações que podem ser realizadas nos dados de cada escala. Apresentamos uma adaptação da tabela que sumariza estas informações, encontrada em (Stevens, 1946) (Tabela 4).

Tabela 4: Descrição dos tipos de escalas, relações empíricas e possibilidades de análises estatísticas. Adaptado de (Stevens, 1946).

Escala	Operações Empíricas Básicas	Estrutura Matemática do Grupo	Estatística Permitida
Nominal	Determinação de Igualdade	Permutação de grupo; $x' = f(x)$; $f(x)$ significa substituição de um-a-um	Número de Casos; Moda
Ordinal	Determinação de Maior ou Menor	Grupo Isotônica; $x' = f(x)$; $f(x)$ significa função de aumento monotônico	Mediana; Quartis; Percentis
Intervalar	Determinação de igualdade ou diferença de intervalos	Grupo linear geral; $x' = ax + b$	Média; Desvio-Padrão; Correlação de Produto de Momento
Razão	Determinação de igualdade de razões	Grupo de similaridade; $x' = ax$	Coefficiente de variação

Escala Nominal. Esta escala apresenta a forma mais livre para a atribuição de numerais às observações. Nesta escala, os numerais, assim como letras ou palavras, são utilizados apenas como rótulos das observações. A única regra existente nesta escala é a de atribuir diferentes numerais para diferentes observados. São exemplos deste tipo de escala, os números nas camisetas de jogadores ou a atribuição de letras M e F para masculino e feminino. Existe uma distinção entre duas formas de se aplicar numerais para observações nominais. Na primeira, o numeral define cada observável, como no caso dos jogadores. Na segunda, o numeral representa um conjunto ou grupo de observações que, tendo características idênticas, recebem o mesmo numeral, como no caso do M e F. O único procedimento estatístico permitido para a primeira forma da escala é o número de casos, por exemplo, quantos jogadores o time tem. Na segunda forma, porém, existe a possibilidade de se descrever quantos elementos existe em cada numeral e assim, estabelecer qual apresenta maior quantidade que outro. Como exemplo, podemos ter em uma sala de aula 29M e 55F. Neste caso, a estatística utilizada para descrever é a moda.

Escala Ordinal. A escala ordinal aparece de uma relação empírica de classificação dos elementos ou dimensões observados, nos quais estes apresentam uma variação crescente ou decrescente. Estímulos de contínuos físicos Metatéticos são, portanto, dimensões que podem ser investigadas quantitativamente por métodos categóricos ou ordenamento. Estas classificações apresentam como características a isotonia, ou seja, a ordem crescente (ou decrescente) sequencial. São exemplos deste tipo de escala a dureza de minerais, nível de instrução, status socioeconômico. Na verdade, a maioria das escalas utilizadas pelos psicólogos são escalas ordinais, como as escalas Likert e Guttman (Guttman, 1944; Likert, 1932). O fato destas escalas apresentarem isotonia, no entanto, não se tem possibilidade de saber qual a real distância entre os observados e, neste sentido, a ordem de numeral 4 não significa, por exemplo, ter o dobro da dimensão a qual se atribuiu o numeral 2. Este tipo de suposição não é possível em escalas ordinais. Por isso, a estatística permitida para a descrição destes observados é a mediana, como medida de tendência central e os percentis como medida de variabilidade. O uso de média e desvio-padrão é equivocado, uma vez que estes dados não estão escalados continuamente. Um exemplo de escalonamento ordinal é da Lei de Fechner.

Escala Intervalar. Chegamos no tipo de escala que, de fato, apresenta uma propriedade quantitativa, no senso comum da palavra. Praticamente todos os tipos de estatísticas são aplicáveis, exceto aqueles que necessitam de escalas que definam um "zero" absoluto. As escalas intervalares apresentam como característica de invariância na forma da escala, a adição de um fator de correção. Com isso, temos que o ponto de referência (zero) é definido por conveniência ou de forma arbitrária. Assim, o valor numérico de uma escala pode ser transformado no valor numérico de outra escala pela definição do valor de referência e pela transformação dos valores pela equação que a define, substituindo para a escala nova, ou seja, $x' = ax + b$. São exemplos de escalas intervalares, as escalas de temperatura Celsius e Fahrenheit. A transformação de uma escala para outra, mantendo a invariância característica de cada escala é obtida por $^{\circ}\text{F} = 1,8x^{\circ}\text{C} + 32$.

Uma importante característica analítica que esta escala permite é a possibilidade de se dizer que um valor é duas vezes maior do que outro ou que uma determinada proporção é semelhante à outra. Por exemplo, 40°C tem o dobre de calor do que 20°C ; a diferença entre 20°C e 10°C é metade da diferença entre 40° e 60°C . Embora estejamos falando de aplicações em sistemas sensórias, que foi por onde estas escalas foram definidas, muitas das medidas em Psicologia tendem a buscar medidas intervalares. Escalas de inteligência e escalas de atitude são ótimos exemplos conhecidos de dimensões mentais que são representadas por escalas intervalares. Veremos mais na Lei do Julgamento Comparativo.

Escala de razão. As escalas de razão são as mais comumente encontradas na física e as menos comumente encontradas na psicologia. Ele necessita o preenchimento de todos os três critérios observados até então, equidade, ordenamento, igual intervalo e adicionalmente, igual razão. Uma vez a escala sendo definida, a sua modificação para outra escala necessita apenas a multiplicação por um fator, sem a adição de fator de correção. Por isso, em uma nova escala de razão a transformação será $x' = ax$. Por exemplo, se quisermos saber quantos pés tem em um metro, basta multiplicarmos a quantidade de metros por 3,28. Assim, $1\text{m} = 3,28\text{f}$. Na escala de razão há um zero absoluto, mesmo que em muitas vezes, este não seja produzido. Um exemplo de escala absoluta é a escala de temperatura Kelvin, no qual 0°K corresponde ao zero absoluto de calor e, portanto, empiricamente não atingível. Escalas de razão que utilizamos habitualmente incluem a própria escala de números. Vale lembrar que os estímulos de contínuos protéticos são os únicos que permitem avaliação por escalas de razão.

Escalas de razão de magnitudes psicológicas são em muito menos frequentes mas, não inteiramente desconhecidas. Na década de 1950, a escala Sone de magnitude sonora percebida mostrava que o julgamento de som ocorria em julgamentos multiplicativo e divisível (Stevens, 1956). Escalas psicofísicas de razão são encontradas para julgamentos de duração (Allan & Kristofferson, 1974), saturação

cromática (Cao et al., 2014), configuração de formas visuais (Gerlach, Law, & Paulson, 2006), eventos estressantes da vida (Hough, Fairbank, & Garcia, 1976), status social (B. D. Jones & Shorter, 1972) para citar alguns exemplos.

LEI DE FECHNER

Esta lei descreve a função que Fechner encontrou para relacionar nossas sensações com os estímulos físicos que as provocaram. Ela é descrita pela fórmula

$$\psi = k \log \theta \quad (\text{Eq. 14})$$

onde ψ é a experiência subjetiva, k é uma constante que depende da dimensão em questão, θ é a intensidade do estímulo (Fechner, 1860). Esta lei assume que as DAPs são incrementos de igual magnitude sensorial para todos os níveis de intensidade do estímulo. Vamos exemplificar a construção de uma escala com base na Lei de Fechner.

Vimos que o Limiar Diferencial define uma DAP. Vamos supor que para um determinado estímulo físico, o limiar absoluto é de 1 unidades e o primeiro limiar diferencial acima deste limiar absoluto é de 0,3 unidades. Este valor de DAP é adicionado ao valor do limiar absoluto ($1 + 0,3$) = 1,3. Assim, o estímulo de 1 unidades é o estímulo no limiar absoluto e o estímulo de 1,3 unidades corresponde à 1ª DAP. Mede-se a partir do estímulo de 1,7 unidades o próximo limiar diferencial e encontramos 1,7. Assim, temos que 1,7 (1,3 + 0,39) unidades correspondem à 2ª DAP. E assim progredimos até obter 10 ou 15 DAPs. Ao colocarmos estes valores de estímulo em função das DAPs, obtemos a função logarítmica que define a Lei de Fechner (Figura V.1).

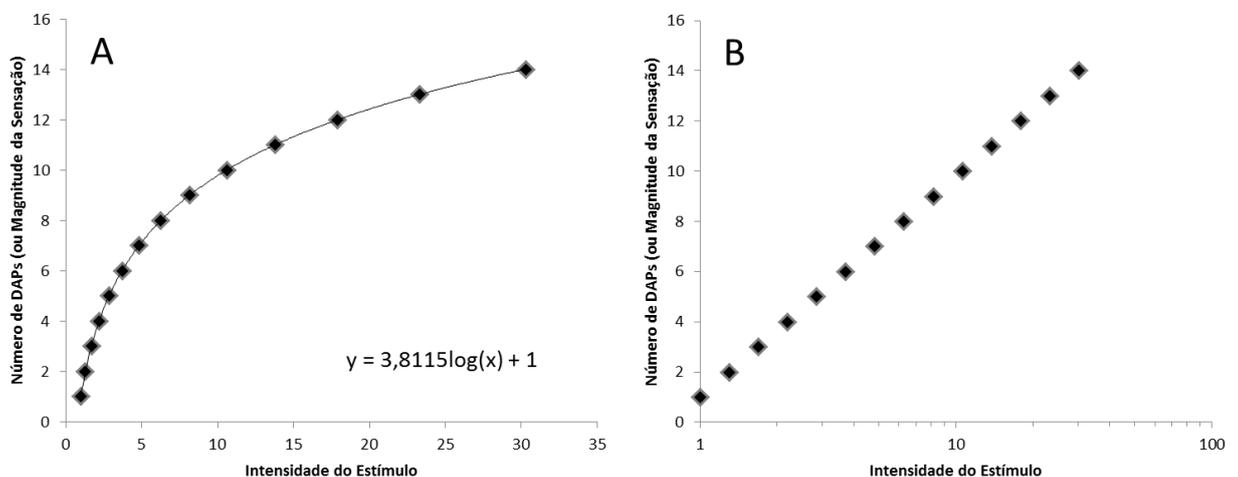


Figura V.1: Função relacionando as DAPs e as respectivas intensidades do estímulo (Lei de Fechner). Em (A), temos a disposição característica da curva relacionando a unidade sensorial (mental) e a unidade de estimulação (física). Ao ajustarmos uma função matemática nestes dados obtemos uma relação logarítmica. Neste caso a magnitude da sensação cresce linearmente para um crescimento de 3,8 unidades logarítmicas da magnitude física, com a adição de um fator de correção de 1 unidade física. Ao ajustarmos a escala dos estímulos para unidades logarítmicas (B), a função se converte em uma reta.

Esta função tem sido extremamente útil para os pesquisadores especificar diferenças entre estímulos em termos do número de passos discrimináveis ao invés de

unidades físicas. Ela é uma medida intervalar, indireta, para relacionar a modificação mental frente à modificação do estímulo físico.

Estudos tem demonstrado que diversas funções psicológicas são baseadas em julgamentos intervalares que podem ser modelados pela Lei de Fechner. A resposta de neurônios relacionados ao processamento de numerosidade ocorre de forma a gerar uma linha numérica logarítmica e não linear (Dehaene, 2003). A aplicação da Lei de Fechner para a visão espacial revela que a correspondência estrutural entre objetos, imagens ópticas e discriminações perceptivas é a estrutura diferencial associada à forma da superfície local. Isso que dizer que nosso sistema de processamento visual de formas responde aos estímulos de forma logarítmica (Lappin, Norman, & Phillips, 2011).

LEI DO JULGAMENTO COMPARATIVO

Louis Thurstone debruçou-se sobre o problema da representação de mente utilizada pela psicofísica escalar de Fechner, uma vez que as escalas subjetivas são parte do problema central da Psicofísica. Sua crítica ao escalonamento de Fechner era que a escala subjetiva proposta era descrita como intensidade de sensação, mas com dificuldades para gerar interpretações a respeito do contínuo psicológico além dela (Thurstone, 1927b). O fato do escalonamento de Fechner estar atrelado ao limiar absoluto e a geração de limiares diferenciais como unidades de medida mental, DAPs, ocasionam alguns problemas no contínuo psicológico, pois, na verdade, as DAPs são unidades indivisíveis e, portanto, categorias de intensidades de sensações e não magnitudes (Thurstone, 1927b). Outro ponto abordado pelo autor é o fato de que as DAPs são medidas dos estímulos e não propriamente medias psicológicas.

Thurstone buscava desenvolver uma medida experimental da magnitude psicológica puramente. Assim, seu modelo é centrado no julgamento discriminativo de dois eventos mentais mais do que de dois estímulos. Outro avanço que o modelo de escala psicológica de Thurstone propunha é o de considerar a flutuação dos julgamentos ao longo das exposições e, portanto, a distância discriminativa deveria ser baseada em alguma medida probabilística e não em medidas discretas. Embora seja verdade que sensações são iguais no julgamento em que são sentidas como iguais, o valor subjetivo de um estímulo é o valor perceptual médio de muitas percepções repetidas do mesmo estímulo (Thurstone, 1927b). Esta variabilidade na percepção do estímulo foi chamada de *Diferença Discriminatória* e varia de apresentação para apresentação.

As distribuições de probabilidade de discriminação sobre um contínuo psicológico é semelhante à considerada na TDS, ou seja, inferida da proporção de respostas de julgamentos de pares de estímulos. Uma diferença importante entre os dois modelos é que na TDS mede-se a discriminabilidade de um "sinal + ruído" em comparação à um "ruído", enquanto que no modelo de Thurstone, as comparações discriminativas são entre múltiplos "sinal + ruído". Isto tem um profundo impacto na informação obtida. Enquanto que na TDS temos uma medida pontual da distância discriminativa, ou seja, mais distante significa mais distante mentalmente entre ruído e sinal, em Thurstone temos a possibilidade de calcular discriminabilidades entre todos os sinais e, portanto, de se criar uma escala psicológica de distância mental entre os vários estímulos.

O cálculo das distâncias ocorre com base na porcentagem de vezes em que um determinado estímulo "Sa" foi escolhido quando comparado com o estímulo "Sb", quando estes são apresentados como pares de estímulos em comparação. Se a porcentagem de escolha para "Sa" for semelhante a "Sb", por exemplo, 50% para ambos, assumimos que mentalmente, estes estímulos são equivalentes. Neste caso, as médias das distribuições são iguais porque a média das diferenças das distribuições será zero. Conforme há um aumento na preferência dos julgamentos, as proporções de escolha para os estímulos "Sa" e "Sb" ficam diferente.

Uma forma simples de se converter o cálculo das separações no contínuo psicológico dos respectivos calculados pelas proporções de julgamentos para distância é pelo escore Z. Desta forma, Thurstone definiu o que passou a ser chamado de Lei do Julgamento Comparativo (Thurstone, 1927a) ou Lei de Thurstone, descrita pela equação

$$\psi A - \psi B = Z_{AB} \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2 - 2r_{AB}\sigma_A\sigma_B} \quad (\text{Eq. 15})$$

onde ψA e ψB são os valores psicológicos para "Sa" e "Sb", Z_{AB} é o valor de escore Z para esta diferença discriminatória e os valores de σA e σB são as dispersões (desvios-padrão) da dispersão discriminativa para os estímulos "Sa" e "Sb" e, r é o valor da correlação existente entre as respostas para os estímulos "Sa" e "Sb".

Thurstone desenvolveu cinco simplificações desta lei, assumindo atributos e aplicações, as quais ele chamou de casos. *Caso I* é a lei aplicada na sua forma completa, no qual um único sujeito realiza repetidas medias dos pares de estímulos. *Caso II* é o mesmo Caso I, mas aplicada a diferentes pessoas realizando apenas uma medida por par de estímulos. No *Caso III*, assume-se que não existe correlação entre os estímulos (eles são assumidos independentes) e portanto, se o valor de $r = 0$, este pode ser retirado da equação, que se torna

$$\psi A - \psi B = Z_{AB} \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2} \quad (\text{Eq. 16})$$

As dispersões discriminatórias são mantidas na equação e devem ser determinadas experimentalmente.

Caso IV refere-se à condição experimental na qual assume que as dispersões discriminatórias são aproximadamente iguais, mas deve-se ainda ser determinados experimentalmente.

A forma mais utilizada do modelo de Thurstone é o *Caso V*. Esta é a forma mais simples na qual se assume, adicionalmente, que as dispersões discriminatórias são iguais. Se nós arbitrariamente considerarmos os valores de $\sigma = 1$, a equação da lei se reduz para

$$\psi A - \psi B = Z_{AB} \sqrt{2} \quad (\text{Eq. 17})$$

A escolha de cada caso depende da utilização e dos pressupostos que são possíveis serem assumidos e das características e problemas de escalonamento abordados (Thurstone, 1929b, 1954, 1959).

Apresentamos um exemplo de experimento hipotético utilizando o Caso V de Thurstone. Neste experimento, estamos buscando encontrar a distância psicológica para estímulos de diferentes emoções. A forma mais simples de ser fazer um experimento desta natureza é definir um dos estímulos (de preferência não dos extremos do contínuo) como referência.

Dado uma série de cinco estímulos de intensidades crescentes de "Sa" até "Se", definimos um dos estímulos de intensidades centrais como nossa referência. Neste exemplo, o estímulo referência escolhido foi o "Sc". A escolha de estímulos intermediários às intensidades investigadas tem como objetivo, evitar efeitos de borda de estimulação, o que está demonstrado ter efeitos de distorção na magnitude percebida (Thurstone, 1929a, 1931). Dado que o estímulo de referência assume valor "0" (zero), as distâncias obtidas para intensidades de estímulos menores do que "Sc", ou seja "Sa" e "Sb", terão valores de escore Z negativos, enquanto que os estímulos

de intensidades superiores, "Sd" e "Se", terão valores positivos (Thurstone & Chave, 1929a). Os resultados deste experimento estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Cálculo das distâncias discriminativas com base em um estímulo de referência. Adaptado de (Gescheider, 1997).

Comparações	% estímulos > Sc	Escore Z	$\psi\chi - \psi = Z \cdot \sqrt{2}$
Sc - Sa	0,9	1,28	-1,8
Sc - Sb	0,65	0,39	-0,55
Sc - Sd	0,3	-0,53	0,75
Sc - Se	0,15	-1,04	1,47

A segunda coluna da esquerda para a direita mostra a porcentagem de vezes que o estímulo teste foi escolhido em vez do estímulo de referência para todas as repetições de pares de estímulos. Como exemplo, o estímulo "Sa" foi escolhido 90% das vezes e o estímulo "Sc" os outros 10%. Caminhando para a direita, temos os respectivos valores de escore Z das porcentagens presentes na coluna anterior. Tendo realizado esta conversão, podemos calcular diretamente o valor do Caso V de Thurstone para cada pareamento de estímulos, os quais estão apresentados na última coluna da direita.

Uma vez que os estímulos são todos discrimináveis e não utilizamos (ou não definimos ou não sabemos existir) uma emoção com valor de zero, estamos frente a uma escala intervalar e, portanto, o zero não é um valor absoluto e sim, arbitrário. Com isso, podemos criar diferentes escalas, mas que são invariantes se transformadas de uma para outra forma. Em nosso caso, a invariância decorre apenas da definição do zero. Para considerarmos o estímulo "Sa" como nosso zero escalar, basta, então adicionar 1,80 unidades Z para definir a nova escala. Veja a Tabela 6

Tabela 6: Criação dos valores da escala intervalar das distâncias discriminativas com base em um estímulo de referência.

Valores da Escala					
	ψA	ψB	ψC	ψD	ψE
$\psi C = 0$	-1,8	-0,55	0	0,75	1,47
$\psi A = 0$	0	1,25	1,8	2,02	3,27

Portanto, a função de transição entre as escalas podem ser definidas como

$$\psi A = \psi C + 1,80 \quad (\text{Eq. 18})$$

Os resultados escalares dos Casos da Lei do julgamento Comparativo são apresentados graficamente, por meio de uma escala linear, como a da Figura V.2.

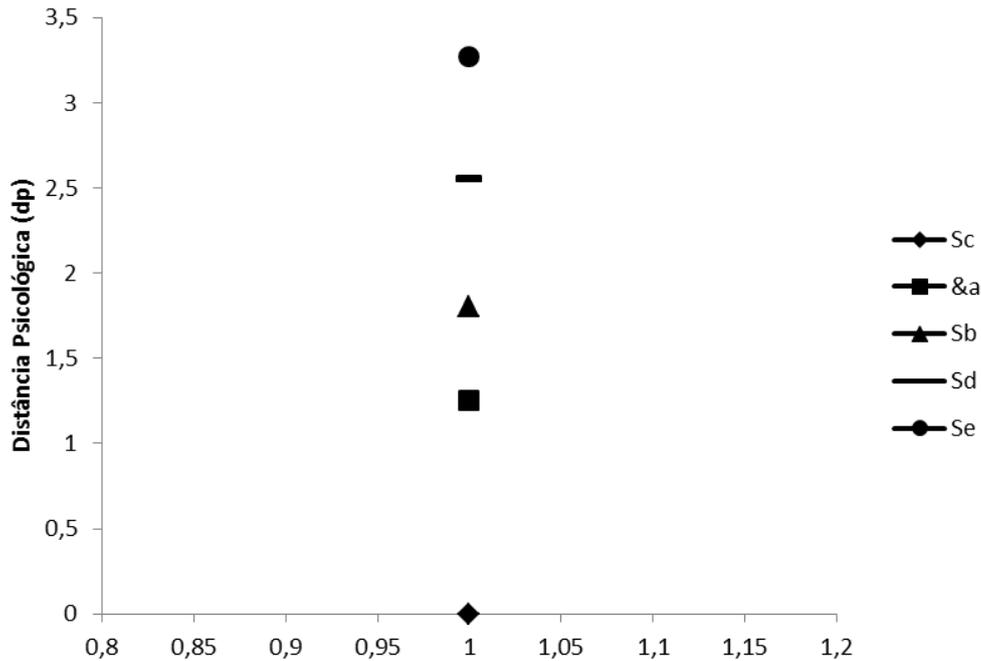


Figura V.2: Representação gráfica da escala intervalar de distâncias psicológicas com base nos resultados obtidos pelo Caso V de Thurstone, de acordo com a Tabela 7. Adaptado de (Thurstone & Chave, 1929a).

A forma de maior complexidade de cálculo do Caso V é realizada para se obter uma escala sem a definição (ou quando não existe, ou quando não queremos) de uma referência. Neste caso, há a necessidade de se apresentar, repetidas vezes, pares de todos os estímulos contra todos os estímulos. Como resultado, teremos uma matriz cruzada de todas as porcentagens de julgamentos possíveis, como visto na Tabela 7.

Tabela 7: Cálculo das distâncias discriminativas em uma matriz de discriminação cruzada. Adaptado de (Thurstone & Chave, 1929a).

	ψA	ψB	ψC	ψD	ψE
ψA	-	Pb>a	Pc>a	Pd>a	Pd>a
ψB	Pa>b	-	Pc>b	Pd>b	Pd>b
ψC	Pa>c	Pb>c	-	Pd>c	Pd>c
ψD	Pa>d	Pb>d	Pc>d	-	Pc>d
ψE	Pa>e	Pb>e	Pc>e	Pd>e	-
Média	ψA	ψB	ψC	ψD	ψE

A partir desta matriz cruzada de porcentagens, encontramos a matriz cruzadas de valores de escore Z. Porém, diferente da situação em que temos uma referência, neste caso, necessitamos de passos adicionais de cálculo das distâncias discriminativas. Ao definirmos os escores Z, somos capazes de definir uma referência para nossa escala. Em geral, utiliza-se o menor ou o maior valor como nosso zero escalar. Temos, assim, a possibilidade de encontrar a ordem de discriminabilidade

subjettiva com base nas médias dos escores Z_s . Vamos dar como exemplo a seguinte ordem $\psi_B < \psi_E < \psi_A < \psi_D < \psi_C$. Podemos, então, proceder com o cálculo do Caso V, multiplicando cada par de discriminabilidade pela $\sqrt{2}$. Assim termos como valores da escala, de acordo com nosso exemplo hipotético os seguintes valores (Tabela 8).

Tabela 8: Cálculo para a criação dos intervalos da escala intervalar discriminativa a partir de uma matriz cruzada de discriminabilidade. Adaptado de (R.D. Luce, 1994).

Menor		Maior		
0	$Z_{be}\sqrt{2}$	$Z_{ea}\sqrt{2}$	$Z_{ad}\sqrt{2}$	$Z_{dc}\sqrt{2}$
ψ_B	ψ_E	ψ_A	ψ_D	ψ_C

LEI DE STEVENS (LEI DE POTÊNCIA)

Medidas de propriedades físicas sobre escalas de razão são altamente desejáveis, sempre que possível, uma vez que tais escalas contem as características de ordem, distância e, diferente das escalas intervalares, origem (Teghtsoonian, 1971). Outra vantagem das escalas de razão é a sua máxima correspondência com o sistema numérico. Como vimos nos tipos de escala, o uso de numerais apresenta máxima relação com numerosidade nas escalas de razão.

Foi somente na década de 1930, que engenheiros acústicos ficaram cientes do problema de especificarem numericamente a intensidade sonora psicológica. Foi neste momento que os psicólogos começaram a se interessar por medidas de razão para sensações e percepções. Este problema fez aparecer uma falha óbvia da Lei de Fechner. Engenheiros assumiram esta lei estava correta em criaram a escala decibel (dB), a qual é uma escala logarítmica de energia sonora. Se a Lei de Fechner estivesse correta para todas as dimensões sensoriais, aumentos em unidades logarítmicas na escala decibel corresponderiam a aumentos proporcionais na escala psicológica de intensidade de som. Mas não foi isso o que ocorreu. Um som de 60dB é percebido como tendo muito mais do que 2vezes (ou o dobro) da intensidade sonora de 30dB. Pensou-se, então, no uso de medidas de razão para estudos psicofísicos, já que o problema prático a ser determinado era uma métrica subjettiva da intensidade sonora (Comrey, 1950).

Importante reforçar aqui que a maioria das medias de razão são geradas com base em métodos psicofísicos que diretamente acessam esta métrica, diferente dos métodos psicofísicos clássicos e medidas intervalares, como Caso V de Thurstone, que são medidas indiretas das escalas de magnitudes psicológicas.

Os métodos de razão foram, então, utilizados com crescente frequência e escalas de razão foram construídas para dezenas de dimensões psicológicas como dor (Gracely, McGrath, & Dubner, 1978), percepção de duração temporal e de memória para duração (Eisler, 1975; Fetterman, 1995), paladar e odor (Griep, Borg, Collys, & Massart, 1998) e saturação cromática (Panek & Stevens, 1966). Atualmente, escalas de razão são utilizadas inclusive para dimensões psicológicas de alta ordem, como julgamentos de aspectos clínicos, educacionais e sociais, para citar alguns. Estes estudos incluem estudos do impacto de eventos estressantes (Hough et al., 1976), status sociocultural (B. D. Jones & Shorter, 1972) e Cooperação e Conflito (Thomas, 2015). (Tabela 9).

Tabela 9: Exponentes representativos das funções de potência relacionando magnitudes psicológicas à magnitude dos estímulos em contínuos protéticos. Adaptado de (Stevens, 1958).

Contínuo Psicológico	Exponente	Condição Experimental
Intensidade Sonora	0,60	Biauricular
Intensidade Sonora	0,55	Monoauricular
Brilho	0,33	5º adaptado ao escuro
Brilho	0,50	1º adaptado ao escuro
Intensidade Luminosa	1,20	Reflectância de papéis cinza
Cheiro	0,55	Odor de café
Cheiro	0,60	Hidrógeno de Heptilo
Sabor	0,80	Sacarina
Sabor	1,30	Sucrose
Sabor	1,30	Sal
Temperatura	1,00	Frio - no ante-braço
Temperatura	1,60	Calor - no antebraço
Vibração	0,95	60 ciclos por segundo - dedo
Vibração	0,60	250 ciclos por segundo - dedo
Duração	1,10	Ruído sonoro branco
Taxa de Repetição	1,00	Luz, som, toque e choque
Distância entre Dedos	1,30	Espessura de blocos de madeira
Pressão na Palma da Mão	1,10	Força estática na pele
Peso	1,45	Elevação de pesos
Força de Aperto Manual	1,70	Precisão de aperto no dinamômetro
Esforço Vocal	1,10	Pressão sonora de vocalização
Choque Elétrico	3,50	60 ciclos por segundo - dedo

Existem procedimentos psicofísicos para a geração de escalas de razão, a *Estimativa de Razão*, *Produção de Razão*, *Estimativa de Magnitude* e *Produção de Magnitude*. Os procedimentos de estimativa são baseados em tarefas nas quais os observadores tem que julgar a razão (1/3, 1/8, 7x, 15x etc.) dada a apresentação de dois ou mais estímulos. Os procedimentos de produção são baseados na tarefa de, dado um estímulo de referência, pede-se ao observador para manipular o estímulo teste para o ponto em que este gere uma sensação (1/2, 1/6, 9x, 30x) diferente. O estímulo de referência recebe o nome de Módulo. As medidas de razão podem ser produzidas com a utilização de diferentes contínuos sensoriais. Por exemplo, para uma luz percebida 4x mais intensa que o Módulo, o observador deve ajustar o volume de um som correspondente que represente a mesma magnitude que, neste caso, com uma intensidade 4x maior do que o som original.

Nas medidas de Magnitude, utilizam o contínuo de números para a atribuição direta da modificação sensorial percebida. Exemplo, se uma solução apresenta um grau de salinidade e a esta é atribuído um valor de Módulo de 73 (este valor pode ser arbitrário ou definido experimentalmente). Ao experimentar outra solução, se o observador julgar que esta gera 3x mais salinidade (gosto salgado), ele deve dar um número que represente esta diferença de magnitude, no caso 219.

A solução para o problema dos engenheiros de som foi encontrada pelo desenvolvimento da escala *Sone* (Stevens, 1936b). Para o desenvolvimento desta escala, um tom de uma frequência de 1.000Hz a intensidade de 40dB foi definido

como 1 sone. Pediu-se para observadores ajustarem a intensidade sonora para que parecesse 2x mais intensa (2 sones), e este valor foi de 47dB. Quatro tones foram atingidos com 55dB, ½ sone em 37dB e ¼ de sone em 25dB. Este comportamento sensorial não é compatível com uma escala logarítmica mas, sim com uma escala de potência.

Como resultado deste estudo e de outros realizados em dezenas de dimensões sensoriais utilizando escalonamento psicofísico direto, uma nova Lei Psicofísica emergiu e substituiu, para muitas dimensões, a Lei de Fechner. Esta lei foi proposta por Stevens (Stevens, 1957), descreve que a relação entre a magnitude sensorial (ψ) e a da intensidade do estímulo (ϕ) é modelada por uma função de potência, cujo expoente é (n). Esta ficou conhecida como Lei de Stevens.

$$\psi = k \phi^n \quad (\text{Eq. 19})$$

Nesta função, existe também a variável k , que é uma constante arbitrária e depende da dimensão e da condição de estimulação estudadas. O valor do expoente da função de poder determina a forma da curva no gráfico entre intensidade do estímulo e a magnitude percebida. Por exemplo, se a função de potência obtida tiver um expoente de 1,0, a variação entre a magnitude percebida e a do estímulo é diretamente proporcional. Valores de expoente maiores do que 1,0 indicam um aceleração da função, ou seja, as magnitudes percebidas são mais intensas do que as magnitudes sensoriais. Ao contrário, para expoente menores do que 1,0, a curva tem uma aceleração negativa e assim, as magnitudes sensoriais são menores do que as magnitudes físicas do estímulo (Stevens, Carton, & Shickman, 1958) (Figura V.3).

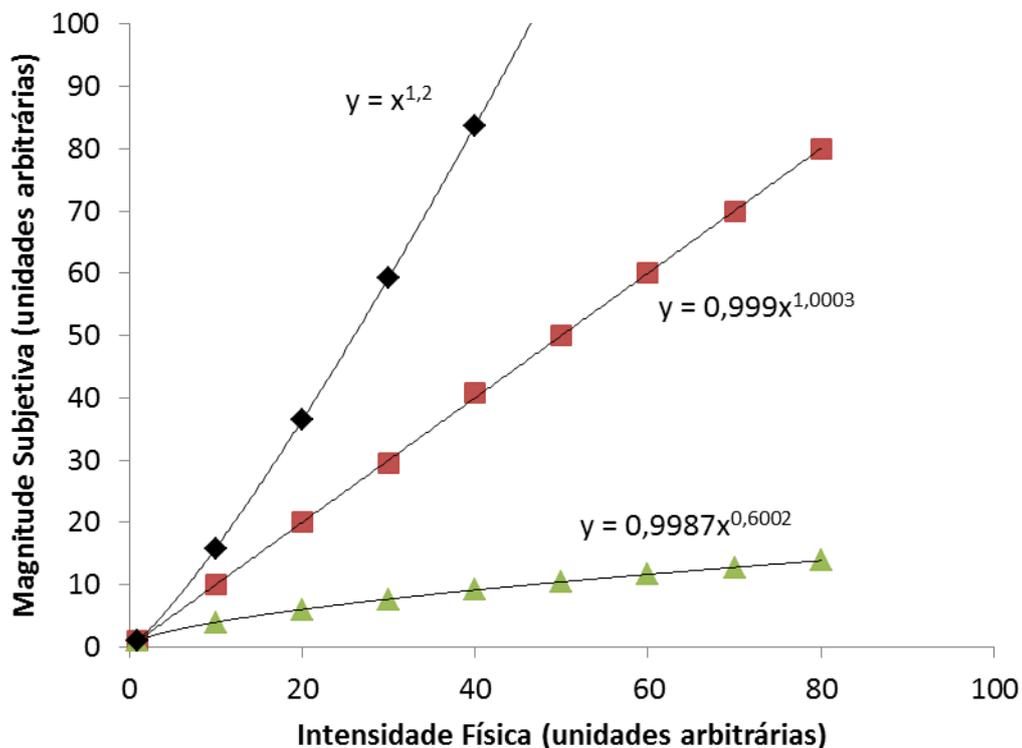


Figura V.3: Em coordenadas lineares, as funções de magnitude subjetiva são côncavas para cima ou para baixo, dependendo se o expoente da função é maior ou menor do que 1,0, respectivamente. Adaptado de (Stevens, 1958).

Eis aqui um dos motivos pelos quais os psicofísicos dizem que a Lei de Potência de Stevens substitui a Lei do Logaritmo de Fechner. Por ser logarítmica, a Lei de Fechner só é capaz de modelar dimensões psicológicas cujos contínuos apresentam uma aceleração negativa.

Outro motivo é o fato de se conseguir estimar a validade interna da escala medida nas escalas de razão. Convenientemente, a Lei de Stevens pode ser transformada em uma função linear (Figura V.4), com a inclinação da reta igual ao expoente, quando uma transformação logarítmica é aplicada em cada lado da equação

$$\log \psi = \log k + n \log \phi \quad (\text{Eq. 20})$$

Em caso de estarmos, de fato, avaliando medidas de razão, não só a função de poder se apresenta como uma reta em um gráfico log-log, mas a dispersão dos resultados é menor ou igual a 5%, ou seja, $R^2 \geq 0,95$. Caso ambas as condições sejam satisfeitas, podemos considerar uma escala de razão com validade interna.

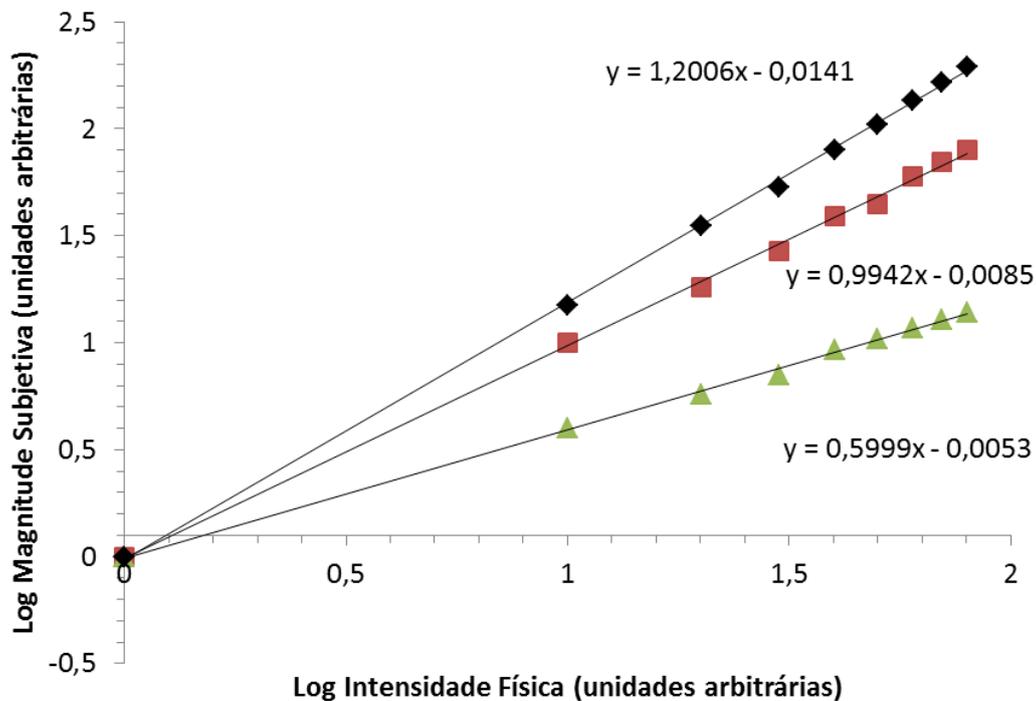


Figura V.4: Escalas de magnitude subjetiva de 3 contínuos protéticos em gráfico de escala logarítmica dupla (log-log). A inclinação da linha corresponde ao expoente das funções de poder controlando o aumento da magnitude psicológica. Adaptado de (Stevens, 1958).

EQUIPARAÇÃO ENTRE MODALIDADES

A validade da escala psicofísica de razão, principalmente a de estimativa de Magnitude, depende do uso correto do observador do sistema numérico para comunicar a verdadeira magnitude sentida. Stevens, então, realizou uma série de experimentos de razão sem o uso de números. A tarefa do observador era igualar uma magnitude percebida em uma modalidade (brilho de luz) com a magnitude percebida em outra modalidade (vibração no dedo). Estas equiparações entre modalidades foi realizada para uma série de modalidades e contínuos sensoriais e para vários níveis de intensidade (Stevens, 1959) (Figura V.5).

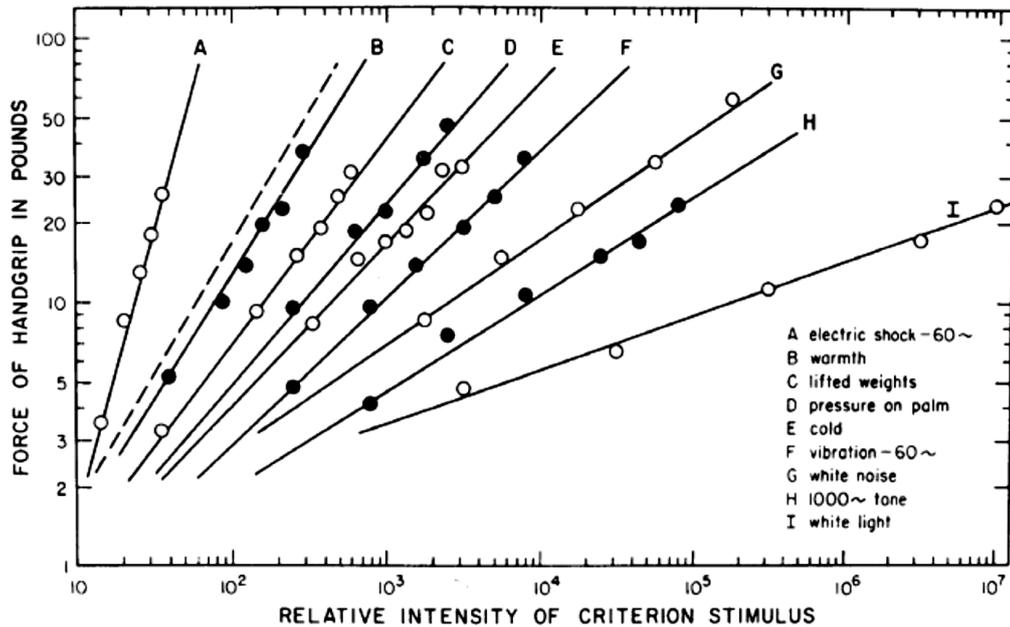


Figura V.5: Funções de igual-sensação obtidas por equiparação da força de aperto de mão para vários critérios de estímulos (1/2X; 2X; 5X etc.). A linha pontilhada representa o expoente de 1,0. Reproduzido de (Stevens, 1964).

Se as funções de razão forem verdadeiras, elas irão corresponder a um modelo de função de potência e, num gráfico log-log, serão modeladas por uma reta. Além disso, quando o expoente da função de potência de duas modalidades é conhecido, pode-se prever teoricamente o expoente que a função de comparação terá (Stevens, 1964, 1967). Por exemplo, se eu sei o expoente de uma função de potência para brilho em função do tamanho de linha e para odor cítrico em função do tamanho de linha, há a possibilidade de se calcular o expoente teórico da magnitude percebida do brilho em função da magnitude do odor cítrico.

$$\psi_1 = \phi_1^a$$

$$\psi_2 = \phi_2^b$$

Uma vez que o observador equipara as sensações de dois julgamentos de razão por equiparação entre modalidades, a equação da função de igual experiência psicológica será

$$\phi_1^a = \phi_2^b$$

Transformando a função de potência em logarítmica nos dois lados da equação, temos

$$a \log \phi_1^a = b \log \phi_2^b$$

De forma muito prática, este expoente da função de potência é calculado pela divisão do expoente B sobre o expoente A. A transformação abaixo permitem nos

entender a origem desta divisão de expoentes para determinação do novo expoente teórico.

$$\log \phi_1^a = \frac{b}{a} \log \phi_2^b \quad (\text{Eq. 21})$$

Uma vez que o expoente obtido teoricamente deveria ser o mesmo obtido experimentalmente, Stevens propôs que esta equiparação entre modalidades funcionaria como uma verificação da consistência interna do método (Stevens, 1960, 1964). A tabela 10 apresenta alguns resultados encontrados por Stevens entre o expoente predito teoricamente, com o expoente encontrado experimentalmente por equiparação entre modalidades.

Tabela 10: Expoentes estimados para a equiparação de força de aperto de mão para outros 8 estímulos a para número. Adaptado de (Stevens, 1960).

Atributo	Expoente por Equiparação	Expoente pela Tabela 9
Luminância, fonte 5º visuais	0,21	0,19
Tom de 1KHz, biauricular	0,35	0,35
Som de Ruído Branco, biauricular	0,41	0,35
Amplitude de Vibração	0,56	0,56
Frio no antebraço	0,6	0,59
Pressão na palma da mão	0,67	0,65
Elevação de peso	0,79	0,85
Calor no antebraço	0,96	0,94
Corrente elétrica nos dedos	2,13	2,06

Certamente, o universo da Psicofísica vai muito além dos princípios de medida apresentados neste volume. No entanto, ele serve de material introdutório e didático para uma fundamentação em métrica subjetivas e psicofísica. Os princípios de medida psicológica aqui apresentados são fundamentais para uma formação crítica do Psicólogo, principalmente, no tocante à parte de sua atividade que é a medida de atributos psicológicos, como visão, audição, atenção, memória entre outras. Esperamos ter mostrado a importância desta disciplina para o desenvolvimento de uma Psicologia como Ciência de Relações Objetivas e de Práticas baseada em fundamentos quantitativos e evidências empíricamente validadas.

COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE ESCALONAMENTO

As diferentes funções de escalonamento psicofísico obtidas pelos diferentes métodos apresentam resultados característicos para cada um deles, porém, semelhantes se as escalas forem válidas. Este raciocínio está de acordo com o raciocínio científico de que os resultados obtidos por diferentes métodos e diferentes condições representam um tipo de validação do achado em particular. Por exemplo, se resultados obtidos em medidas psicofísicas estão mostrando uma mesma direção que nos encontrados em medidas bioquímicas, eletrofisiológicas ou de imagem cerebral, conferem certeza e

veracidade à um determinado achado. Por mais que exista um fator subjetivo de interpretação dos resultados, se investigadores interpretam de forma semelhante os achados em diversos laboratórios, por diversas formas de medida e em diversas populações diferentes, é evidente que os achados são robustos e, portanto, estamos próximo à uma concepção verdadeira do achado.

O mesmo raciocínio pode ser aplicado para os diferentes métodos psicofísicos. Os limiares absolutos e diferenciais obtidos pelos diferentes métodos clássicos são numericamente diferentes mas, por princípio, devem todos indicar o mesmo comportamento dos resultados encontrados. Da mesma forma, para as medidas de escalonamento, seja por confusão nos casos de medidas discriminabilidade, ou seja, por magnitude, nos casos de medidas de razão, independente da função obtida, o comportamento deve ser semelhante. Nos casos de escalonamento, a única diferença está condição epistemológica da informação. Medidas de razão apresentam magnitude diretamente transformável para numerais, enquanto que nas escalas intervalares e ordinais/catóricas esta transformação não é direta e, portanto, as referências numéricas são indiretamente relacionadas às magnitudes. Isto significa que a quantidade de informação obtida nestas escalas é relativamente menor do que nas obtidas por escalas de razão.

Para contínuos Metatéticos, todos os três tipos de escalas psicofísicas, por DAPs, por discriminação e de razão mostram uma concordância extraordinária. Por exemplo, a forma da escala de tonalidade sonora é a mesma, se criada por DAPs, equiseção de intervalos ou razão (Stevens, 1957; Stevens & Galanter, 1957; Stevens & Stone, 1959). Em contínuos protéticos, as diferentes escalas não são linearmente relacionadas. Enquanto a escala de razão se apresenta linear, a escala por DAPs toma a forma logarítmica e a escala intervalar em algum ponto intermediário à estas. Veja a figura V.6, reproduzida de (Stevens, 1957).

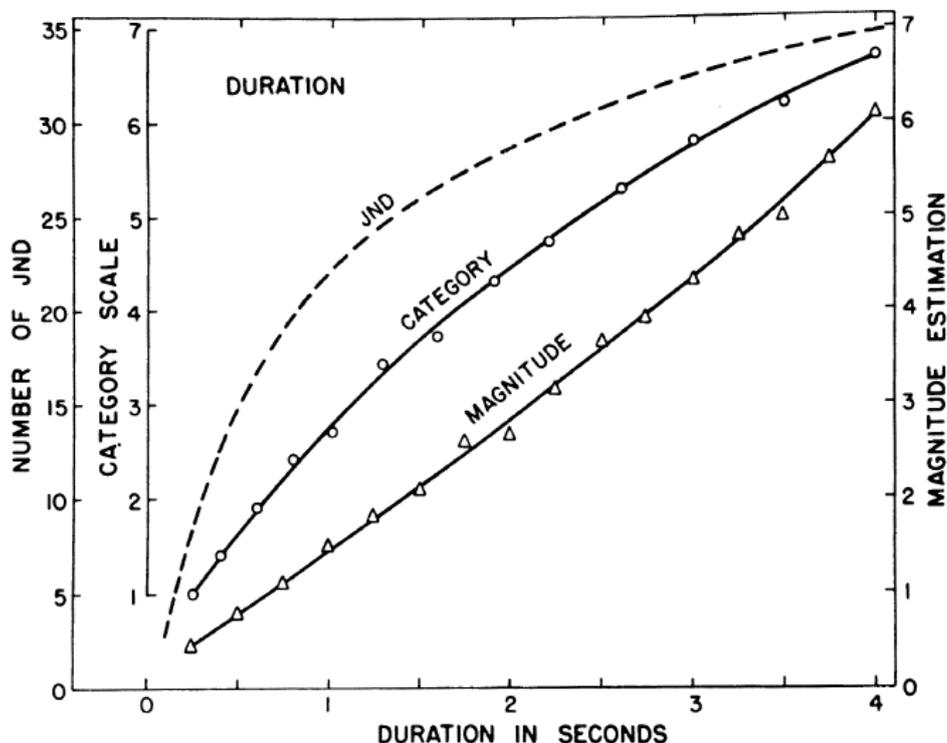


Figura V.6: Três tipos de medidas psicológicas de duração aparente. Triângulo: Média da estimativa de magnitude de 12 observadores; Círculo: média de julgamento categórico entre categorias 1 e 7 por 16 observadores; e a Linha Pontilhada: discriminabilidade obtida indiretamente por DAPs de limiares diferenciais. Reproduzido de (Stevens, 1957).

As escalas são comparáveis em contínuos Metatéticos, mas não em contínuos protéticos porque as escalas medem o mesmo aspecto da resposta sensorial – a discriminabilidade. Uma vez que os contínuos Metatéticos são qualitativos, relacionando o “O que” e o “Onde” da experiência sensorial, estas escalas estão medindo a quantidade de diferença entre sensações percebidas. O escalonamento por DAPs dão uma medida indireta de discriminabilidade. Escalas intervalares estão relacionadas com as escalas de discriminação porque as distâncias discriminativas correspondem a intervalos de uma escala linear e a discriminabilidade por DAPs é linear quando apresentada de forma logarítmica (Attneave, 1949; Bechtel, 1967; Brown & Daniel, 1990; Cliff, 1973).

Nos contínuos protéticos, o aspecto relevante não é a discriminabilidade, mas sim, a magnitude percebida. No entanto, quando aplicadas medidas de discriminabilidade em contínuos protéticos, ainda assim, obtêm-se escalas de discriminação (categóricas ou intervalares). Isto porque, mesmo em contínuos protéticos, a função de discriminabilidade de dois estímulos não corresponde à diferença de magnitude, mas sim, de distância subjetiva. As magnitudes das experiências psicológicas só são acessíveis diretamente e de forma válida, pela utilização dos métodos para médias de razão.

Desta maneira, ao estudarmos um contínuo psicológico, devemos buscar a possibilidade de encontrar medidas de razão válidas e com consistência interna. Neste caso, saberemos que estamos diante de um contínuo psicológico julgado psicologicamente, por magnitude. Ou seja, com as medidas de escalonamento psicofísico, temos condição de identificar por qual processo mental realizamos discriminações e julgamentos: seja por distância ou por magnitude. Caso não tenhamos condições de obter medidas de razão válidas para este contínuo em questão, sabemos que estamos frente a um contínuo psicológico que é mentalmente julgado por meio de discriminabilidade, de distância ou de ordem.

Para a grande maioria dos contínuos psicológicos não sabemos qual a forma de processamento mental. Portanto, esta definição deverá ser realizada com base no ajuste de funções psicométricas para medidas escalares. O melhor ajuste dos dados para uma determinada função nos permitirá saber qual a forma de organização mental desta informação e, assim, conseqüentemente, qual escala deverá ser utilizada para o julgamento daquela função. Isto significa que o escalonamento psicofísico permite não só o desenvolvimento de medidas para diferentes contínuos psicológicos, mas, também, nos permite conhecer a natureza da dimensão subjetiva e como nossa mente a organiza para realizar interpretações e julgamentos. Esta natureza tem relação direta com todos os fatores controlados pelo experimento psicofísico: as características de energia do mundo físico, as características do sistema sensorial de transdução da energia para informação neurofisiológica e cerebral, e das características mentais elementares para a criação do mundo psicológico.

LEITURA COMPLEMENTAR SUGERIDA

- a. Revisão sobre escalonamentos (Cliff, 1973).
- b. Nova geração de medidas escalares – ancoramento de nível (Borg & Borg, 2001).
- c. Escalonamento categórico de tempo em ratos idosos (Cheng, Dyke, McConnell, & Meck, 2011).
- d. Intensidade de sintomas de fobia por escalonamento psicofísico (Frost & Tegtsoonian, 1982).
- e. Revisão sobre formas de escalonamento de prazer e felicidade (Lim, 2011).
- f. Uso de escalonamento por julgamento comparativo (Maydeu-Olivares & Böckenholt, 2008).
- g. Escalonamento de tempo, espaço e número em músicos e não-músicos (Agrillo & Piffer, 2012).

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela A1. Tabela descritiva dos problemas e métodos da psicofísica.

I. para determinar Escalas Nominais			
a. Limiares Absolutos	Tarefa	Estímulo	Estatística
Estímulo Isolado	C	F	L
Contagem	C	F	L
Localização Forçada	C	F	L
M. Ajuste	C	A	L
M. Limites	C	A	L
Escada	C	F	L
b. Sensibilidade Diferencial			
Estímulo Isolado	I	F	V
M. Ajuste	C	A	V
M. Estímulos Constantes	O	F	V
ABX	C	F	V
c. Identificação			
Estímulo Isolado	C	F	V
II. para determinar Escalas Ordinais			
Comparação de Pares	O	F	L
Ordenamento	O	F	L
Escala de Classificação	O	F	L
Estímulo Isolado	C	F	V
III. para determinar Escalas Intervalares			
Bissecção	I	F	L
Estimativa de Intervalo	I	F	L
Classificação de Categorias	I	F	L
Produção de Categorias	I	A	L
Ordenamento	O	F	V
Comparação de Pares	O	F	V
IV. Para determinar Escalas de Razão			
Estimativa de Razão	R	F	L
Produção de Razão	R	F	L
Estimativa de Magnitude	M	F	L
Produção de Magnitude	M	A	L

Tarefa: C - Classificação; O - Ordem; I - Intervalo; R - Razão; M - Magnitude

Estímulo: F - Fixo; A - Ajustável

Estatística: L - Medida de Localização; V - Medida de Variabilidade

APÊNDICE B

Tabela B1. Conversão entre proporção para valores em escore Z.

Proportion	Z-score	Proportion	Z-score	Proportion	Z-score	Proportion	Z-score
0.01	-2.33	0.26	-0.64	0.51	0.03	0.76	0.71
0.02	-2.05	0.27	-0.61	0.52	0.05	0.77	0.74
0.03	-1.88	0.28	-0.58	0.53	0.08	0.78	0.77
0.04	-1.75	0.29	-0.55	0.54	0.10	0.79	0.81
0.05	-1.64	0.30	-0.52	0.55	0.13	0.80	0.84
0.06	-1.55	0.31	-0.50	0.56	0.15	0.81	0.88
0.07	-1.48	0.32	-0.47	0.57	0.18	0.82	0.92
0.08	-1.41	0.33	-0.44	0.58	0.20	0.83	0.95
0.09	-1.34	0.34	-0.41	0.59	0.23	0.84	0.99
0.10	-1.28	0.35	-0.39	0.60	0.25	0.85	1.04
0.11	-1.23	0.36	-0.36	0.61	0.28	0.86	1.08
0.12	-1.18	0.37	-0.33	0.62	0.31	0.87	1.13
0.13	-1.13	0.38	-0.31	0.63	0.33	0.88	1.18
0.14	-1.08	0.39	-0.28	0.64	0.36	0.89	1.23
0.15	-1.04	0.40	-0.25	0.65	0.39	0.90	1.28
0.16	-0.99	0.41	-0.23	0.66	0.41	0.91	1.34
0.17	-0.95	0.42	-0.20	0.67	0.44	0.92	1.41
0.18	-0.92	0.43	-0.18	0.68	0.47	0.93	1.48
0.19	-0.88	0.44	-0.15	0.69	0.50	0.94	1.55
0.20	-0.84	0.45	-0.13	0.70	0.52	0.95	1.64
0.21	-0.81	0.46	-0.10	0.71	0.55	0.96	1.75
0.22	-0.77	0.47	-0.08	0.72	0.58	0.97	1.88
0.23	-0.74	0.48	-0.05	0.73	0.61	0.98	2.05
0.24	-0.71	0.49	-0.03	0.74	0.64	0.99	2.33
0.25	-0.67	0.50	0.00	0.75	0.67	0.995	2.58

*Calculated in Excel®.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadi, R. V., Forster, J. E., & Lloyd, I. C. (2006). Ocular motor outcomes after bilateral and unilateral infantile cataracts. *Vision Res.*, *46*(6-7), 940-952.
- Agrillo, C., & Piffer, L. (2012). Musicians outperform nonmusicians in magnitude estimation: evidence of a common processing mechanism for time, space and numbers. *Q.J.Exp.Psychol.(Hove.)*, *65*(12), 2321-2332. doi: 10.1080/17470218.2012.680895 [doi]
- Allan, L. G., & Kristofferson, A. B. (1974). Psychophysical theories of duration discrimination. *Perception & Psychophysics*, *16*(1), 26-34.
- Atkinson, J., Braddick, O., & Moar, K. (1977). Development of contrast sensitivity over the first 3 months of life in the human infant. *Vision Res.*, *17*(9), 1037-1044.
- Attneave, F. (1949). A method of graded dichotomies for the scaling of judgments. *Psychological Review*, *56*, 334-340.
- Bastie, J. (1999). *Light measurements before V()*. Paper presented at the CIE Symposium'99. 75 Years of CIE Photometry, Budapest, Hungary.
- Bechtel, G. G. (1967). The analysis of variance and pairwise scaling. *Psychometrika*, *32*(1), 47-65.
- Bengtsson, B., & Heijl, A. (1998). SITA Fast, a new rapid perimetric threshold test. Description of methods and evaluation in patients with manifest and suspect glaucoma. *Acta Ophthalmol.Scand.*, *76*(4), 431-437.
- Bengtsson, B., Heijl, A., & Olsson, J. (1998). Evaluation of a new threshold visual field strategy, SITA, in normal subjects. Swedish Interactive Thresholding Algorithm. *Acta Ophthalmol.Scand.*, *76*(2), 165-169.
- Bengtsson, B., Olsson, J., Heijl, A., & Rootzen, H. (1997). A new generation of algorithms for computerized threshold perimetry, SITA. *Acta Ophthalmol.Scand.*, *75*(4), 368-375.
- Benovsky, J. (2016). Dual-Aspect Monism. *Philosophical Investigations*, *39*(4), 335-352. doi: 10.1111/phn.12122
- Bergamann, J., & Spence, K. W. (1944). The logic of psychophysical measurement. *The Psychological Review*, *51*(1), 1-24.
- Blackwell, H. R. (1952). Studies of Psychophysical Methods for Measuring Visual Thresholds. *Journal of the Optical Society of America*, *42*(9), 606-616.
- Borg, G., & Borg, E. (2001). A new generation of Scaling methods: Level-anchored ratio scaling. *Psychologica*, *28*, 15-45.
- Boring, E. G. (1961). The Beginning and Growth of Measurement in Psychology. *Isis*, *52*(2), 238-257.
- Brown, T. C., & Daniel, T. C. (1990). Scaling of Ratings - Concepts and Methods. *Usda Forest Service Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station Research Paper(RM-293)*, 1-24.
- Cao, R., Castle, M., Sawatwarakul, W., Fairchild, M., Kuehni, R., & Shamey, R. (2014). Scaling perceived saturation. *Journal of the Optical Society of America A-Optics Image Science and Vision*, *31*(8), 1773-1781.
- Cattell, J. M., & Galton, F. (1890). Mental Tests and Measurements. *Mind*, *15*(59), 373-381.
- Cheng, R. K., Dyke, A. G., McConnell, M. W., & Meck, W. H. (2011). Categorical scaling of duration as a function of temporal context in aged rats. *Brain Research*, *1381*, 175-186.

- Cliff, N. (1973). Scaling. *Annual Review of Physiology*, 24, 473-506.
- Comrey, A. L. (1950). A proposed method for absolute ratiion scaling. *Psychometrika*, 15(3), 317-325.
- Cornsweet, T. N. (1962). Staircase-Method in Psychophysics. *American Journal of Psychology*, 75(3), 485-&. doi: Doi 10.2307/1419876
- Cozby, P. C. (2004). Measurement. In P. C. Cozby (Ed.), *Methods in Behavioral research* (8 ed., pp. 1-23): McGraw-Hill Publishing Company.
- De Condillac, E. B. (1798). *Traite de Sensations*. Paris: Librairie Arthème Fayard.
- Dehaene, S. (2003). The neural basis of the Weber–Fechner law: a logarithmic mental number line. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(4), 145-147.
- Dixon, W. J., & Massey, F. J. (1969). *Introduction to Statistical Analysis* (3rd ed.). New York, N.Y.: McGraw-Hill.
- Dzhafarov, E. N., & Colonius, H. (2011). The Fechnerian Idea. *American Journal of Psychology*, 124(2), 127-140.
- Ehrenstein, W. H., & Ehrenstein, A. (2000). Psychophysical Methods *Modern Techniques in Neuroscience Research* (pp. 1211-1241): Springer Berlin Heidelberg.
- Eisler, H. (1975). Subjective Duration and Psychophysics. *Psychological Review*, 82(6), 429-450.
- Fechner, G. T. (1860). *Elemente der Psychophysik*. Leipzig: Breitkopf und Härtel.
- Ferris, T. L. J. (2004). A new definition of measurement. *Measurement*, 36(1), 101-109. doi: 10.1016/j.measurement.2004.03.001
- Fetterman, J. G. (1995). The Psychophysics of Remembered Duration. *Animal Learning & Behavior*, 23(1), 49-62.
- Finkelstein, L. (2003). Widely, strongly and weakly defined measurement. *Measurement*, 34(1), 39-48. doi: 10.1016/s0263-2241(03)00018-6
- Finkelstein, L., & Leaning, L. S. (1984). A review of the fundamental concepts of measurement. *Measurement*, 2(1), 25-34.
- Frost, R. O., & Teghtsoonian, R. (1982). Use of Psychophysical Scaling Procedures in the Assessment of Phobias: a Case Example. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 13(3), 191-193.
- Garcia-Perez, M. A. (2001). Yes-No Staircases with Fixed Step Sizes: Psychometric Properties and Optimal Setup. *Optometry and Vision Science*, 78(1), 56-64.
- Gerlach, C., Law, I., & Paulson, O. B. (2006). Shape configuration and category-specificity. *Neuropsychologia*, 44(7), 1247-1260. doi: S0028-3932(05)00314-3 [pii];10.1016/j.neuropsychologia.2005.09.010 [doi]
- Gescheider, G. A. (1997). *Psychophysics: The Fundamentals*. (Vol. 3rd ed.). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers.
- Goulart, P. R., Bandeira, M. L., Tsubota, D., Oiwa, N. N., Costa, M. F., & Ventura, D. F. (2008). A computer-controlled color vision test for children based on the Cambridge Colour Test. *Vis.Neurosci.*, 25(3), 445-450. doi: S0952523808080589 [pii];10.1017/S0952523808080589 [doi]
- Gracely, R. H., McGrath, P., & Dubner, R. (1978). Ratio scales of sensory and affective verbal pain descriptors. *Pain*, 5, 5-18.
- Griep, M. I., Borg, E., Collys, K., & Massart, D. L. (1998). Category ratio scale as an alternative to magnitude matching for age-related taste and odour perception. *Food Quality and Preference*, 9(1/2), 67-72.
- Gulliksen, H. (1956). Measurement of subjective values. *Psychometrika*, 21(3), 229-244.
- Guttman, L. (1944). A Basis for Scaling Qualitative Data. *American Sociological Review*, 9(2), 139-150.

- Hecht, S., Shlaer, S., & Pirenne, M. H. (1942). Energy, Quanta, and Vision. *Journal of General Physiology*, 25(6), 819-840.
- Hench, D. A. (1967). Ernst Heinrich Weber (1795-1878) leipzig physiologist. *JAMA*, 199(4), 272-273.
- Hollingworth, H. L. (1916). The Psychophysical continuum. *The Journal of Philosophy, Psychology and Scientific Methods*, 13(7), 182-190.
- Hough, R. L., Fairbank, D. T., & Garcia, A. M. (1976). Problems in the Ratio Measurement of Life Stress. *Journal of Health and Social Behavior*, 17(1), 70-82.
- Jones, B. D., & Shorter, R. (1972). The Ratio Measurement of Social Status: Some Cross-Cultural Comparisons. *Social Forces*, 50(4), 499-511.
- Jones, K. T. (1998). Scale as epistemology. *Political Geography*, 17(1), 25-28.
- Kahl, R. (1971). *Selected Writings of Hermann von Helmholtz* Middletown, Connecticut: Wesleyan University Press.
- Koldewyn, K., Whitney, D., & Rivera, S. M. (2010). The psychophysics of visual motion and global form processing in autism. *Brain*, 133(Pt 2), 599-610. doi: awp272 [pii];10.1093/brain/awp272 [doi]
- Lappin, J. S., Norman, J. F., & Phillips, F. (2011). Fechner, information, and shape perception. *Atten.Percept.Psychophys.*, 73(8), 2353-2378. doi: 10.3758/s13414-011-0197-4 [doi]
- Lawless, H. T. (2013). *Quantitative Sensory Analysis: Psychophysics, Models and Intelligent Design* (1 ed.). Oxford, UK: Wiley Blackwell.
- Leek, M. R. (2001). Adaptive procedures in psychophysical research. *Perception & Psychophysics*, 63(8), 1279-1292.
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 1-55.
- Lim, J. Y. (2011). Hedonic scaling: A review of methods and theory. *Food Quality and Preference*, 22(8), 733-747.
- Luce, R. D. (1994). Thurstone and Sensory Scaling - Then and Now. *Psychological Review*, 101(2), 271-277.
- Luce, R. D., & Suppes, P. (2004). Representation Measurement Theory. In J. Wixted & H. Pashler (Eds.), *Steven's handbook of Experimental Psychology* (3 ed., Vol. 4, pp. 1-41). New York: Wiley.
- Masin, S. C., Zudini, V., & Antonelli, M. (2009). Early Alternative Derivations of Fechner's Law. *Journal of the History of Behavioral Sciences*, 45, 56-65.
- Maydeu-Olivares, A., & Böckenholt, U. (2008). Modeling Subjective Health Outcomes: Top 10 Reasons to Use Thurstone's Method. *Medical Care*, 46(4), 346-348.
- Mohr, C., Porter, G., & Benton, C. P. (2007). Psychophysics reveals a right hemispheric contribution to body image distortions in women but not men. *Neuropsychologia*, 45(13), 2942-2950. doi: S0028-3932(07)00218-7 [pii];10.1016/j.neuropsychologia.2007.06.001 [doi]
- Murray, D. J. (1993). A perspective for viewing the history of psychophysics. *Behavioral and Brain Sciences*, 16, 115-156.
- Murray, D. J., & Bandomir, C. A. (2009). *Fechner's inner psychophysics viewed from both a Herbartian and a Fechnerian perspective*. Paper presented at the 25th Annual Meeting of the International Society for Psychophysics Galway, Ireland.
- Nevin, J. A. (1969). Signal Detection Theory and Operant Behavior. *Journal of Experimental Analysis of Behavior*, 12(3), 475-480.
- Norwich, K. H., & Wong, W. (1997). Unification of psychophysical phenomena: The complete form of Fechner's law. *Perception & Psychophysics*, 59(6), 929-940.

- Panek, D. W., & Stevens, S. S. (1966). Saturation of red: A prothetic continuum. *Perception & Psychophysics*, *1*, 59-66.
- Read, J. C. (2014). The place of human psychophysics in modern neuroscience. *Neuroscience*. doi: S0306-4522(14)00436-9 [pii];10.1016/j.neuroscience.2014.05.036 [doi]
- Robinson, D. K. (2010). Fechner "Inner psychophysics". *History of Psychology*, *13*(4), 424-433.
- Romand, D. (2010). A << The mind-body problem A >>. *Revue De Synthese*, *131*(1), 35-51. doi: 10.1007/s11873-009-0111-6
- Romand, D. (2012). Fechner as a pioneering theorist of unconscious cognition. *Consciousness and Cognition*, *21*(1), 562-572. doi: 10.1016/j.concog.2012.01.003
- Scheerer, E. (1987). The unknown Fechner. *Psychol.Res.*, *49*(4), 197-202.
- Scheerer, E. (1992). Fechner's inner psychophysics: its historical fate and present status. In H. G. Geissler, S. W. Link & J. T. Townsend (Eds.), *Cognition, information processing and psychophysics. Basic issues*. (pp. 3-22). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates. (Reprinted from: Not in File).
- Smithson, H. E. (2014). S-cone psychophysics. *Vis.Neurosci.*, *31*(2), 211-225. doi: S0952523814000030 [pii];10.1017/S0952523814000030 [doi]
- Stevens, S. S. (1936a). Psychology: The Propaedeutic Science. *Philosophy of Science*, *3*(1), 90-103.
- Stevens, S. S. (1936b). A scale for the measurement of a psychological magnitude loudness. *Psychological Review*, *43*, 405-416. doi: Doi 10.1037/H0058773
- Stevens, S. S. (1939). On the problem of scales for the measurement of psychological magnitudes. *The Journal of Unified Science*, *8*, 330-336.
- Stevens, S. S. (1939). Psychology and the science of science. *Psychological Bulletin*, *36*(4), 221-263.
- Stevens, S. S. (1946). On the Theory of Scales of Measurement. *Science*, *103*, 677-680.
- Stevens, S. S. (1956). The direct estimation of sensory magnitudes-loudness. *Am.J.Psychol.*, *69*(1), 1-25.
- Stevens, S. S. (1957). On the psychophysical law. *Psychological Review*, *64*(3), 153-181.
- Stevens, S. S. (1958). Problems and methods of psychophysics. *Psychological Bulletin*, *55*(4), 177-196.
- Stevens, S. S. (1959). Cross-modality validation of subjective scales for loudness, vibration, and electric shock. *J.Exp.Psychol.*, *57*(4), 201-209.
- Stevens, S. S. (1960). The Psychophysics of Sensory Function. *American Scientist*, *48*(2), 226-253.
- Stevens, S. S. (1964). Concerning the psychophysical power law. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *16*(4), 383-385. doi: 10.1080/17470216408416398
- Stevens, S. S. (1967). Intensity functions in sensory systems. *Int.J.Neurol.*, *6*(2), 202-209.
- Stevens, S. S., Carton, A. S., & Shickman, G. M. (1958). A scale of apparent intensity of electric shock. *Journal of Experimental Psychology*, *56*(4), 328-334.
- Stevens, S. S., & Galanter, E. H. (1957). Ratio scales and category scales for a dozen perceptual continua. *Journal of Experimental Psychology*, *54*(6), 377-411.
- Stevens, S. S., & Stone, G. (1959). Finger span: ratio scale, category scale, and JND scale. *J.Exp.Psychol.*, *57*(2), 91-95.
- Taylor, M. M. (1983). PEST reduces bias in forced choice psychophysic. *Journal of the Acoustical Society of America*, *74*(8), 1366-1374.

- Taylor, M. M., & Creelman, C. D. (1967). Pest - Efficient Estimates on Probability Functions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 41(4p1), 782-&. doi: Doi 10.1121/1.1910407
- Teghtsoonian, M. (1971). On the exponents in Stevens' law and the constant in Ekman's law. *Psychological Review*, 78(1), 71-80.
- Thomas, G. D. (2015). Scaling CAMEO: Psychophysical Magnitude Scaling of Conflict and Cooperation. *Foreign Policy Analysis*, 11(1), 69-84. doi: 10.1111/fpa.12012
- Thurstone, L. L. (1927a). A law of comparative judgment. *Psychological Review*, 34(4), 273-286. doi: Doi 10.1037/H0070288
- Thurstone, L. L. (1927b). A Mental Unit of Measurement. *Psychological Review*, 37, 415-423.
- Thurstone, L. L. (1929a). Fechner's Law and the Method of Equal-Appearing Intervals. *Journal of Experimental Psychology*, 12, 215-223.
- Thurstone, L. L. (1929b). The Measurement of Psychological Value. In T. V. Smith & W. K. Wright (Eds.), *Essays in Philosophy by Seventeen Doctors of Philosophy of the University of Chicago* (pp. 157-174). Chicago: Open Court.
- Thurstone, L. L. (1931). Rank Order as a Psychophysical Method. *Journal of Experimental Psychology*, 14.
- Thurstone, L. L. (1954). The Measurement of Values. *Psychological Review*, 61(1), 47-58. doi: Doi 10.1037/H0060035
- Thurstone, L. L. (1959). Part II: Subjective Measurement. In L. L. Thurstone (Ed.), *The Measurement of Value* (pp. 15-18). Chicago: University of Chicago.
- Thurstone, L. L., & Chave, E. J. (1929a). Application of the Experimental Scale. In L. L. Thurstone & E. J. Chave (Eds.), *The Measurement of Attitude: A psychophysical Method and Some Experiments with a Scale for Measuring Attitude toward the Church* (1 ed., pp. 67-82). Chicago: Chicago University.
- Thurstone, L. L., & Chave, E. J. (1929b). *The Measurement of Attitude* (1 ed.). Chicago: The University of Chicago Press.
- Thurstone, L. L., & Chave, E. J. (1929c). Theory of Attitude Measurement. In L. L. Thurstone & E. J. Chave (Eds.), *The Measurement of Attitude: A psychophysical Method and Some Experiments with a Scale for Measuring Attitude toward the Church* (1 ed., pp. 1-21). Chicago: Chicago University.
- Titchener, E. B. (1898). A Psychological Laboratory. *Mind*, 7(27), 311-331.
- Treutwein, B. (1995). Adaptative Psychophysical Procedures. *Vision Research*, 35(17), 2503-2522.
- Turpin, A., McKendrick, A. M., Johnson, C. A., & Vingrys, A. J. (2003). Properties of Perimetric Threshold Estimates from Full Threshold, ZEST, and SITA-like Strategies, as Determined by Computer Simulation. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 44(11), 4787. doi: 10.1167/iops.03-0023
- Velmans, M. (1990). Consciousness, brain, and physical world. *Philosophical Psychology*, 3(1), 77-99.
- Velmans, M. (2003). Is the world in the brain, or the brain in the world? *Behavioral and Brain Sciences*, 26(4), 427-+.
- Velmans, M. (2007). An epistmeology for study of consciousness. In M. Velmans & S. Schneider (Eds.), *The Blackwell Companion to Consciousness* (pp. 711-725). New York: Blackwell.
- Velmans, M. (2012). Reflexive Monism: psychophysical relations among mind, matter and consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 19(9), 143-165.

- Velmans, M., & Nagasawa, Y. (2012). Introduction to Monist Alternatives to Physicalism. *Journal of Consciousness Studies*, 19(9-10), 7-18.
- Ventura, D. F., Silveira, L. C., Rodrigues, A. R., de Souza, J., Gualtieri, M., Bonci, D. M., & Costa, M. F. (2003). Preliminary norms for the Cambridge Colour Test. In J. D. Mollon, J. Pokorny & K. Knoblauch (Eds.), *Normal and Defective Colour Vision* (1ed. ed., pp. 331-339). New York: Oxford University Press Inc. (Reprinted from: Not in File).
- Vokey, J. R., Tangen, J. M., & Cole, S. A. (2009). On the preliminary psychophysics of fingerprint identification. *Q.J.Exp.Psychol.(Colchester.)*, 62(5), 1023-1040. doi: 906006948 [pii];10.1080/17470210802372987 [doi]
- Wackermann, J. (2010). Psychophysics as a science of primary experience. *Philosophical Psychology*, 23(2), 189-206. doi: 10.1080/09515081003727392
- Westermann, S., & Lincoln, T. M. (2010). Using signal detection theory to test the impact of negative emotion on sub-clinical paranoia. *J.Behav.Ther.Exp.Psychiatry*, 41(2), 96-101. doi: S0005-7916(09)00078-0 [pii];10.1016/j.jbtep.2009.10.007 [doi]
- Whalen, J., Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1999). Nonverbal Counting in Humans: The Psychophysics of Number Representation. *Psychological Science*, 10(2), 130-137. doi: 10.1111/1467-9280.00120
- White, K. G., & Wixted, J. T. (1999). Psychophysics of remembering. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 71(1), 91-113.
- Wichmann, F. A., & Hill, J. (2001). The psychometric function: I. Fitting, sampling, and goodness of fit. *Perception & Psychophysics*, 63(8), 1293-1313.
- Wichmann, F. A., & Hill, J. (2001). The psychometric function: II. Bootstrap-based confidence intervals and sampling. *Perception & Psychophysics*, 63(8), 1314-1329.
- Wilkinson, L. (1999). Statistical Methods in Psychology Journals. *American Psychologist*, 54(8), 594-604.