

**FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS  
ESCOLA BRASILEIRA DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS  
CENTRO DE FORMAÇÃO ACADÊMICA E PESQUISA  
CURSO DE MESTRADO EM GESTÃO EMPRESARIAL**

**SE UM TACO E UMA BOLA CUSTAM R\$110,  
E O TACO CUSTA R\$100 A MAIS DO QUE A  
BOLA, QUANTO CUSTA A BOLA?**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA BRASILEIRA DE ADMINISTRAÇÃO  
PÚBLICA E DE EMPRESAS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE**

**JARBAS DOS SANTOS SILVA**

Rio de Janeiro 2005

**FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS**

**ESCOLA BRASILEIRA DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E DE EMPRESAS**

**CENTRO DE FORMAÇÃO ACADÊMICA E PESQUISA**

**CURSO DE MESTRADO EM GESTÃO EMPRESARIAL**

**TÍTULO**

SE UM TACO E UMA BOLA CUSTAM R\$110 NO TOTAL; E O TACO CUSTA R\$100 A  
MAIS DO QUE A BOLA, QUANTO CUSTA A BOLA?

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA POR:**

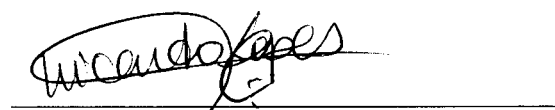
**JARBAS DOS SANTOS SILVA**

E

APROVADO EM 25 / 08 / 2005

PELA COMISSÃO EXAMINADORA

  
**ALEXANDRE LINHARES**  
DOUTOR EM PESQUISA OPERACIONAL

  
**RICARDO LOPES CARDOSO**  
DOUTOR EM CIÊNCIAS CONTÁBEIS

  
**ADRIANO LEAL BRUNI**  
DOUTOR EM ADMINISTRAÇÃO

## RESUMO

O objetivo desta tese é investigar cuidadosamente a *interação entre a intuição e a razão*, propondo um novo modelo cognitivo que explicaria a existência, interação e comportamento dos chamados “dois sistemas” que, supõe-se, coabitem a mente humana. O modelo que será postulado nesta dissertação integra e explica estes dois sistemas; e o sistema NUMBO derivado dos projetos de Hofstadter (1995) é capaz de demonstrar sua plausibilidade psicológica e sua factibilidade de modelagem e simulação em uma arquitetura computacional. Serão utilizadas variações do problema da bola e do taco, pertencente ao *Cognitive Reflection Test* proposto por Frederick (2005), para ilustrar como o processo pelo qual as pessoas passam pode se dar, bem como serão utilizados resultados da psicologia experimental, para validar a plausibilidade psicológica dos mecanismos propostos. A contribuição deste trabalho é, portanto, explicitar as “coleções de processos” que estão operando em cada “caixa-preta” do sistema 1 ou sistema 2. Desta forma, pretende-se dar um pequeno passo em direção à teorias mais elaboradas sobre intuição e razão.

## AGRADECIMENTOS

*Aos meus pais, Carlos e Marilda, e aos meus irmãos,  
Sérgio e Júlio, pelo amor, carinho e orientação que me  
deram ao longo de toda a minha vida.*

*À minha esposa, Patrícia, pelo amor, apoio nos momentos  
difíceis e paciência despendida durante todo este desafio  
que foi o curso de mestrado.*

*Ao amigo Adriano Bruni, que me serviu de exemplo para  
o meu início na vida acadêmica, a todos os amigos do  
trabalho que me apoiaram em momentos de dificuldade, e  
à todos os amigos que de alguma forma me ajudaram  
nesta empreitada.*

## PREFÁCIO

O que é intuição? Porquê algumas pessoas possuem enorme intuição, e não outras? Porquê a intuição pode nos levar a erros, como os identificados por Kahneman e Tversky? Quais os mecanismos e variáveis que regem a intuição humana?

1979 foi um ano crucial para esta tese.

1979 testemunhou a publicação do livro de Hofstadter, *Goedel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid*—que viria a ganhar o Prêmio Pulitzer. 1979 também testemunhou a publicação do artigo de Kahneman & Tversky na *Econometrica*, intitulado “Prospect theory: An analysis of decisions under risk”—que viria a ganhar o Prêmio Nobel de Economia.

Ao longo das décadas subsequentes, estes trabalhos seguiram paralela e independentemente, influenciando correntes distintas das ciências de decisão. Kahneman e Tversky continuaram a estudar viéses humanos, mapeando a racionalidade limitada, estudando o que chamavam de “a psicologia do pensamento intuitivo”. Uma das características-chave destes estudos era o foco nas decisões errôneas—decisões onde humanos naturalmente desviam da “racionalidade”, da “otimalidade”, ou da “lógica”, para usar os termos respectivamente usados na economia, administração, e inteligência artificial; três áreas chave que esta tese explora.

Hofstadter, por outro lado, estudava a natureza dos conceitos humanos, a forma como organizamos a memória e obtemos uma idéia criativa, e começava a modelar em computadores o processamento de informações que estaria por detrás destes processos. Seu trabalho também era inspirado pelos erros que nós humanos cometemos frequentemente—de fato, todo o trabalho de seu estudante de Doutorado David Moser,

e toda a sua teoria sobre humor humano emergiu do estudo de erros e “slips of tongue”. Um artigo inicial em que Hofstadter explora a riqueza do erro humano intitulava-se “To Err is Human; to Study Error-Making is Cognitive Science”.

Eu considero esta tese, juntamente com a de Paulo Brum, como os trabalhos científicos mais significativos advindos de meus estudantes ao longo dos últimos 5 anos. Pela primeira vez, uma ligação direta é feita entre os trabalhos de Kahneman com os trabalhos de Hofstadter. A teoria de dois sistemas postulada por Kahneman é questionada e desenvolvida de uma forma mais precisa, explicitando-se cada passo ocorrido numa determinada trajetória de pensamento, e quais os mecanismos que trazem à tona os aparentes sistemas 1 e 2. O que, antes desta tese, é tratado como uma caixa preta, agora pode ser visto meticulosamente, e o sistema 1 é descrito cientificamente, pela primeira vez, como uma “prematura convergência de entropia”. Jarbas levou a discussão para um nível bem mais profundo do que é corrente na literatura—e espero que a mesma o reconheça eventualmente como um *decision scientist* inovador, embora não espere que isto ocorra imediatamente.

Jarbas Silva é, pura e simplesmente, um *maverick*, é alguém que exibe grande independência em pensamento e ação, recusando-se em conformar-se com padrões estabelecidos. Creio que o título desta tese demonstra muito mais do que eu poderia descrever aqui. Lembro-me de nossa primeira conversa, em que ele demonstrou que estava interessado em fazer algo diferente. Temos hoje o produto deste longo e silencioso esforço, e o trabalho agora volta-se para a publicação e divulgação da tese. Algumas pessoas, como Daniel Defays (Université de Liège) e Shane Frederick (Massachusetts Institute of Technology) já estão interessadas em saber o que há por trás de todos os emails trocados ao longo deste período. Assim que tivermos a versão final em inglês, o trabalho será enviado para ambos, assim como para Hofstadter e Kahneman, que muito inspiraram o que foi feito aqui.

*Sobre o que é esta tese?* Esta é provavelmente a pergunta que aqueles que leem apenas o título terão em mente. É uma boa pergunta. Certamente não é sobre o preço de uma determinada bola—apesar de, na superfície, numa leitura míope, possa parecer que seja. Não é uma tese sobre economia, mas sua teoria pode ser crucial para melhor compreendermos economia e desenvolvermos novas teorias baseadas numa base mais

realista. Talvez seja possível até mesmo o desenvolvimento de novos modelos matemáticos na economia com a inclusão de pressupostos mais realistas sobre o “agente racional”.

Eu vejo esta tese como central para as diversas áreas que compõem as ciências da decisão, como psicologia, economia, computação, lógica, filosofia, matemática aplicada, e *management science*. No coração desta tese estão as ciências cognitivas, e espero que vejamos o impacto deste trabalho gradualmente aparecer na literatura internacional.

O Filósofo Karl Popper alterou profundamente nossa visão de ciência ao argumentar que teorias não podem ser comprovadas empiricamente com mais dados, mas podem ser imediatamente refutadas com a observação de um único dado que seja incompatível com suas previsões. A percepção de Popper fez com que se pudesse distinguir o que é uma proposição científica de áreas como o Marxismo, a Psicanálise, ou “Cristian Science”, as quais possuem proposições que não podem ser refutadas empiricamente.

A caixa preta denominada sistema 1 (intuição) apresentada por Kahneman não pode ser refutada empiricamente. A teoria de Jarbas, na forma de uma potencial trajetória e a interação entre mecanismos específicos, e na forma de proposições como “convergência prematura de entropia”, pode. Isto faz com que eu veja seu trabalho como uma valiosa contribuição à literatura.

A administração vive permeada de autores que proclamam teorias sobre intuição. O que é intuição? Porquê a intuição pode nos levar a erros como os identificados por Kahneman e Tversky? Quais os mecanismos e variáveis que regem a intuição? A administração precisa de pesquisadores que desenvolvam teorias científicas, potencialmente refutáveis, sobre a intuição humana.

Se queremos responder a estas perguntas, temos um longo caminho a percorrer. Um horizonte inexplorado, que desrespeita fronteiras míopes entre disciplinas. Uma coisa é certa: se estamos em busca de uma teoria séria, científica, para compreender a intuição humana, vamos precisar de *Mavericks*.

É com prazer que convido o leitor desta tese para explorar as idéias e proposições de um deles.

Alexandre Linhares  
Novembro, 2005



ÍNDICE

**Capítulo 1. Introdução ..... 11**

1.1 Quanto custa a bola?..... 11

1.2. O programa de pesquisa em Heurísticas e Vieses ..... 12

1.2.1 O prêmio Nobel de Kahneman ..... 12

1.2.2 Teoria dos Dois Sistemas Cognitivos..... 13

1.3 O objetivo da tese ..... 16

**Capítulo 2. Sistemas 1 e 2, acessibilidade, heurísticas e vieses, e o cognitive reflection test ..... 18**

2.1 Acessibilidade..... 19

2.2 Heurísticas e Viéses e o estudo dos erros ..... 20

2.3 Cognitive Reflection Test – CRT ..... 23

**Capítulo 3. Postulando mecanismos subcognitivos ..... 25**

3.1 Pressupostos, trabalhos anteriores, e metodologia ..... 26

3.2 Símbolos ativos, impulsos, memória de trabalho, e temperatura. .... 30

3.2.1 Símbolos ativos..... 31

3.2.2 Impulsos e sua implementação por codelets..... 32

3.2.3 Memória de trabalho..... 32

3.2.4 Temperatura..... 33

3.3 Processo sobre um problema system 2. .... 34

3.3 Processo no problema system 1 ..... 39

3.4 Uma primeira observação sobre a interação entre intuição e razão ..... 44

3.5 Discussão ..... 44

**Capítulo 4. A evidência científica envolvida no modelo postulado ..... 46**

4.1 O modelo é factível de simulação? O sistema NUMBO. .... 46

4.1.1 NUMBLE - O jogo ..... 46

4.1.2 NUMBO em um problema System 2 ..... 49

4.1.3 NUMBO em um problema System 1 ..... 51

4.1.4 Os mecanismos de NUMBO: Pnct, *codelets*, citoplasma, *coderack* e temperatura ..... 53

4.2 Discussão ..... 61

**Capítulo 5. Conclusões e pesquisas futuras..... 62**

**Capítulo 6. Referências ..... 67**

**Capítulo 7. Anexo I – Resultados Preliminares do Experimento..... 70**

**Capítulo 8. Anexo II – Experimento de Frederick ..... 72**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Efeitos de Framing (Kahneman, 2003) .....	12
Figura 1.2 Processo e Conteúdo em dois sistemas cognitivos (Kahneman, 2003) .....	15
Figura 1.3 Abrindo a caixa-preta.....	17
Figura 2.1. Bongard Problem BP#64.....	20
Figura 3.1 As relações entre <i>Programa x Processo</i> .....	28
Figura 3.2 Uma bola e um taco custam 390 no total. ....	34
Figura 3.3 O taco custa 170 a mais do que a bola .....	35
Figura 3.4 Símbolos Ativos.....	36
Figura 3.5 O Problema é System 2. ....	37
Figura 3.6 Quanto é 390-170? .....	38
Figura 3.7 O racional toma o controle.....	39
Figura 3.8 Uma bola e um taco custam 110 no total. ....	40
Figura 3.9 O taco custa 100 a mais do que a bola. ....	41
Figura 3.10 Como a ativação do nó 100 aumentou no passo anterior.....	42
Figura 3.11 Quanto custa a bola? .....	43
Figura 4.1 No instante em que o target 87 é lido.....	50
Figura 4.2 No instante em que o target 25 é lido.....	52
Figura 4.3 Um trecho da Pnet do Numbo (Defays, 1995, p.136).....	55
Figura 7.1 ANOVA da versão <i>system 1</i> do problema do “taco e da bola”.....	70
Figura 7.2 Estatística descritiva da versão do <i>system 1</i> “taco e da bola” .....	70
Figura 7.3 Percepção média da versão <i>system 1</i> do “taco e da bola”.....	70
Figura 7.4 Chi-Square do “taco e da bola” com variações dos parâmetros.....	71
Figura 7.5 Frequências do teste Chi-Square do “taco e da bola”. ....	71
Figura 8.1 Mean Score CRTs (Frederick, 2005). ....	72

Se um taco e uma bola custam R\$110, e o taco custa R\$100 a mais do que a bola, quanto custa a bola?

## Capítulo 1. Introdução

### 1.1 Quanto custa a bola?

– “... 10 reais?!?!?”, seguido de um olhar curioso.

Esta é a recente resposta de uma Professora Doutora em Engenharia pela Unicamp, (e Mestre e Bacharel em Matemática pela USP); assim como é a resposta de 50% dos alunos de Princeton e 56% dos alunos de Michigan questionados (Kahneman 2003). As pessoas têm a tendência de, no impulso, responderem R\$10, sem se darem conta que, neste caso, o taco não estaria custando R\$100 a mais do que a bola e totalizando R\$110. Algo ocorre no processamento de informações das pessoas que as levam à resposta impulsiva, automática. E errada—a bola custa R\$5. Este é apenas um pequeno e intrigante exemplo de uma série de problemas, advindos do programa de pesquisa em vieses e heurísticas humanas na tomada de decisões. Muito mais do que estudos de “pegadinhas”, esta linha de pesquisas trouxe à tona a incrível influência que a intuição exerce sobre a tomada de decisões, culminando com o recente prêmio Nobel de Economia concedido ao Prof. Daniel Kahneman, em 2002.

O objetivo desta tese é investigar cuidadosamente a *interação entre a intuição e a razão*, propondo um novo modelo cognitivo que explicaria a existência, interação e comportamento dos chamados “dois sistemas” que, supõe-se, coabitem a mente humana. O modelo que postularemos abaixo integra e explica estes dois sistemas; e o sistema NUMBO derivado dos projetos de Hofstadter (1995)—descrito no capítulo 4—é capaz de demonstrar sua plausibilidade psicológica e sua factibilidade de modelagem e simulação em uma arquitetura computacional.

## 1.2. O programa de pesquisa em Heurísticas e Vieses

Nesta seção vamos fazer uma breve revisão da literatura de vieses e heurísticas e detalhar o objetivo da tese. Podemos começar com o trabalho que rendeu o prêmio Nobel de Economia a Kahneman, por seus trabalhos em parceria com Amos Tversky (que lamentavelmente havia falecido no momento da premiação).

### 1.2.1 O prêmio Nobel de Kahneman

Considere o seguinte problema:

Imagine that the United States is preparing for the outbreak of an unusual Asian disease, which is expected to kill 600 people. Two alternative programs to combat the disease have been proposed. Assume that the exact scientific estimates of the consequences of the programs are as follows:

#### Decision 1

Program A → 200 people will be saved.  
Program B → there is a one-third probability that 600 people will be saved and a two-thirds probability that no people will be saved.

#### Decision 2

Program A → 400 people will die.  
Program B → there is a one-third probability that nobody will die and a two-thirds probability that 600 people will die.

**Figura 1.1** Efeitos de Framing (Kahneman, 2003)

Tversky e Kahneman (1981) aplicam estes dois diferentes questionários da figura 1.1, em que as pessoas têm que tomar uma decisão sobre um programa A ou B. O que é surpreendente é que, apesar das descrições dos programas serem logicamente, e matematicamente, idênticas, *a forma com que as mesmas são percebidas é distinta*. Os respondentes sobre a “Decisão 1” preferem o programa A, enquanto os respondentes sobre a “Decisão 2” preferem o programa B. *Objetivamente*, trata-se do mesmo problema, *subjetivamente*, não. Inúmeros outros exemplos mostram como as

associações percebidas intuitivamente (no que vamos chamar de system 1) afetam a tomada de decisões<sup>1</sup>.

Duas conclusões do trabalho de Kahneman e Tversky foram extremamente influentes para a teoria econômica: (i) as pessoas são mais propensas a risco quando percebem situações em termos de perdas; e (ii) a função utilidade do agente econômico é *dependente* da riqueza, enquanto o modelo clássico de Bernoulli (1954) propunha que a função utilidade do agente econômico seria independente da referência (em relação à riqueza do agente). Os resultados advindos da psicologia exigiram uma grande revisão da teoria clássica.

Como estes problemas estão relacionados à intuição e à razão, vamos revisar algumas idéias da psicologia que tratam a cognição humana como dois sistemas distintos.

### 1.2.2 Teoria dos Dois Sistemas Cognitivos

Em muitas situações, nos deparamos com decisões e escolhas, nas quais ainda que *logicamente* a resposta (ou melhor alternativa) seja simples e inambígua, permanecemos em uma situação de conflito, pois *intuitivamente* a resposta (ou melhor alternativa) parece ser outra. Sloman (1996) descreve, dentre outros exemplos, o conflito entre intuição e razão que um consumidor enfrenta, quando deve decidir entre um produto que tem uma marca forte e uma longa experiência de uso—o qual apela para sua intuição e acessa memórias passadas; versus um produto genérico com a mesma composição e um preço mais baixo—o qual apela para sua razão. Este tipo de conflito entre razão e intuição tem sido usado na literatura de heurísticas e vieses do julgamento

---

<sup>1</sup> Vamos aqui ver mais dois exemplos, e o leitor interessado pode encontrar muitos outros nas referências deste estudo. Um simples é: “Você entraria em um jogo com 60% de chances de perder?”, onde a maioria responde “não”, versus “Você entraria em um jogo com 40% de chances de ganhar?”, onde a maioria responde “sim”. Outro exemplo, mais interessante: (Questionário A) “*Você aceitaria esta aposta? (i) 50% de chances de ganhar \$150 e 50% de chances de perder \$100? Você mudaria de opinião caso fosse \$100 mais pobre?*” No questionário A, poucas pessoas aceitam a aposta; e a resposta para a segunda questão é negativa. O outro questionário é, novamente, *matematicamente idêntico*, mas a decisão é justamente a contrária. (Questionário B) “*O que você escolheria? (i) Perder \$100 com 100% de certeza, ou uma chance de 50% de ganhar \$50 e 50% de perder \$200? Você mudaria de opinião caso fosse \$100 mais rico?*” Neste caso, a aposta parece muito mais atrativa do que a perda certa, e é o que a ampla maioria decide por realizar. Novamente, as pessoas dizem que não mudariam de posição caso fossem \$100 mais ricas—note que esta última pergunta faz os dois questionários matematicamente equivalentes.

humano como uma evidência de que a mente humana é controlada por dois grandes sistemas (Kahneman, 2003; Kahneman e Frederick, 2002; Sloman, 1996, 2002; Stanovich e West, 2000, 2002).

Por que o número dois? Gilbert (1999) explora esta questão argumentando que a única quantidade de sistemas cognitivos que não se pode aceitar em tese seria um, já que a grande variabilidade de comportamentos exibidos pelos seres humanos não poderia ser explicada por um único sistema cognitivo:

*“Indeed, the only number they would not happily accept is one, because claims about dual processes in dry psychology are not so much claims about how many processes there are, but claims about how many processes there aren’t. And the claim is this: There aren’t one. And why not? Because people are capable of too many different things – capable of being foolish one moment and wise the next, capable of behaving intransigently and then credulously in turn, capable of believing the right thing with their whole hearts while saying precisely the wrong thing with their whole mouths, and so on. The sheer variety of an individual’s behavior is perhaps the first and most inescapable observation one can make about a person, and such variety seems to cry out for explanation. “How could you be so stupid?” we ask – never of those who are stupid, but rather of those whose momentary stupidity stands in stark relief against the background of their typical cleverness. What could possibly give rise to the diversity of thought, feeling, and action of which most people are naturally possessed? Plato suggested that complex behavior is best understood as the product of the interaction of less complex faculties and some form or another of this “homuncular functionalism” has been the favorite explanatory strategy of philosophers and psychologists for the roughly 2,000 years since. Indeed, it is almost a truism in modern psychology that “the explanation of mental phenomena must always reside in the interaction and organization of multiple parts”. An inventory of those multiple parts – cognition and emotion, reason and intuition, automaticity and control, consciousness and unconsciousness, ego and id – provides a natural history of psychology’s attempts to explain the complexity of the individual.” (Gilbert 1999, p.4)*

A teoria dos dois sistemas cognitivos (intuição e razão, basicamente), embora possua muitas nomenclaturas, tais como *teoria dos dois processos* (Chaiken & Trope, 1999), *Sistema 1 e Sistema 2* (Stanovich e West, 2000), ou ainda *sistema associativo e sistema baseado em regras* (Sloman, 1996), não nos deixa muitas dúvidas quanto às características dos dois sistemas (vide figura 1.2). Porém a *teoria dos dois processos* na psicologia social possui uma diferença chave em relação à teoria de dois sistemas—quanto ao esforço alocado no processamento da informação: a teoria de dois processos define que as pessoas, intencionalmente, usam procedimentos de menor esforço para tomar decisões menos importantes ou menos estimulantes, e utilizam procedimentos mais elaborados para tratarem decisões mais importantes. A teoria dos dois sistemas, por outro lado, define que os sistemas funcionam em paralelo e influenciam qualquer tipo de decisão, *independentemente da importância ou motivação* relacionada com o

tema em questão (Gilovich e Griffin, 2002). Como este não é um trabalho de psicologia social, estamos lidando apenas com a teoria de dois sistemas.

É importante ressaltar que o conceito de sistema utilizado aqui é o mesmo de Kahneman e Frederick (2002, p.51), definido como “coleção de processos que são caracterizados por sua velocidade, controlabilidade e conteúdo com o qual operam”. O Sistema 1 (intuição) é responsável por operações cognitivas que são rápidas, paralelas, automáticas, associativas, sem esforço; enquanto o Sistema 2 (razão) executa operações cognitivas mais lentas, seriais, deliberadas, controladas e baseadas em regras. Para uma descrição mais detalhada das funcionalidades dos dois sistemas, ver figura 1.2 e a discussão no Capítulo 4.

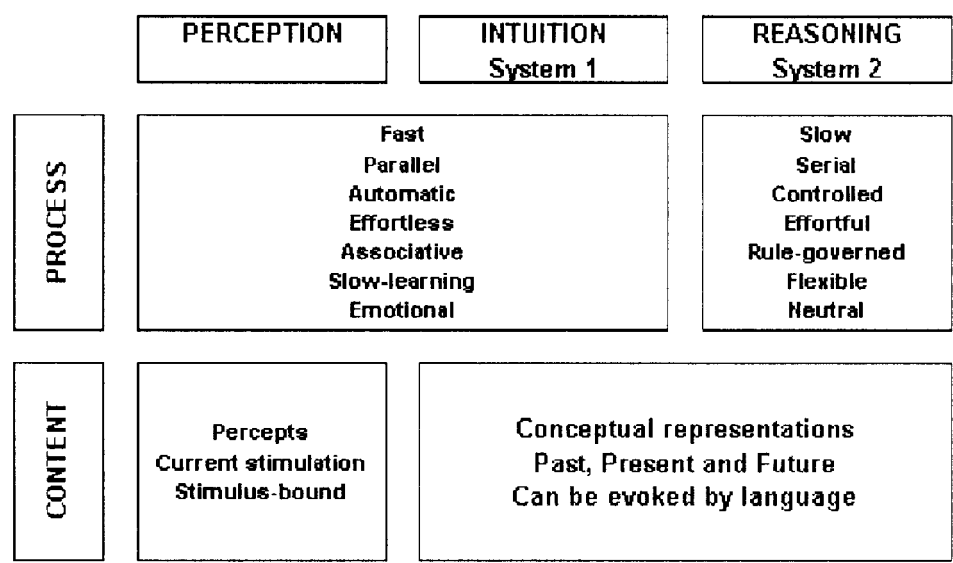


Figura 1.2 Processo e Conteúdo em dois sistemas cognitivos (Kahneman, 2003)

Esta é a figura essencial de nosso trabalho. Como estes sistemas interagem? O que há por dentro destas caixas-pretas? Como um cérebro formado essencialmente por estruturas similares como neurônios e sinapses têm uma distinção tão modular entre dois sistemas? Para usar o termo de Gilbert, este seria o melhor “inventário” possível da mente humana? Se Kahneman define sistema como “coleção de processos”, quais são os processos inerentes à cada sistema? Chalmers et. al (1992), Hofstadter (1995) e Linhares (2000) argumentam que não há como haver uma separação clara entre

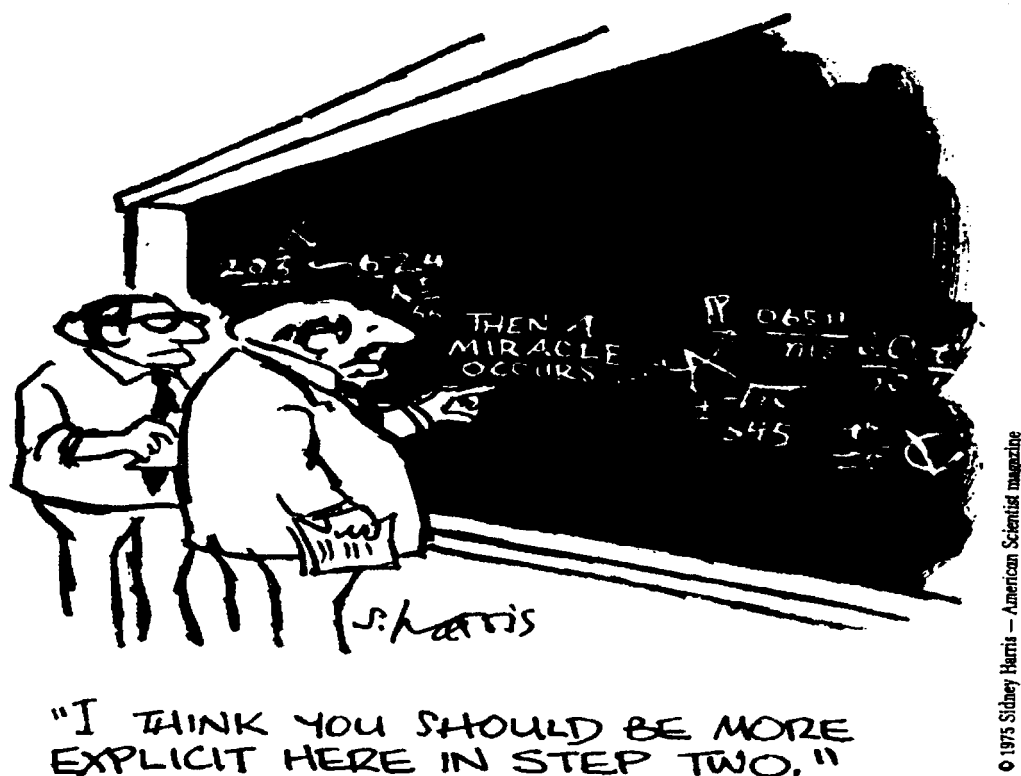


“percepção” e “razão” na mente humana; caso este argumento esteja correto, como pode haver uma separação tão clara entre “intuição” e “razão”?

Uma outra crítica: o *framework* apresentado na figura 1.2 é um modelo científico? Realiza previsões que podem ser refutadas? A resposta é não, não há previsões que possam ser refutadas empiricamente ou, ainda, *em princípio*. Retornaremos a esta figura inúmeras vezes ao longo do texto.

### 1.3 O objetivo da tese

Se o leitor permite, a charge da figura 1.3 caricatura e sumariza o objetivo de nossa tese. No que concerne à figura 1.2, de dois sistemas distintos, nos parece que aquele *framework* não é um modelo explícito, científico, e capaz de ser refutado. Nossa perspectiva é de que o modelo proposto na Figura 1.2 é apenas um “*rough draft*” do que ocorre na mente humana, e deve ser explicitado em um nível de detalhes consideravelmente maior. Nosso objetivo na tese será detalhar mecanismos precisos, não ambíguos, e potencialmente refutáveis, sobre os sistemas 1 e 2. Vamos usar variações do problema da bola e do taco para ilustrar como o processo pelo qual as pessoas passam pode se dar. Na seção 4, vamos mostrar que estes mecanismos postulados já existem, e, portanto, são perfeitamente plausíveis de simulação em uma arquitetura computacional cognitiva. Vamos também recorrer a resultados da psicologia experimental para validar a plausibilidade psicológica dos mecanismos propostos.



**Figura 1.3** Abrindo a caixa-preta: a proposta desta tese é ser “mais explícita” sobre o que ocorre nos sistemas 1 e 2.

A contribuição desta tese é portanto explicitar as “coleções de processos” que estão operando em cada “caixa-preta” do sistema 1 ou sistema 2. Desta forma, pretendemos dar um pequeno passo na direção de teorias mais elaboradas sobre intuição e razão.

No Capítulo 2, vamos discutir o programa de heurísticas e vieses de Kahneman e Tversky, e detalhar a teoria dos “dois sistemas”; no Capítulo 3 vamos apresentar os resultados preliminares do experimento realizado, bem como propor um modelo cognitivo computacional integrado, postulando um conjunto de mecanismos que interagem, gerando comportamentos associados ao sistema 1 e ao sistema 2, conforme as respostas obtidas no nosso experimento e no de Frederick (2005). No Capítulo 4, vamos demonstrar que os mecanismos postulados são psicologicamente plausíveis e factíveis de simulação, pois já existem em um sistema denominado NUMBO. No Capítulo 5, vamos concluir o estudo, retomando as principais proposições que nortearam o trabalho e apontando para novas linhas de pesquisa que se abrem .

## **Capítulo 2. Sistemas 1 e 2, acessibilidade, heurísticas e vieses, e o cognitive reflection test**

Muitas arquiteturas cognitivas têm sido propostas para explicar o relacionamento entre o Sistema 1 e o Sistema 2 (para detalhes de alguns modelos, ver Gilbert, 1999), porém, neste trabalho, nos deteremos ao “*framework*” proposto por Kahneman e Frederick (2002). No referido modelo, “o Sistema 1 rapidamente propõe respostas intuitivas às questões de julgamento logo que as mesmas surgem, e o Sistema 2 monitora a qualidade das respostas propostas, as quais pode confirmar, corrigir ou ignorar” (Kahneman e Frederick, 2002, p.51). O algoritmo abaixo proposto por Kahneman (2003) sugere 5 maneiras nas quais um julgamento ou escolha pode ser feita:

1. Um julgamento intuitivo ou intenção é iniciado pelo Sistema 1, e :
  - a. Confirmado pelo Sistema 2;
  - b. Ajustado (insuficientemente) por outros atributos que são reconhecidos como relevantes;
  - c. Corrigido devido à identificação explícita de um viés; ou
  - d. Identificado como violador de uma regra subjetiva clara e tem sua expressão bloqueada.
2. Nenhuma resposta intuitiva vem à mente e o julgamento é computado pelo Sistema 2.

Segundo Kahneman (2003), embora seja difícil dizer com precisão em que frequência cada uma das possibilidades de julgamento ocorre, observações sugerem que os casos 1.a e 1.b são os mais comuns, enquanto o caso 1.d é o mais raro.

É importante salientar que este *efeito corretivo* do Sistema 2 pode sofrer impactos de pressões de tempo, do humor do respondente, inteligência, exposição ao pensamento estatístico, do período de execução da tarefa (pela tarde por pessoas que preferem a manhã e vice-versa), de formulações que deixem mais ou menos aparente a aplicação de uma regra, e da sobrecarga cognitiva de outras tarefas paralelas (Kahneman, 2003; Kahneman e Frederick, 2002). Desta maneira, o efeito corretivo do Sistema 2 é um tanto quanto leve, de forma que muitos julgamentos intuitivos acabam sendo expressos, inclusive os errados. Já o Sistema 1 é mais rápido, mais “eficiente”, e menos sensível a tais influências.

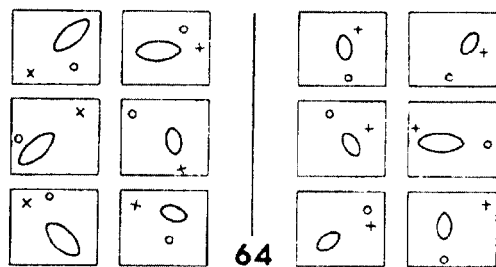
No modelo proposto por Kahneman e Frederick (2002), os dois sistemas cognitivos trabalham de forma concorrente, e operações cognitivas automáticas e controladas competem entre si pela expressão da resposta correta; muito embora julgamentos intencionais sempre permaneçam ancorados pelas impressões iniciais geradas pelo Sistema 1, opinião também partilhada por Sloman (1996). O último autor sugere que esta interação entre os dois sistemas é o que torna possível, por exemplo, a habilidade em disciplinas tais como matemática e direito, que exigem um misto de criatividade e aplicação rigorosa de regras.

É importante ressaltar que nem sempre o julgamento intuitivo, gerado pelo Sistema 1, está associado à baixa performance. Kahneman e Frederick (2002) afirmam que, com o aumento da experiência, atividades que seriam realizadas pelo Sistema 2, tais como, por exemplo, a habilidade de perceber posições de ataque e defesa em uma posição de xadrez, podem migrar para o Sistema 1 e passar a fazer parte do arsenal de julgamentos intuitivos da pessoa (Kahneman, 2003, p.700). Isso nos leva ao conceito de *acessibilidade*.

## **2.1 Acessibilidade**

Um conceito chave para o “*framework*” de Kahneman e Frederick é a acessibilidade, ou seja, a facilidade ou esforço com que um conteúdo em particular (conceito, idéia, etc) vem à mente. A acessibilidade pode ser caracterizada pelo mecanismo cognitivo que a produziu, bem como pelos estímulos e eventos que a fazem emergir. Segundo Kahneman (2003), os determinantes da acessibilidade de uma informação estão relacionados com as noções de saliência do estímulo, atenção seletiva, treinamento específico ou experiência, ativação associativa temporária e ordenamento ou frequência de aparição da informação. A acessibilidade é considerada como uma das heurísticas de avaliação natural (Tversky e Kahneman, 1983) utilizadas pelos seres humanos tais como causalidade, disponibilidade e representatividade ou similaridade, e, portanto, também é automaticamente registrada pelo Sistema 1.

Um domínio que ilustra de uma forma bem interessante o conceito de acessibilidade são os *Bongard Problems*, criados pelo psicólogo russo Mikhail Moiseevich Bongard (Bongard; 1970), que consistem em problemas de reconhecimento de padrões visuais, nos quais a tarefa é encontrar um aspecto abstrato de distinção entre duas classes de figuras (ver Figura 2.1).



**Figura 2.1.** Bongard Problem BP#64. [de M.M. Bongard, Pattern Recognition, Spartan Books, 1970.]

Segundo Linhares:

*“Problem BP#64 would indeed be very easy for an experienced sonar operator used to seeing ovals as submarines, crosses as mines, and small circles as whales. This operator would conclude instantly that on class 1 the submarines head towards the mines, while on class 2 the submarines head towards the whales. Note that, though there are no submarines, mines or whales involved, for this person it is impulsive to perceive the ovals as submarines, and unnatural to perceive them as ovals, simple geometric figures. The previous experience demands that from such a sonar operator, and, in this case, as soon as he or she tracks the “path of the submarine”, the answer to the problem emerges. An ordinary person would have no special reason for tracking such path, and could thus face a harder problem.”*  
 Linhares (2000, p.253).

Kahneman (2003) explica que a aquisição de experiência e habilidade, seletivamente, aumenta a acessibilidade de respostas mais plausíveis a um problema e de maneiras mais produtivas de organizar a informação. Desta forma, no BP#64 a percepção que um operador de sonar tem do problema é orientada basicamente pela sua experiência anterior e treinamento específico, que determinam como a informação será organizada, bem como pela ativação associativa entre os símbolos do problema e seu contexto de trabalho. O hipotético operador de sonar nos traz mais um exemplo de tarefa do sistema 2 que migra para o sistema 1.

## 2.2 Heurísticas e Viéses e o estudo dos erros

Os estudos dos erros sistemáticos do julgamento humano e da escolha têm sido a ferramenta de trabalho utilizada por pesquisadores na área de heurísticas e vieses do julgamento intuitivo e racional para identificar os processos psicológicos que estão subjacentes a tais julgamentos. Segundo Kahneman e Tversky:

“Há três razões relacionadas para o foco em erros sistemáticos e vieses de inferência no estudo da racionalidade. Primeiro, eles expõem algumas de nossas limitações intelectuais e sugerem maneiras de melhorar a qualidade de nosso pensamento. Segundo, erros e vieses sempre revelam os processos psicológicos e as heurísticas que governam o julgamento e a inferência. Terceiro, erros e falácias auxiliam no mapeamento das intuições humanas indicando quais princípios de estatística ou lógica são não-intuitivos ou contra-intuitivos.”  
Kahneman e Tversky (1982b, p.494)

A idéia central do programa de Heurísticas e Vieses é que o julgamento em situações de incerteza, muito frequentemente, é baseado em um número limitado de heurísticas que simplificam a tomada de decisão, ao invés de estar fundamentado em regras formais ou em processamento extensivo de algoritmos (Gilovich e Griffin, 2002). Por outro lado, estas mesmas heurísticas que simplificam a vida do decisor e resultam em boas estratégias, também produzem erros sistemáticos, que se tornaram o objeto de estudo do programa.

Os primeiros estudos do programa de Heurísticas e Vieses estavam centrados na idéia de que os princípios da probabilidade não fazem parte do arsenal de intuições dos seres humanos (Kahneman e Tversky, 1982b). Talvez o experimento mais famoso e mais intrigante do programa de Heurísticas e Vieses tenha sido o “Linda Problem” (Tversky e Kahneman, 1982, 1983, 2002), que consiste na definição de um estereótipo, contra o qual deve ser confrontado a probabilidade do personagem (Linda) pertencer a uma das categorias profissionais listadas. O experimento evidencia como os julgamentos de probabilidade são realizados usando a heurística da representatividade, o que significa julgar a probabilidade de ocorrência de um evento  $P$  como sendo a avaliação do grau de correspondência entre uma amostra e a população, uma instância e a categoria, um ato e um ator, ou mais genericamente um resultado e o modelo (Tversky e Kahneman, 2002).

*Linda is 31 years old, single, outspoken and very bright. She majored in philosophy. As a student, she was deeply concerned with issues of discrimination and social justice, and also participated in anti-nuclear demonstrations.*

*Linda is a teacher in elementary school.*

*Linda works in a bookstore and takes Yoga classes.*

*Linda is active in the feminist movement. (F)*

*Linda is a psychiatric social worker.*  
*Linda is a member of the League of Women Voters.*  
*Linda is a bank teller. (T)*  
*Linda is an insurance salesperson.*  
*Linda is a bank teller and is active in the feminist movement. (T∩F)*

O objetivo do experimento era provar a existência do viés definido como Falácia da Conjunção, no qual verifica-se o contraste entre a lógica extensional da teoria das probabilidades  $P(T \cap F) \leq P(F)$  e os princípios psicológicos da representatividade (Tversky e Kahneman, 2002). Pode ser visto que o perfil de Linda foi construído para ser representativo para uma feminista ( $F$ ) e não representativo para uma caixa de banco ( $T$ ), porém os resultados mostraram que a esmagadora maioria dos respondentes marcam ( $T \cap F$ ) como sendo mais provável que ( $F$ ), provando, desta maneira, que os julgamentos realizados por representatividade não respeitam a regra da conjunção. Até Ph.D.s em estatística “caem” na falácia (Para maiores detalhes deste clássico experimento, ver Tversky e Kahneman, 1982, 1983, 2002).

Mais recentemente, Kahneman e Frederick (2002) citaram a utilização de *puzzles* para o estudo do processo de *monitoração do Sistema 2 sobre os julgamentos do Sistema 1*. Segundo eles, tal supervisão não é rígida e permite que muitos julgamentos intuitivos sejam expressos, inclusive os errôneos. Para tal estudo, o segundo autor tem utilizado *puzzles*, como o que intitula esta tese, e verificado que a grande maioria dos respondentes tem uma tendência inicial em responder “10 cents”, devido ao fato de que \$1 e 10 centavos são magnitudes exatas (Frederick usa os valores US\$1.10 e US\$1.00, o que não altera o resultado obtido nos questionários—Kahneman e Frederick, 2002, Frederick, 2005). Os resultados encontrados em tal *puzzle* são surpreendentes, demonstrando que muitas pessoas inteligentes têm o impulso imediato de responder 10 centavos, confiando no primeiro julgamento plausível que vem à mente (Kahneman, 2003).

Shane Frederick (correspondência pessoal, 2004) nos explicou que tal *puzzle* faz parte de um domínio de problemas que ele desenvolveu com o intuito de medir o nível de auto-monitoração cognitiva—monitoração do Sistema 2 sobre o Sistema 1—e ao qual denominou Cognitive Reflection Tests (CRT). O mesmo é formado de três problemas clássicos Sistema 1, incluindo o descrito acima (ver mais detalhes na seção 2.3).

### 2.3 Cognitive Reflection Test – CRT

Os CRTs foram criados por Frederick após um resultado—descrito na seção 2.2—obtido acidentalmente durante um experimento sobre o efeito das emoções em decisões intertemporais. Ele, então, percebeu que aqueles que responderam 10 cents no problema do “taco e da bola” eram diferentes daqueles que responderam 5 cents. Baseados em várias medidas de preferências temporais usadas no experimento, percebeu que os primeiros eram menos pacientes do que os últimos. Desta maneira, intrigado com o resultado, desenvolveu mais dois problemas que, juntamente com o do “taco e da bola”, compuseram o Cognitive reflection Test:

(1) A bat and a ball cost \$1.10 in total. The bat costs a dollar more than the ball. How much does the ball cost?

\_\_\_\_cents

(2) If it takes 5 machines 5 minutes to make 5 widgets, how long would it take 100 machines to make 100 widgets?

\_\_\_\_minutes

(3) In a lake, there is a patch of lily pads. Every day, the patch doubles in its size. If it takes 48 days for the patch to cover the entire lake, how long would it take for the patch to cover half of the lake?

\_\_\_\_days

O Cognitive Reflection Test tem o objetivo de medir a capacidade de resistência ao impulso inicial de dar vazão à primeira idéia que vêm à nossa mente, quando estamos diante de um problema. Por exemplo, para conseguir responder de forma correta os três problemas acima (5 cents, 5 minutes e 47 days) é preciso suprimir as respostas impulsivas—System 1—que automaticamente são disparadas em nossa mente (10 cents, 100 minutes, 24 days).

Frederick, então, elaborou um novo experimento com o objetivo de medir quão as habilidades cognitivas (medidas pelo Cognitive Reflection Test e comparadas com outros testes existentes – SAT, NFC, ACT, WPT) estão correlacionadas com as



preferências temporais e as preferências de risco<sup>2</sup> – duas características que têm um papel central nas pesquisas sobre ciências da decisão realizadas por psicólogos e economistas (Frederick, 2005). O estudo se diferencia dos demais ao tentar identificar os tipos de decisões intertemporais sobre os quais a habilidade cognitiva exerce influência; ao relacionar a habilidade cognitiva com as preferências de risco; e ao introduzir uma métrica simples, rápida de aplicar, e com grande capacidade preditiva.

O experimento foi composto por uma série de 34 estudos conduzidos em dez localidades durante o período de 22 meses, de 31 de janeiro de 2003 a 1 de dezembro de 2004. Foi utilizada uma amostra total de 3235 respondentes, formados principalmente por alunos de graduação e mestrado, distribuídos nas seguintes universidades: Massachusetts Institute of Technology (MIT), Harvard University (HAR), Princeton University (PTN), Carnegie Mellon University (CMU), Michigan State University (MSU), University of Michigan at Ann Arbor (UM), University of Michigan at Dearborn (UMD), and the University of Toledo (UTO). Também foram realizados dois estudos on-line realizados na Web em algumas universidades do nordeste dos EUA<sup>3</sup> (ver um resumo dos resultados no Apêndice II).

---

<sup>2</sup> A medida de preferência ao risco utilizada envolve a escolha entre uma ocorrência certa e uma probabilidade de ocorrência com maior valor esperado – perda ou ganho. Já a medida de preferência temporal utilizada envolve a escolha entre um retorno imediato menor ou um retorno maior, porém postergado.

<sup>3</sup> Os três problemas do CRT foram distribuídos ao longo dos questionários juntamente com outras questões que definiam os construtos preferência temporal e preferência de risco, de forma a evitar que o respondente percebesse algum tipo de padrão de resposta entre os três problemas. A análise dos dados foi realizada tendo por base dois grupos extremos: os que acertaram os três CRTs e obtiveram pontuação 3, classificados como “A”, e aqueles que erraram os três e obtiveram pontuação 0, classificados como “D”. Segundo o autor, tal foco nos dois grupos extremos simplifica a exposição e análise, tendo pouco efeito nas conclusões gerais (Frederick, 2005).

Seguem abaixo alguns dos principais resultados obtidos pelo experimento (para maiores detalhes sobre a metodologia, bem como da análise, discussão, e comparação dos resultados obtidos com outras medidas de habilidade cognitiva, ver Frederick; 2005):

- No geral, os respondentes que obtiveram alto CRT (Grupo “A”) são mais pacientes nas suas decisões intertemporais;
- Em decisões intertemporais envolvendo recompensas monetárias com curto horizonte de tempo, o Grupo “A” também se mostrou mais paciente; enquanto em decisões similares com um longo horizonte de tempo, o CRT não apresentou nenhuma correlação com as preferências temporais;
- O CRT tem um efeito bem mais forte nas preferências temporais em mulheres do que em homens;
- Em comparação com outros testes de habilidade cognitiva utilizados no experimento (SAT, NFC, ACT, WPT), somente o CRT se correlaciona com as preferências temporais;
- Levando-se em conta todos os respondentes, a maioria prefere correr riscos (apostar) no domínio de perdas, o que está de acordo com a Teoria do Prospecto (Kahneman e Tversky, 1979);

### Capítulo 3. Postulando mecanismos subcognitivos

Ao tomarmos conhecimento da existência dos CRTs e da significativa força estatística dos resultados dos experimentos realizados por Frederick (2005), duas questões importantes vieram à tona, a saber:

1. Haveria diferença na percepção de dificuldade dos problemas entre aqueles que acertam os CRTs e os que erram?;
2. Qual o impacto dos parâmetros (valores) dos problemas nos resultados?  
Alterando os parâmetros dos problemas, também alteraríamos a percepção de dificuldade dos mesmos?

Para dirimir tais inquietações, estamos realizando uma série de experimentos com grupos de estudantes das áreas de administração, economia e engenharia, nos níveis de graduação e mestrado (Silva, 2005). A idéia do experimento é aplicar três tipos de questionários com variações do problema do “taco e da bola”, em conjunto com uma escala de 5 pontos - para identificar a percepção de dificuldade do problema - variando nas seguintes gradações: (1) *Muito Fácil*, (2) *Fácil*, (3) *Razoável*, (4) *Difícil* e (5) *Muito Difícil*. Cada questionário é respondido por um grupo de pessoas diferente. Até então, 96 pessoas responderam o questionário do tipo 1, que contém a versão *system 1* do problema do “taco e da bola”; 85 pessoas responderam o questionário tipo 2, que contém a versão *system 2* do problema; e 85 pessoas responderam o questionário tipo 3 com a versão trivial do problema. Estes questionários estão intercalados com outras questões, bem como com alguns Bongard Problems, para que o respondente não seja capaz de identificar qualquer padrão nas perguntas.

**System 1.** *Uma bola e um taco custam 110 no total. O taco custa 100 a mais do que a bola. Quanto custa a bola?*

- 
- Quando os dados são desagregados por CRT, o grupo “A” aposta mais no domínio de ganhos do que no de perdas, o que está de acordo com a Teoria da Utilidade Esperada.
  - No domínio das decisões em situação de incerteza, envolvendo a escolha entre um prospecto seguro ou de risco, o CRT foi tão preditivo quanto os outros testes de habilidade cognitiva utilizados como comparação – aqueles com maior pontuação tendem a serem mais tolerantes ao risco;
  - O CRT tem um efeito mais forte nas preferências de risco em homens do que em mulheres.

**System 2.** *Uma bola e um taco custam 390 no total. O taco custa 170 a mais do que a bola. Quanto custa a bola?*

**Trivial.** *Uma bola e um taco custam 3 no total. O taco custa 1 a mais do que a bola. Quanto custa a bola?*

Os resultados preliminares da ANOVA indicam que há diferença significativa na percepção de dificuldade do problema em sua versão *system 1* : erro intuitivo (*system 1*) -  $M = 1.93$ ; acertos -  $M = 1.53$ ; outros erros -  $M = 2.23$ ; com  $F = 2.787$  e  $p < 0.1$ ; onde  $M$  é a percepção média,  $F$  é o coeficiente da Distribuição F, e  $p$  é o nível de significância. Do mesmo modo, os resultados preliminares do teste Qui-Quadrado, entre os respondentes dos três tipos de questionários, indicam que existe diferença significativa na percepção de dificuldade do problema do “taco e da bola”, quando variamos os parâmetros:  $X^2 = 149.489$  e  $p < 0.0001$ ; onde  $X^2$  é o coeficiente da Distribuição Qui-Quadrado e  $p$  é o nível de significância (ver os resultados preliminares do experimento no Apêndice I). Estes experimentos serão estendidos para todos os CRTs, bem como para outros problemas do mesmo gênero (Silva, 2005).

Portanto, sabemos que as pessoas (em sua larga maioria) tendem a processar estes problemas de forma distinta. Neste capítulo vamos propor potenciais trajetórias de “pensamento” pelas quais as pessoas podem passar na solução destes problemas, e desta forma propor de forma detalhada como se dá a relação intuição—razão. É necessário um breve preâmbulo sobre a metodologia adotada, já que a mesma é relativamente recente e não é ainda amplamente difundida.

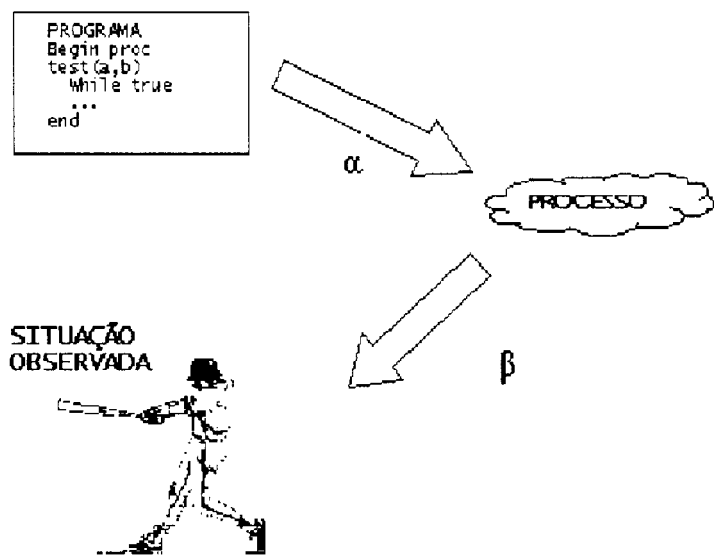
### 3.1 Pressupostos, trabalhos anteriores, e metodologia

A psicologia cognitiva pressupõe que nossas mentes são *processadoras de informação*. Há enorme evidência, convergente de distintas disciplinas, que a organização do cérebro é feita de tal forma a adequadamente processar informação capturada do ambiente. Apesar da mente humana processar informação de forma obviamente distinta à de computadores, e sob uma arquitetura extremamente distinta à de computadores, há um consenso científico que, assim como computadores, a mente humana cria

*representações*, i.e., estruturas complexas de informações que corresponderiam ao que estaria sendo considerado em um determinado instante de tempo. (Há intenso debate filosófico sobre a natureza de tais representações, e ainda outro debate filosófico sobre como representações poderiam estar conectadas com estruturas e objetos externos à mente humana – vide Smith, 1996).

Uma observação preliminar: quando realizamos uma analogia entre a mente humana e computadores, pode parecer ao leitor que estamos propondo que a mente humana realiza um determinado “programa”. Não é este o argumento aqui. A analogia entre o processamento de informações humano e programas é muito fraca: a mente adapta-se rapidamente a mudanças de contexto, enquanto “programas” tradicionais possuem uma ordem predeterminada de operações a ser seguida.

Uma distinção importante é a de *processo* versus *programa* (Smith, 1996). Um determinado programa é uma sequência de operações pré-determinadas. Esta sequência, quando executada, estabelece um *processo*, ou uma *trajetória*, sob a qual as representações passarão por transformações, seja computando um determinado cálculo, ordenando registros em um banco de dados, verificando se um determinado email parece ser spam, ou otimizando um problema de programação linear. Esta distinção entre programa e processo é extremamente importante para esta tese.



**Figura 3.1** As relações entre *Programa x Processo* e *Processo x Situação Observada*, segundo a ontologia de Brian Smith (1996). O foco desta tese está no processo e na relação  $\beta$ , o que pode nos trazer importantes informações referentes aos mecanismos que geraram o processo e à relação  $\alpha$ .

Segundo Smith (1996), as relações entre *programa* e *processo*, e *processo* e *situação observada*, mostradas respectivamente como  $\alpha$  e  $\beta$  na fig.3.1, são de extrema importância para os estudos nas áreas da ciência cognitiva, filosofia da mente, inteligência artificial, e demais áreas que fazem interface entre a psicologia e o processamento de informação. É importante entender claramente que a relação  $\beta$  descreve os aspectos semânticos de uma realidade observada, enquanto a relação  $\alpha$  descreve o mapeamento sintático entre o processo (a “trajetória ou evolução do pensamento”) e os mecanismos que o geraram (i.e., o programa). Apesar da aparente simplicidade da ontologia da computação apresentada na fig. 3.1, há uma tendência natural na literatura de que as relações  $\alpha$  e  $\beta$  sejam tratadas em conjunto, como uma entidade única, ou seja, programa e processo serem considerados como um mesmo objeto. Neste trabalho, adotaremos a abordagem de Brian Smith (1996), isto é, programa, processo e situação observada serão considerados como entidades distintas, possibilitando, por conseguinte, a investigação do processo e sua relação com a realidade observada.

Em contraste com o programa de pesquisas em projeto de algoritmos ou pesquisa operacional, no qual busca-se algoritmos (ou programas) para atingir de forma eficiente uma representação final que signifique um determinado resultado desejado, o objetivo da psicologia é compreender o *processo* pelo qual as pessoas passam. Não se busca um “programa” eficiente para um determinado resultado, i.e., um *programa de eficiente processo* até a obtenção do resultado. Busca-se um “programa” que siga o “processo” de informações humano com a maior fidelidade possível. Conforme visto nos capítulos anteriores, o processo humano possui vieses que podem desviar a trajetória daquela que seria a “ótima” (para usar o termo da pesquisa operacional), ou a do “agente racional” (para usar o termo da economia). Assim sendo, a contribuição desta dissertação é detalhar sobre o processo, o que pode trazer noções sobre a arquitetura de processamento de informações subjacente às tomadas de decisões humanas.

O objetivo desta tese não é lidar com “programas”, ou sequências de operações pré-determinadas sob as quais nossa mente possa passar, e sim lidar com “processos”, ou a

*trajetória de transformação de informações, a “trajetória de pensamentos”, pela qual humanos podem passar ao lidar com questões system 1 ou system 2. Desta maneira, este capítulo concentrará atenção à análise da relação  $\beta$  da fig.3.1 – processo x situação observada -, e postulará mecanismos sub-cognitivos que explicam o porquê da ocorrência de erros em problemas system 1, utilizando para isto variações no CRT #1 – problema do taco e da bola – que o tornem um desafio tanto intuitivo (system 1) quanto racional (system 2).*

As sessões que se seguem ilustram possíveis processos pelos quais as pessoas podem passar ao processar versões system 1 ou system 2 do problema do “taco e da bola”. Obviamente, há uma infinidade de possíveis trajetórias, e o que será discutido *é apenas uma trajetória potencial*. O leitor cético pode perguntar-se (i) qual a validade desta proposta de uma potencial trajetória de processamento de informação dentre inúmeras possíveis? Ou ainda, (ii) qual a base científica por trás de tal proposta específica? Vejamos cada uma das críticas separadamente:

- (i) *qual a validade desta proposta de uma potencial trajetória de processamento de informação dentre inúmeras possíveis?* Uma potencial trajetória de “pensamento” postulada, em si, não possui valor científico, obviamente. O que nos interessa neste estudo e faz com que tal trajetória tenha valor teórico é justamente a utilização do método comparativo entre problemas system 1 e system 2, que por definição possuem trajetórias distintas (na maioria dos respondentes, obviamente). Ao comparar potenciais trajetórias de “pensamento” em casos distintos, podemos observar potenciais distinções sutis no processamento que podem eventualmente trazer *insights* sobre os mecanismos subjacentes que as produziram.
- (ii) *qual a base científica por trás de tal proposta específica?* Ao postular possíveis trajetórias de “pensamento” distintas entre si devido à natureza system 1 e system 2 dos problemas, postulamos uma série de mecanismos subjacentes que podem gerá-las. Qual a base científica que ampara tais mecanismos? Há duas fontes principais: a primeira é a psicologia experimental, que comprova a existência de mecanismos como *redes semânticas*. A segunda fonte de evidência vêm da modelagem cognitiva computacional, onde processos análogos já foram identificados, estudados, e

implementados em arquiteturas computacionais, de forma que todos os mecanismos que postulamos atuar durante problemas system 1 e system 2 possuem base na literatura, mais especificamente no systema NUMBO – uma “prova por existência” que os mecanismos aqui propostos são passíveis de eventual implementação computacional (Defays 1988, e correspondência pessoal, 2005).

Inúmeras vezes, na ciência, um determinado avanço é fruto de uma nova metodologia previamente inexplorada—podemos citar o próprio Nobel de Kahneman como exemplo (Kahneman, 2003). Este capítulo postula distintas “trajetórias de pensamento”, e não é uma especulação vácuca, e sim uma proposta baseada no sólido conhecimento da existência e funcionamento de redes semânticas, e na “prova de existência” trazida pelo sistema NUMBO (discutido no próximo capítulo) de que os mecanismos são passíveis de implementação. Se os mecanismos postulados são passíveis de implementação, este próximo passo nos levaria a um profundo modelo científico, isto é, potencialmente refutável, sobre a interação entre intuição e razão. O trabalho é semelhante à várias contribuições anteriores na literatura que se mantiveram focalizadas na *análise do processo*, e apenas após tal análise uma implementação pôde ser visualizada; alguns exemplos podem ser encontrados em Hofstadter 1979 (GEB / Bongard problems), Hofstadter 1994 (Copycat project), Hofstadter and FARG (1995), sobre o sistema Letter Spirit, e Linhares (2005) sobre intuição e pensamento estratégico em xadrez.

O principal mérito destes trabalhos é explorar um território previamente ignorado pela comunidade científica. Obviamente, na psicologia não há como realizar observações de uma perspectiva de uma terceira pessoa (como são os estudos na Física). O que será discutido neste capítulo é um modelo potencial do processo pelo qual pessoas passam ao processarem os problemas system 1 e system 2. Vamos restringir o escopo aos problemas “taco e bola” para aprofundar a discussão sobre as inúmeras minúcias envolvidas.

### **3.2 Símbolos ativos, impulsos, memória de trabalho, e temperatura.**

### 3.2.1 Símbolos ativos

Mencionamos anteriormente que a mente adapta-se rapidamente a mudanças de contexto, enquanto “programas” tradicionais possuem uma ordem predeterminada de operações a ser seguidas. Como poderia um computador adaptar-se de forma tão flexível quanto a mente humana? Como poderia um programa não possuir uma série de operações pré-estabelecidas e adaptar-se à medida em que informações são obtidas? A teoria de *símbolos ativos* desenvolvida por Hofstadter (1979, 1995) é um grande avanço na explicação deste problema.

“Não pense num elefante!”, proclama o filósofo Daniel Dennett. “Tarde demais, você já pensou”. No instante em que somos bombardeados com uma informação que nos signifique algo, esta informação, imediata e involuntariamente, dispara uma série de conotações em nossa mente. De uma forma subliminar, uma imagem de um elefante se forma em nossa mente, mantendo-se no “background”, entre inúmeros outros pensamentos. Esta imagem também nos prepara para absorver futuras informações, criando um senso do contexto em discussão. Isto é feito por uma sutil e rápida ativação de conceitos associados a, por exemplo, “elefante”: África, gordura, tromba, forma arredondada, vida animal, tamanho grande, entre inúmeros outros. A estes conceitos relacionados, imediatamente ativados após uma informação inicial, denominou-se na psicologia de “rede semântica”. Uma rede semântica possuiria nós e links entre estes nós. No exemplo acima, “elefante” seria um nó, assim como “tromba”, e um link realizaria a conexão entre estes conceitos próximos. Uma das idéias chave da teoria de símbolos ativos é que a ativação de cada nó da rede semântica cria expectativas sobre os próximos passos a seguir, alterando a trajetória de processamento de informações à medida que são ativados. Em contraste com a idéia de representações (passivas) sendo manipuladas por programas, os símbolos ativos assumiriam o comando do sistema, controlando os próximos passos a serem executados.

A teoria de Hofstadter oferece, portanto, uma solução para uma distinção-chave entre o processamento da mente humana e o de programas de computadores tradicionais. Cabe aqui uma comparação entre o processamento de informações de uma rede semântica e o de computadores tradicionais. Como a teoria de símbolos ativos explicaria (e possibilitaria simular em computadores) a nossa visão do número “2”? Hofstadter



(1979, p.677-678) especula que um determinado programa capaz de modelar os processos psicológicos humanos seria tão lento em cálculos quanto um ser humano.

“[The program] will represent the number 2 not just by the two bits “10”, but as the full-fledged *concept* the way we do, replete with associations such as homonyms “too” and “to”, the words “couple” and “deuce”, a host of mental images such as dots on dominos, the shape of the numeral “2”, the notions of alternation, evenness, oddness, and on and on...”

Cada uma destas associações seria imediatamente disparada pelo número 2, e estas conotações iriam alterar a subsequente trajetória de processamento. Dados os conceitos de símbolos ativos, podemos postular os processos pelos quais pessoas passam ao processar os problemas system 1 e system 2 referentes ao “taco e a bola”.

### **3.2.2 Impulsos e sua implementação por codelets**

Na teoria dos símbolos ativos, os processos computacionais que constroem as representações na memória de curto prazo (área de trabalho) são processos sub-cognitivos impulsivos chamados *codelets*. Eles são involuntários, pois não requerem uma decisão consciente para sua execução; são automáticos, pois não há necessidade de decisão consciente para o seu processamento interno; e são funcionais, já que sabem como executar sua função específica sem necessidade de qualquer auxílio. Alguns destes processos impulsivos são responsáveis por identificar objetos específicos, outros por identificar relações específicas entre os objetos, enquanto outros realizam o agrupamento de relações afins, e assim por diante. O sistema percebe um grande número de pressões latentes pela ação, em primeiro momento desordenada, dos *codelets* que eventualmente são executados de forma *bottom-up*; então, quando uma impressão emerge, um outro tipo de processo *codelet* é responsável por verificar a validade desta percepção, agora de uma forma *top-down*. Porém a execução em paralelo de uma infinidade de *codelets* continua a pressionar o sistema, cedendo apenas ao controle da temperatura, que veremos o significado mais adiante.

### **3.2.3 Memória de trabalho**

A memória de trabalho é a estrutura que representa a memória de curto prazo (volátil) do sistema e na qual são construídas e destruídas as estruturas cognitivas durante o processo de solução de um problema – funciona como uma espécie de quadro negro, no qual o sistema experimenta suas impressões da situação em questão. Ela interage com a memória permanente do sistema (rede de conceitos) e tanto influencia quanto é influenciada pela mesma. É na área de trabalho que é construída uma visão coerente da solução do problema, a partir da execução paralela dos milhares de processos sub-cognitivos ou *codelets*.

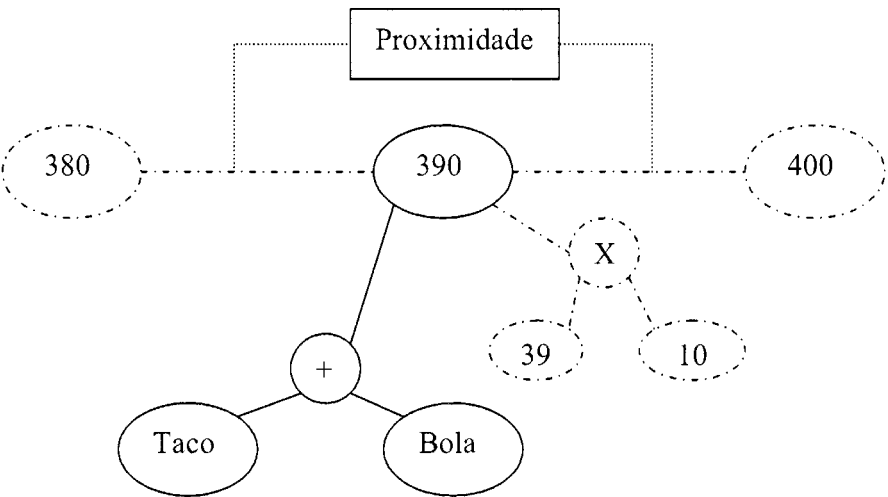
### 3.2.4 Temperatura

O sistema não chega imediatamente a uma representação final do problema em questão sem que haja falhas no processo. A temperatura é um mecanismo que mede o nível de desordem e de entendimento do sistema. Quando o sistema começa a funcionar, a temperatura está alta e indica que o mesmo está disposto a aceitar a construção de quaisquer estruturas na área de trabalho. À medida que vai emergindo uma percepção coerente da situação, a temperatura vai diminuindo e a disposição do sistema em correr riscos diminui do mesmo modo. Por outro lado, a temperatura não funciona como um parâmetro, controlado pelo usuário, que pode ser forçado a subir ou a baixar; e sim como um mecanismo de *feedback* do sistema, que possibilita que o mesmo se reorganize, aceitando ou rejeitando as mudanças que a temperatura permite. Quando pressões latentes são percebidas, os impulsos correspondentes eventualmente propõem a construção ou destruição de estruturas na área de trabalho. Como estas mudanças propostas são aceitas? A temperatura orienta o processo. No início a temperatura está alta e a grande maioria das estruturas propostas é aceita, porém, à medida que a temperatura cai, é importante que as novas estruturas propostas sejam compatíveis com a interpretação existente. Portanto, a temperatura é uma medida inversa da qualidade das estruturas construídas na área de trabalho, bem como é um mecanismo de controle do nível de aleatoriedade da tomada de decisão.

### 3.3 Processo sobre um problema system 2.

Nesta seção é descrito, através de uma série de figuras, um processo potencial pelo qual postulamos que pessoas passem ao se confrontarem com um problema system 2, como “Uma bola e um taco custam 390 no total. O taco custa 170 a mais do que a bola. Quanto custa a bola?”

O foco principal será a ativação de conceitos e a propagação desta ativação para conceitos relacionados. A figura 3.2 mostra o momento em que uma primeira relação é registrada, com as subsequentes ativações dos conceitos “390” (e propagação de ativação para números próximos), além da propagação de ativação de decomposições imediatamente associadas a “390” (como “400-10”, ou como na figura, “39x10”). Há também a relação matemática entre o taco, a bola, e seu valor conjunto.

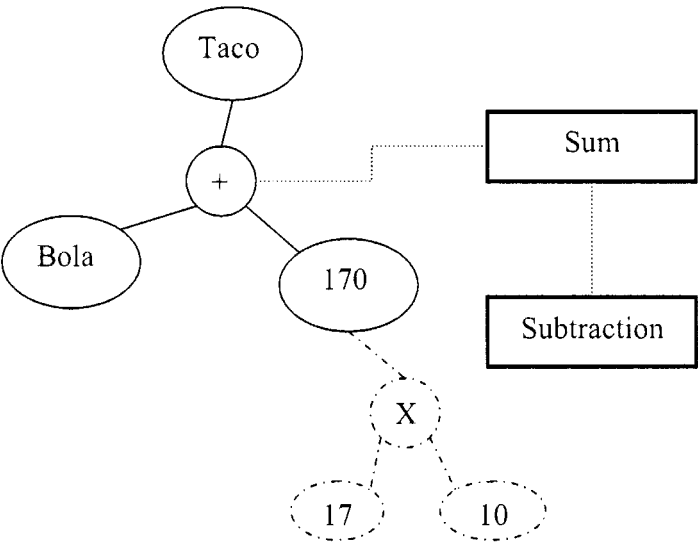


**Figura 3.2** Uma bola e um taco custam 390 no total : no instante em que este trecho do problema é lido, ocorre uma série de ativações conceituais nos números que estão próximos de 390, por exemplo 380 e 400; automaticamente percebemos a decomposição ( $390 = 39 \times 10$ ) e, em menor escala, as decomposições dos números próximos; bem como é construída a estrutura de soma informada no enunciado. A operação soma também sofre uma ativação, o que implica em uma ativação do conceito relacionado - no caso a subtração (não representada na figura).

Na figura seguinte, a relação de diferença entre o valor do taco e da bola é registrada. Novamente, a relação matemática é ativada, e relações próximas (como por exemplo subtração), são ativadas em menor escala, preparando o sistema para eventuais mudanças de contexto em que aquelas operações se tornem necessárias. Isso faz com que relações irrelevantes, como a extração da raiz quadrada, ou a elevação a um

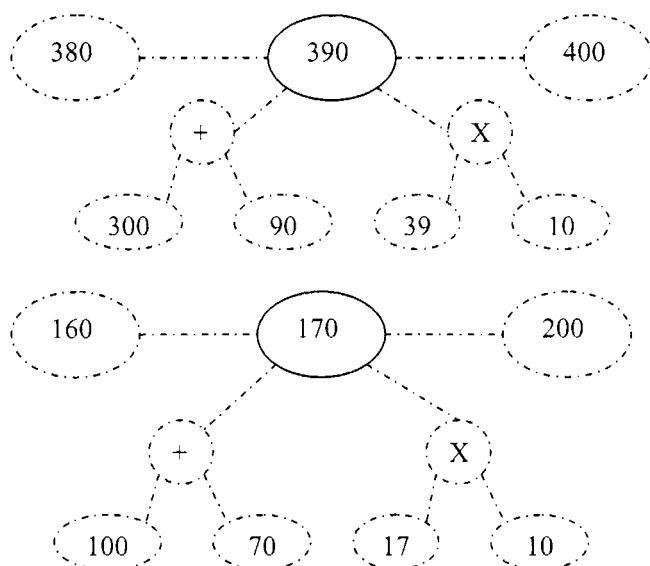
determinado polinômio, sejam basicamente colocadas a um plano de zero atividade. Os símbolos ativos geram “teorias” ou “hipóteses” sobre o que pode ocorrer nas próximas iterações, e desta forma capturam o contexto em que se está inserido. Isso possibilita que sistemas baseados em símbolos ativos sejam capazes de se “auto-programar” à medida em que o contexto demanda, enquanto “programas tradicionais” possuem uma ordem de execução predeterminada.

Cabe aqui ressaltar uma característica adicional da teoria de símbolos ativos: cada símbolo, quando ativado, além de propagar ativação para os símbolos relacionados, dispara “impulsos”, ou “codelets”, de forma top-down, “procurando” por “evidência” adicional da necessidade de uso de determinado conceito. Vamos descrever com mais detalhes um sistema de símbolos ativos no próximo capítulo.



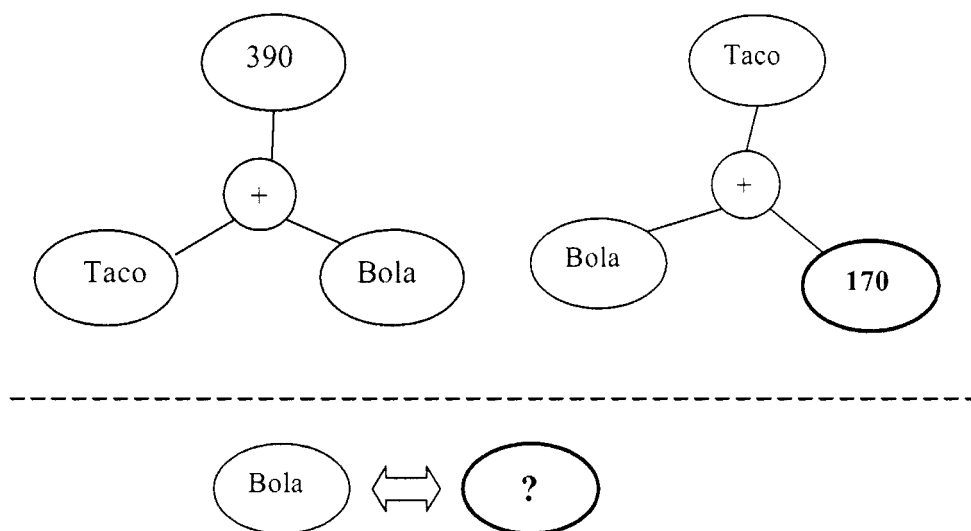
**Figura 3.3** O taco custa 170 a mais do que a bola : no instante em que este trecho do problema é lido, são ativados, em escala variada, alguns números que têm relação com 170, por exemplo, a decomposição ( $170 = 17 \times 10$ ). Do mesmo modo, o nível de ativação das operações de soma e subtração aumentam.

Na figura 3.4 percebe-se um emaranhado de conceitos ativos simultaneamente. Cada um destes conceitos ativos busca influenciar a trajetória de processamento do sistema. Note que alguns destes conceitos devem rapidamente perder ativação. Como exemplo, as relações “ $39 \times 10$ ” e “ $17 \times 10$ ” devem perder ativação rapidamente devido à ausência de novas informações que demandem ativação pela operação de multiplicação.



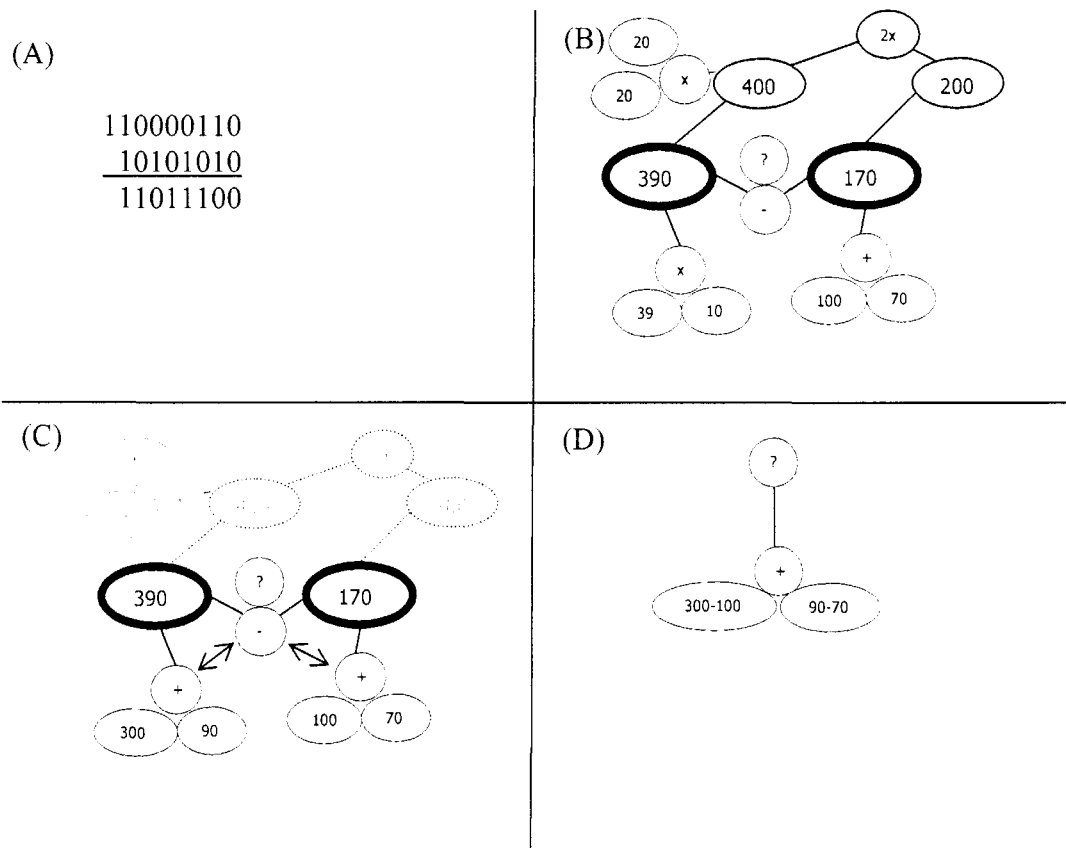
**Figura 3.4** Símbolos Ativos: muitos símbolos e relações são ativados durante a leitura do enunciado do problema, produzindo uma potencial teia de conexões da rede semântica do respondente. Repare que no caso do problema system 2, as ativações de conceitos numéricos são distintas, o que faz com que a leitura de uma relação matemática “um taco e uma bola custam 390.”, não interfira com a outra. Isso não ocorrerá no problema system 1, de forma que a leitura de alguns parâmetros na primeira relação irá re-enforçar a ativação de outros símbolos na próxima leitura, fazendo com que o sistema encontre-se num estado de baixa entropia (quando comparado com esta versão system 2).

Na figura 3.5, o sistema chega a um pequeno impasse (semelhantes às “snags” ocorridas nos sistemas Copycat e Metacat [Hosfatadter & FARG 1995]), onde não se pode perceber uma solução de imediato, e operações matemáticas devem ser executadas para se obter o correto valor da solução.



**Figura 3.5** O Problema é System 2: os símbolos e relações ativados por intermédio da leitura do enunciado do problema não geram uma resposta automática e intuitiva. As relações existentes entre os símbolos da questão – o fato de serem números pares e terminados em 0, por exemplo – não é suficiente para que o Sistema 1 (intuição) sugira uma resposta automática ou indique algum isomorfismo entre as estruturas criadas.

A partir deste ponto, a trajetória consiste em desenvolver representações simbólicas das representações obtidas e manipulá-las de forma a buscar o valor da solução. Isto é representado pela figura 3.7. Para isto, conceitos que possuem as formas de manipulação algébrica são ativados e, eventualmente, seguem os passos demonstrados na figura.



**Figura 3.6** Quanto é  $390-170$ ? Na figura, contrasta-se (A) a forma em que computadores fazem o cálculo com a imensa complexidade e desordem postulada pela ativação de símbolos. Em (B) temos uma potencial ativação inicial, seguida em (C) por subseqüentes processos que inibem decomposições incompatíveis com a desejada e reforçam decomposições de adição. Finalmente em (D) uma representação da ativação em que a estrutura do cálculo já foi feita, instantes antes da resposta ser calculada.

Quanto é 4444 menos 4000? 444, obviamente.

Quanto é 1234 menos 234? 1000, obviamente.

Mas quanto é 7123 menos 3217 ou quanto é 4444 menos 1234? Estas operações simples levam mais tempo para serem processadas, exigindo mais esforço do respondente. O fato destas operações levarem tempo e esforço distintos sugere uma demanda sub-cognitiva específica para coordenar a ativação das decomposições dos números envolvidos. Se alguém deseja subtrair 1234 de 4444, é natural manter em mente (A)  $4444=4000+400+40+4$ , imediatamente percebido e ativado, e do mesmo modo  $1234=1000+200+30+4$ . É improdutivo guardar na mente uma decomposição em primos como  $4444=101.11.2^2$ —que pode ser desejável e necessária em um contexto distinto. O

esforço adicional decorre do fato de que os processos sub-cognitivos devem suprimir a ativação de decomposições indesejadas, e aumentar a ativação de decomposições adequadas, possibilitando a resolução das operações com um mínimo de esforço. A figura 3.6 mostra potenciais passos na trajetória de ativações para uma simples subtração.

$$(1) \text{ Taco} + \text{Bola} = 390$$

$$(2) \text{ Taco} = \text{Bola} + 170$$

Substituindo (2) em (1), temos

$$(3) \text{ Bola} + 170 + \text{Bola} = 390$$

Desenvolvendo,

$$(3) \begin{array}{l} 2 \times \text{Bola} = 390 - 170 \rightarrow 2 \times \text{Bola} = 220 \\ \text{Bola} = 220 / 2 \\ \text{Bola} = 110 \end{array}$$

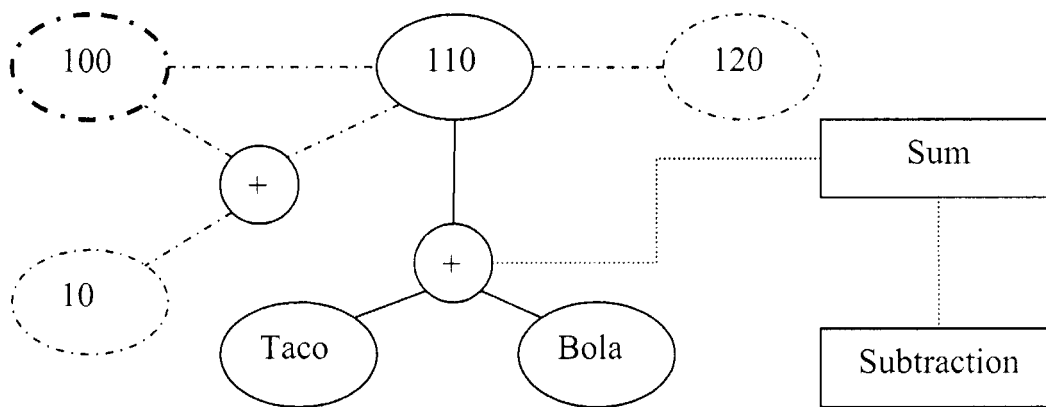
**Figura 3.7** O racional toma o controle: desta maneira, a trajetória de processamento de informações segue uma lógica racional, deliberada e serial, que leva à resolução do problema por intermédio da aplicação das regras (conhecimento procedural) de álgebra. Ainda que o cálculo seja feito mentalmente, o mesmo já estará submetido às características do funcionamento do Sistema 2 (razão).

Em contraste com o que ocorre no processo de um problema system 2, vejamos uma trajetória potencial pela qual o sistema pode passar no caso de um problema system 1.

### 3.3 Processo no problema system 1

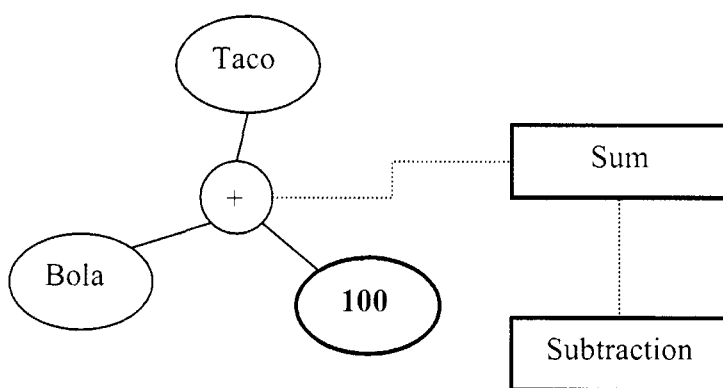
Nesta seção é descrito, através de uma série de figuras, um processo potencial pelo qual postulamos que pessoas passem ao se confrontarem com um problema system 1, como *“Uma bola e um taco custam 110 no total. O taco custa 100 a mais do que a bola. Quanto custa a bola?”*





**Figura 3.8** Uma bola e um taco custam 110 no total: no instante em que este trecho do problema é lido, ocorre uma série de ativações conceituais nos números que estão próximos de 110, por exemplo 100 e 120; automaticamente percebemos a decomposição ( $110 = 100 + 10$ ) ou, em menor escala, ( $110 = 10 \times 11$ ); bem como é construída a estrutura de soma informada no enunciado. A operação soma também sofre uma ativação, o que implica em uma ativação do conceito relacionado - no caso a subtração.

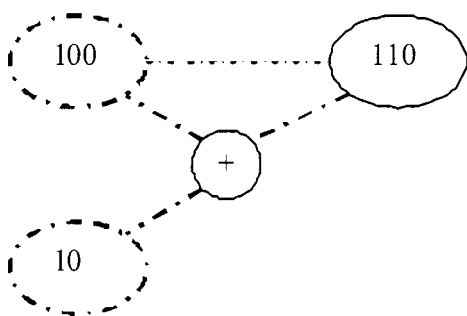
A fig.3.8 mostra o momento em que a primeira frase do enunciado do problema é lida e várias relações e conceitos são ativados na mente do leitor tais como “110”, “Taco” e “Bola”, desencadeando, por consequência, novas ativações em símbolos relacionados a estes conceitos como, por exemplo, “100” e “120”, que estão na vizinhança de “100”. Caso não os encontre, o grau de ativação começará a diminuir gradativamente. Outros números, como “109” ou “112”, também terão uma pequena ativação. Além disto, a relação de soma, sutilmente expressada no enunciado do problema, também é ativada na rede de conceitos, bem como algumas decomposições são automaticamente (intuitivamente) representadas como “110” = “100” + “10”, o que, por sua vez, aumenta o nível de ativação do nó “100”. É importante frisar que estas ativações são executadas por processos sub-cognitivos, denominados *codelets* na teoria de símbolos ativos, e que seguem um padrão de execução baseados no contexto corrente do problema. Do mesmo modo, a diminuição ou aumento do nível de ativação de um dado conceito também é realizada mediante a execução de um *codelet*. Para cada conceito ou relação ativada, o sistema buscará evidências de que tais símbolos representam elementos importantes na solução do problema. Caso não os encontre, o grau de ativação começará a diminuir gradativamente.



**Figura 3.9** O taco custa 100 a mais do que a bola; no instante em que este trecho do problema é lido, o nível de ativação do nó 100 aumenta, o que, por conseguinte, aumenta a ativação do nó 10, do mesmo modo que também aumentam o nível de ativação das operações de soma e subtração.

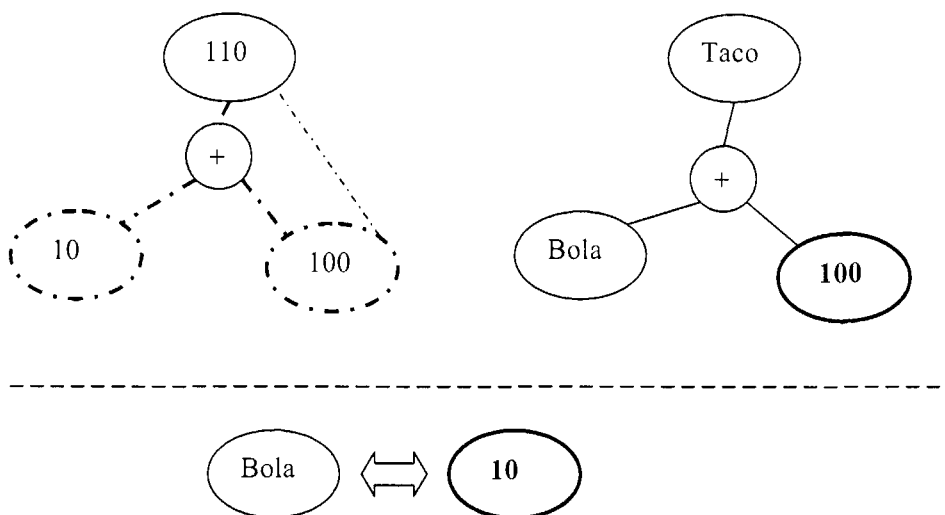
Em seguida, a segunda frase do problema é lida - “o taco custa 100 a mais do que a bola” - e novas relações se formam, enquanto outras já existentes são reforçadas, como pode ser visto na fig 3.9. O nó “100” recebe um nível de ativação ainda maior, uma vez que indiretamente já havia sido disparada uma leve ativação para este símbolo – por proximidade do nó “110” - no instante da leitura da primeira frase do enunciado do problema. Do mesmo modo, os conceitos relacionados ao nó “100” se tornam agora mais importantes neste contexto, devido à teia de relações e conotações desenvolvida em volta deles (ver fig 3.10).

Como as estruturas são muito semelhantes entre ambas as proposições (uma soma entre dois valores, o valor “110” na primeira soma, o valor “100” na segunda), há, devido à rede semântica, uma rápida convergência (em termos de alta ativação) entre os nós “100”, “110”, e “10”. A ativação da operação de soma também é alta. Por outro lado, há baixa (ou nenhuma) ativação dos números “5” e “105”, o que dificulta a percepção da resposta correta.



**Figura 3.10** Como a ativação do nó 100 aumentou no passo anterior, o trecho da rede semântica contendo o número 10 e a soma também aumentou a sua ativação. Vale a pena lembrar que outros nós também estão ativos, porém, no momento, o foco está nesta relação.

Cabe ressaltar que demais nós ativos continuam competindo por atenção. Muitas relações e conceitos vão sendo ativados em paralelo - em menor ou em maior escala -, por exemplo, “120” = “12” x “10” ou “110” = “11” x “10”, porém o processamento de informações vai evoluindo através dos caminhos que parecem mais promissores, ou, dito de outra maneira, aqueles que apresentam mais evidências de serem trajetórias plausíveis. A fig 3.10 destaca um trecho chave da rede semântica durante a resolução do problema, a saber: há uma elevação no nível de ativação dos nós “110”, “100” e “10”, presentes nas relações matemáticas “110” = “100” + “10” e de proximidade entre “100” e “110”, construídas durante a leitura do enunciado do problema, fazendo com que o referido trecho da rede semântica tenha uma maior atenção e esteja mais propenso a influenciar uma resposta intuitiva subsequente. Este nível de interferência entre as relações criadas reforça os conceitos – “100”, “110” e “10” - envolvidos neste contexto do problema e, mesmo que o leitor se esforce em suprimi-los da mente, eles já estão de alguma forma ancorados na representação simbólica do problema, e influenciarão definitivamente a primeira resposta intuitiva que vier à mente.



**Figura 3.11** Quanto custa a bola? Da correspondência entre a equação do enunciado do problema (apresentada na Fig.3.9) e da relação criada na rede semântica, prematuramente (e intuitivamente) emerge o resultado do problema – Bola = 10. Note que esta é uma solução totalmente System 1, ou seja, não há a necessidade de cálculo e, por outro lado, demanda muita resistência do System 2 (alto CRT) para que esta solução seja suprimida da nossa mente.

Neste nível de representação dos símbolos em nossa rede semântica é possível que haja a construção de estruturas quase isomórficas (Hofstadter, 1979) com propriedades locais – tais como número de nós e conexões – e propriedades globais – tal como a forma geral da rede – semelhantes e com padrões de ativação também similares. A fig 3.11 apresenta a correspondência (ou quase isomorfismo) entre as estruturas “Taco” = “Bola” + “100” e “110” = “10” + “100”, que acaba por, intuitivamente, sugerir a resposta “10” como o valor procurado da “Bola”. Observe que não houve qualquer necessidade de cálculo para que a resposta “Bola” = “10” emergisse da nossa mente, uma vez que os dados do problema tomaram o controle da sua solução, construindo um processo “*bottom-up*”, estatisticamente emergente, cooperativo e paralelo. Não há por antecipação um processo global *top-down* que direcione a execução das tarefas ao longo da solução do problema, tal como é comum nos “programas convencionais”. Ao contrário, a solução emerge a partir de uma série processos subcognitivos que não possuem uma visão completa do todo, ou seja, o processo ocorre tal como Hofstadter descreve “subcognition at the bottom will drive cognition at the top” (Hofstadter, 1982, p.654).

Cabe ressaltar que a presente análise do processo segue uma trajetória sequencial apenas para fins didáticos, já que em um nível de representação subcognitivo há uma série de outras “impressões” que estão sendo construídas em paralelo e que competem pela atenção com a resposta final. Possivelmente se uma dessas “impressões” que estão em *background* fossem expressadas, a descrição da trajetória de processamento de informações para este problema poderia ser distinta da feita nesta seção.

### 3.4 Uma primeira observação sobre a interação entre intuição e razão

No problema system 1, o sistema rapidamente converge para um pequeno número de conceitos altamente ativos, o que gera a impressão *ilusória* de que tratam-se dos conceitos correspondentes à solução do problema. A falta de ativação de conceitos em larga escala faz com que o problema pareça ser simples. Já no problema system 2, há uma infinidade de conceitos ativos, e o sistema não converge facilmente para um pequeno número de conceitos. Desta forma, dada uma “alta entropia”, o sistema busca por caminhos alternativos, que requerem a solução de variáveis incógnitas. Isso apenas é calculado devido à alta entropia de múltiplas ativações conceituais simultâneas. No capítulo que segue, processos semelhantes serão discutidos no sistema NUMBO.

Como as pessoas que não “caem” nos problemas system 1 evitam esta trajetória? Na verdade elas *não* a evitam, e reportam em protocolos terem tido “a impressão de que seria 10”, mas que aquela resposta imediata não deveria estar correta e permanecer sem ser checada. O que distingue este comportamento de um resultado sistema 2 típico é o que podemos chamar de “impulso de não ceder a impulsos”.

### 3.5 Discussão

Esta é uma teoria de trajetória de processamento de informação, ao invés de uma teoria de mecanismos (ou “programas”) capazes de gerar um processamento de trajetória semelhante. O que distingue uma proposição científica é o seu potencial de ser testada e portanto, potencialmente refutável. Esta teoria é testável? Há duas questões

envolvidas: (i) é possível de se projetar uma arquitetura computacional que exiba trajetória semelhante? (ii) Os mecanismos envolvidos em tal teoria são de plausibilidade psicológica (de forma que possam prever o comportamento humano em situações controladas)?

Primeiramente, os processos postulados são plausíveis de implementação? Redes semânticas onde ativação é propagada, codelets com rápida e independente execução, um sistema descentralizado onde não há um processo “controlador central”, todos estes itens são plausíveis de implementação. No próximo capítulo, vamos discutir o sistema NUMBO, que implementa, por via destes mecanismos, um processo de raciocínio matemático muito próximo ao dos humanos (e que inspirou o modelo aqui postulado).

## **Capítulo 4. A evidência científica envolvida no modelo postulado**

No capítulo anterior postulamos mecanismos que expliquem os dois sistemas quando processamos o problema da “bola e taco”, porém nosso objetivo não é o de um trabalho filosófico ou inerentemente especulativo. Portanto, neste capítulo, vamos discutir duas questões que fundamentam o modelo postulado no capítulo 3, de forma que o modelo seja baseado em evidências científicas.

Primeiramente, vamos demonstrar que todos os mecanismos postulados são factíveis de simulação em uma arquitetura computacional—o que desmistifica o modelo, mostrando que tudo o que foi postulado até aqui é uma simples extensão de um modelo anterior. Esta extensão é importante pois nos permite analisar a questão system 1 e system 2 sob uma nova ótica.

A outra questão que fundamenta os mecanismos postulados no Capítulo 3 é a plausibilidade psicológica dos mecanismos. Existe evidência psicológica que fundamente tais mecanismos? Vamos revisar a evidência psicológica sob as redes semânticas, a idéia de processos impulsivos paralelos e concorrentes, e a área de trabalho.

### **4.1 O modelo é factível de simulação? O sistema NUMBO.**

Neste capítulo, vamos explicar o jogo Numble e a arquitetura do NUMBO, projeto desenvolvido por Daniel Defays (1995) com o objetivo de modelar as relações entre percepção e cognição, e que pertence a uma família de modelos computacionais, desenvolvida por Hostadter e FARG (1995), que se propõem a simular a habilidade humana de descobrir padrões e estruturar conceitos de maneira fluida

#### **4.1.1 NUMBLE - O jogo**

O jogo Numble (alusão ao jogo Jumble que aparece nos jornais norte-americanos), no qual o NUMBO se baseia, é conhecido na França como *Le compte est bon* (“o total é

correto”) e tem o objetivo de construir um número, denominado *alvo* e situado no intervalo entre 1 e 150, a partir de um conjunto de 5 outros números menores, denominados *peças* e situados no intervalo entre 1 e 25, utilizando apenas três operações básicas: adição, subtração e multiplicação. As peças só podem ser utilizadas em apenas uma operação na resolução do problema, por exemplo:

Problema #2: Alvo: 87

Peças: 8 3 9 10 7

Para solucionar este problema, é possível, por exemplo, seleccionar 8, multiplicar por 10 e, em seguida, efetuar a soma deste resultado com 7 e chegar ao alvo, fazendo o uso de apenas três peças, uma por vez e criando a combinação que melhor nos convém. Na realidade, neste problema, as respostas  $8 \times 10 + 7$  ou  $9 \times 10 - 3$  são normalmente encontradas rapidamente, já que o respondente percebe uma correspondência entre um dos dígitos do alvo (8) e uma das peças, o que, sem sombra de dúvida, determina um caminho a ser seguido, por exemplo na primeira resposta. Do mesmo modo, a percepção de que  $9 \times 10$  está próximo de 87 também motiva o caminho da segunda resposta. Por outro lado, existem outras duas respostas possíveis  $7 \times 10 + 8 + 9$  e  $(8 + 3) \times 7 + 10$ , que praticamente nunca são dadas pelos respondentes e, por isto, nos trazem pistas interessantes dos vieses e processos cognitivos envolvidos na solução (Defays, 1995).

Consideremos agora o problema 4:

Problema #4: Alvo: 25

Peças: 8 5 5 11 2

Automaticamente, a solução  $5 \times 5$  vem em nossa mente sem qualquer necessidade de cálculo ou esforço, muito embora existam outras soluções possíveis tais como  $(2 \times 11) + (8 - 5)$  ou  $((11 - 5) \times 2) + 8 + 5$ , que praticamente nunca são respondidas pelas pessoas e que exigem mais tempo e uma maior elaboração do raciocínio para o seu alcance. Desta maneira, o que leva à solução mais comum é a saliência das peças em relação ao alvo e o próprio fato de que  $25 = 5 \times 5$  é um conceito de fácil acessibilidade. Neste exemplo, o sistema 1 nos leva a uma resposta intuitiva e satisfatória.



Segundo Defays (1995), o jogo Numble desperta o interesse da ciência cognitiva pelas seguintes razões:

- “É representativo de uma grande classe de problemas, nos quais há um objetivo bem definido, vários operadores e operandos são permitidos, e são aplicadas técnicas padrão de busca no espaço de solução;
- Os processos mentais de busca de soluções parecem demandar as seguintes habilidades importantes:
  1. Construção de unidades maiores a partir de unidades menores, com criação e destruição de estruturas temporárias em vários níveis;
  2. Reorganização e dismantling destas estruturas;
  3. Interação de um conhecimento adquirido a priori, conceitos familiares e aspectos salientes dos operandos;
  4. Coexistência de estratégias de busca *top-down* e *bottom-up* para sua solução” (Defays, 1995)

No que concerne às estratégias de busca *top-down* e *bottom-up* utilizadas na solução dos problemas, vale a pena detalhar melhor os mecanismos que originam tais métodos sob a ótica da teoria dos dois sistemas. A primeira estratégia (*top-down*) é fruto da ação do Sistema 2 e representa uma busca orientada por hipótese, que segue uma sequência controlada de passos até a verificação da idéia proposta e o alcance da solução. Já a estratégia *bottom-up* é fruto da ação do Sistema 1 e representa uma busca orientada por dados, que faz com que emergja uma solução a partir da exploração automática (sem controle) e paralela de trajetórias alternativas. O exemplo abaixo ilustra a coexistência dos dois métodos:

Problema #6: Alvo: 146

Peças: 12 2 5 7 18

Ao ler o alvo, 146, o respondente automaticamente lembra de um outro número, 144, que está próximo do alvo e que é formado pelo produto  $12 \times 12$ . Como 12 já é uma peça do problema, é estabelecido um objetivo secundário de encontrar um novo 12 para completar a estrutura proposta. Então o novo 12 é calculado como  $(7 + 5)$ , levando à solução final do problema  $12 \times (7 + 5) + 2$ . Portanto, o alvo estabelece uma estratégia *top-down* de busca, porém ao recuperar da memória o número 144 e sua formação ( $12 \times 12$ ), um novo objetivo emerge de uma forma *bottom-up*.

Veremos nas seções seguintes dois exemplos de execução do NUMBO que apresentam o comportamento do sistema diante de problemas System 1 e System 2.

#### 4.1.2 NUMBO em um problema System 2

Consideremos agora uma execução<sup>4</sup> do NUMBO na resolução do problema #2, já explicado na seção 4.1. Vale a pena ressaltar que será apresentada uma seqüência de passos apenas a título de compreensão, uma vez que as tarefas (processos) são executados de forma não determinística e, portanto, não passível de ordenamento seqüencial.

Problema #2: Alvo: 87

Peças: 8 3 9 10 7

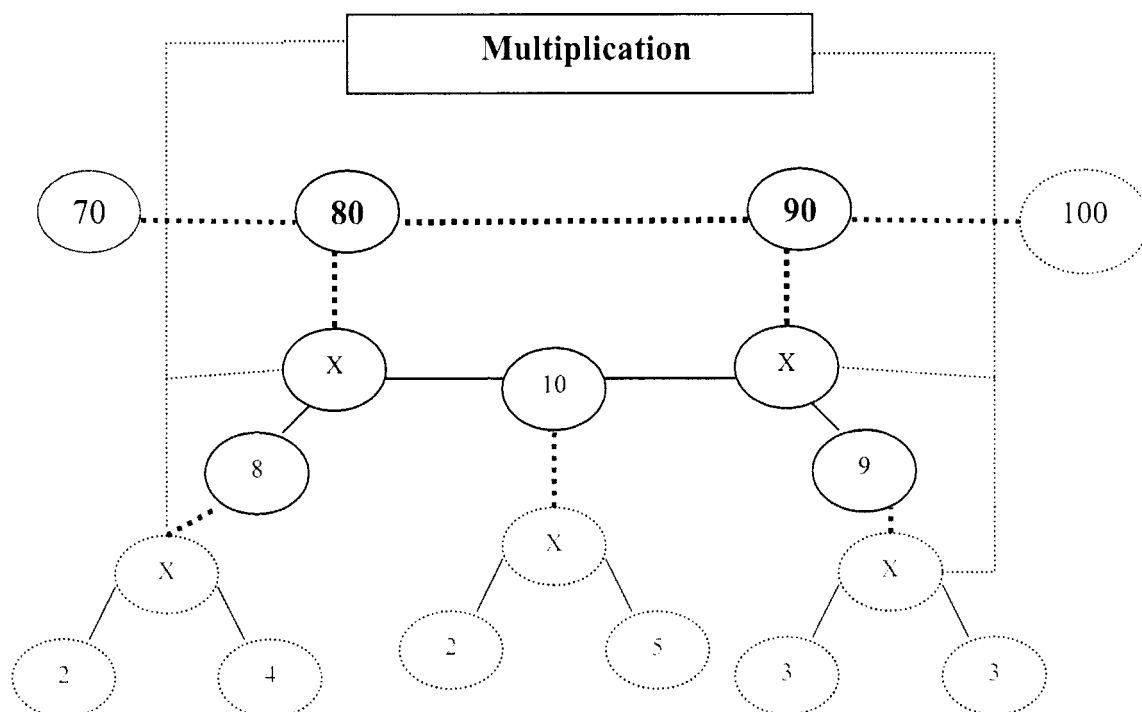
(1) O alvo é lido e o *landmark* mais próximo –  $90 = 9 \times 10$  - é ativado na Pnet. Isto serve de foco para o desencadeamento de outras ativações, tais como as das operações multiplicação, subtração e adição. Para alvos grandes, o sistema sabe que o caminho mais provável é o da multiplicação (Defays, 1995).

(2) A peça **8** é lida e um *codelet* de comparação sintática entre a peça e o alvo é carregado na *coderack*, o que, quando executado, faz com que o sistema perceba uma semelhança entre **8** e **87**. Então um novo *codelet* é carregado na *coderack*, o qual, se executado, aumentará a atratividade da peça.

(3) As próximas peças são lidas na seguinte ordem: **7**, **9**, **10** e **3**. É importante lembrar que as peças não são lidas da esquerda para a direita e sim de maneira probabilística (randômica), o que influencia, sobremaneira, o comportamento do sistema. Então novos *codelets* com função de comparação sintática entre as peças e o alvo serão carregados na *coderack*.

---

<sup>4</sup> As execuções do NUMBO, apresentadas nas seções 4.1.3 e 4.1.4, se baseiam na heurística descrita por Defays (1995, p.143-148)



**Figura 4.1** No instante em que o target 87 é lido, uma grande série de ativações conceituais é feita na Pnet. Aqui podemos observar algumas destas ativações:  $(80=8 \times 10)$ ,  $(90=9 \times 10)$  – ambas por proximidade com o alvo. Estas ativações assumem o comando do sistema, disparando novos processos e ativações: no exemplo, os nós 70 e 100 ativam em escala menor, a relação  $(10=5 \times 2)$  também sofre uma ativação importante, de forma que o sistema imediatamente tem seu foco voltado para números relacionados, e números como 50 ou 5 receberão pouca ou nenhuma ativação. A operação multiplicação sofre uma alta ativação, o que implica em uma grande possibilidade de que este seja o caminho mais promissor a ser seguido.

(4) Randomicamente alguns *codelets* de baixa urgência são colocados na *coderack* com a função de tentar, por chance, executar operações matemáticas com as peças. Porém a escolha das mesmas é viesada por sua atratividade, bem como pelo nível de ativação da operação matemática na Pnet. Desta maneira, como 8 foi julgado como uma peça atrativa, a multiplicação está ativada devido ao *landmark* 90, e, por chance, a próxima peça lida foi 7; o bloco  $8 \times 7 = 56$  é formado na área de trabalho.

(5) Os nós ativados na Pnet desencadeiam ativações para os nós vizinhos, bem como carregam (também via *codelets*) novos *codelets* na *coderack*, para verificarem o potencial de criar na área de trabalho blocos iguais ou próximos aos já ativados na Pnet. Neste caso, o *landmark*  $90 = 9 \times 10$  está ativo na Pnet, o que faz com que o NUMBO carregue *codelets* (do tipo “*seek-reasonable-facsimile*”) com a função de encontrar peças similares à 9 e 10. Desta maneira, o sistema rapidamente percebe a existência de peças idênticas àquelas procuradas (9 e 10) e carrega *codelets* (do tipo “*test-if-possible-*

*and-desirable*”) com a função de verificar se as peças estão livres e se o bloco a ser criado representa um caminho atrativo. É importante chamar a atenção para o fato de que outros caminhos alternativos estão sendo percorridos; o que pode bloquear a execução desta avenida que o sistema tenta explorar. Neste caso, o resultado é a criação na área de trabalho do bloco  $90 = 9 \times 10$ .

(6) Um novo *codelet* é então carregado na *coderrack* com a função de comparar o novo bloco criado (90) com o alvo. Como o bloco e o alvo estão muito próximos, a criação de um alvo secundário passa a ser uma possibilidade interessante. Quando executado, o *codelet* cria na área de trabalho o nó 3, fruto da subtração  $90 - 87$ , como alvo secundário.

(7) Como o bloco  $56 = 8 \times 7$  não foi utilizado ao longo do tempo, sua atratividade diminui, o que ajuda a aumentar a temperatura do sistema. Com o aumento da temperatura, *codelets* destruidores são carregados na *coderrack*; o que cresce a possibilidade de blocos serem destruídos. Os blocos escolhidos são aqueles de baixa atratividade e, neste caso, 56 é o escolhido, liberando as peças que o compõe.

(8) A criação do alvo secundário desencadeou uma ativação na Pnet, bem como carregou *codelets* do tipo “*seek-reasonable-facsimile*” com a função de encontrar uma peça igual ou de grandeza próxima. Ao ser executado, o *codelet* encontra a peça 3 igual ao alvo secundário e carrega *codelets* do tipo “*test-if-possible-and-desirable*”, que verifica que a peça está livre e pode ser utilizada. Por fim, a peça 3 é agregada ao novo bloco criado  $87 = 90 - 3$  e o sistema chega à resposta final  $(9 \times 10) - 3$ .

Note que a ordem de leitura das peças foi importante para que o sistema decidisse por alguns caminhos em detrimento de outros. Embora o problema #2 seja simples, o NUMBO realiza alguns cálculos e explora caminhos rivais até encontrar a resposta definitiva. Vale lembrar que existem outras respostas possíveis, já citadas na seção 4.1, que naturalmente seriam encontradas através de uma outra lógica.

#### 4.1.3 NUMBO em um problema System 1

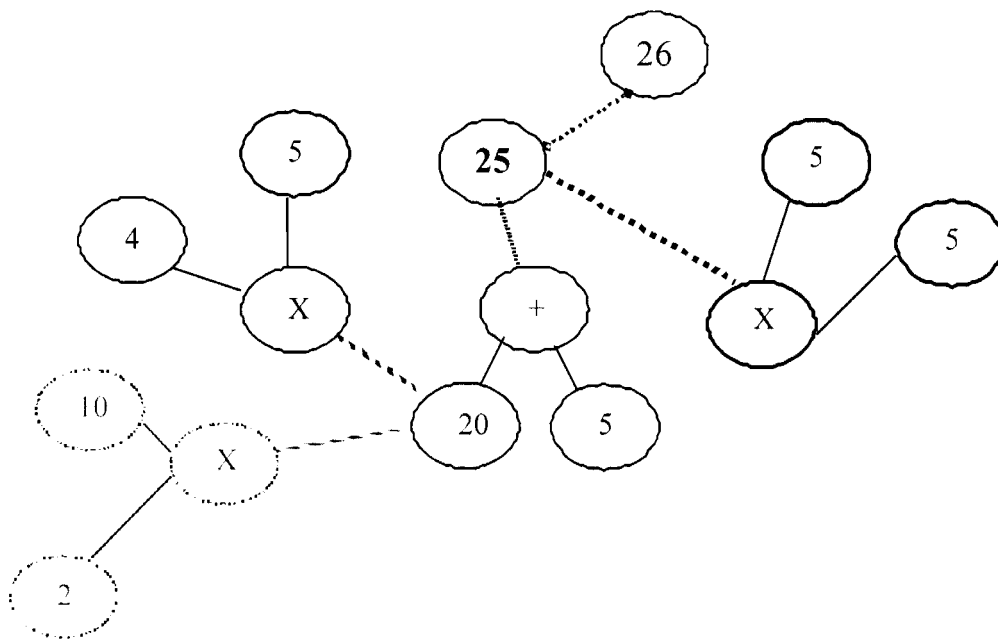
Vejamos agora como o NUMBO resolve o problema #4:

Problema #4: Alvo: 25

Peças: 8 5 5 11 2

(1) O alvo é lido e, dentre muitas outras ativações desencadeadas, o nó **25 = 5 x 5** - é ativado na Pnet, e consigo a operação de multiplicação. *Codelets* do tipo “*seek-reasonable-facsimile*” são carregados na *coderack* com o objetivo de encontrar peças similares aos nós ativados na Pnet.

(2) A primeira peça (5) é lida, o que ativa ainda mais o nó **5** na Pnet. É carregado um *codelet* que tem a função de comparar a peça lida com o alvo, buscando associações. Quando executado, o *codelet* aumenta ainda mais a atratividade do nó **25** na Pnet; o que, por sua vez, desencadeia a carga de *codelets* com a função de aumentar a urgência dos *codelets* do tipo “*seek-reasonable-facsimile*” já carregados na coderack.



**Figura 4.2** No instante em que o target 25 é lido, uma grande série de ativações conceituais é feita na Pnet. Aqui podemos observar algumas destas ativações:  $(25=20+5)$ ,  $(25=5 \times 5)$ ,  $(25 \text{ é próximo de } 26)$ . Estas ativações assumem o comando do sistema, disparando novos processos e ativações: no exemplo, o nó 20 ativa, em escala menor, a relação  $(20=10 \times 2)$  e  $(20=5 \times 4)$ , de forma que o sistema imediatamente tem seu foco voltado para números relacionados, e números como 41 ou 3 receberão pouca ou nenhuma ativação.

(3) Então, como resultado dos codelets “*seek-reasonable-facsimile*”, as duas peças com valores iguais a **5** são encontradas e, a seguir, são carregados codelets do tipo “*test-if-possible-and-desirable*” para verificarem se as peças estão livres para uso e se o bloco

criado seria interessante. Como as peças estão livres, o NUMBO cria na área de trabalho o bloco  $25 = 5 \times 5$  que já se constitui na resposta do problema.

O interessante é que o NUMBO chega à resposta do problema #4 sem executar qualquer cálculo, somente com as informações armazenadas na Pnet. Neste exemplo de execução, a peça 5 é lida em primeiro lugar, o que de certa maneira facilita ainda mais o alcance da solução. Porém, independente de qualquer ordem de leitura das peças, quando o primeiro 5 é lido, a ativação desencadeada na Pnet faz com que o sistema rapidamente (intuitivamente) encontre a solução.

Na seção seguinte detalharemos a arquitetura do NUMBO e seus elementos, para entender como são modelados os mecanismos que representam a interação entre intuição e razão na solução dos problemas que compõem o jogo Numble.

#### **4.1.4 Os mecanismos de NUMBO: Pnet, *codelets*, citoplasma, *codera* e temperatura**

O NUMBO faz parte de uma família de modelos computacionais (Jumbo, Seek-Whence, Copycat, Tabletop, Metacat, Letter Spirit) desenvolvidos por Hofstadter e seu grupo Fluid Analogies Research Group que visa modelar a interação entre percepção e cognição. A filosofia principal por detrás destes modelos é que a percepção de alto nível emerge a partir de um sistema complexo formado por muitos processos independentes rodando em paralelo, e competindo pela supremacia da interpretação de uma situação em questão. Não há um processo responsável pela tomada de decisão no nível global; ao contrário, a interpretação de um problema é fruto da construção e destruição de estruturas perceptivas controladas pela pressão paralela de uma infinidade de subprocessos que utilizam estratégias *top-down* e *bottom-up* (ver, por exemplo, French, 1992; Mitchell e Hofstadter, 1990; McGraw, 1995; Marshall, 1999; Rehling, 2001).

Tais modelos possuem cinco componentes principais, a saber: uma rede de conceitos, que armazena o conhecimento necessário à resolução da tarefa; uma área de trabalho, na qual acontecem todas as atividades para a solução do problema; os *codelets*, que são processos simples, impulsivos e super-especializados, responsáveis por qualquer

operação executada no sistema; uma temperatura que controla o nível de desordem e de entendimento do sistema; e por fim uma lista de prioridades, a coderack, responsável pelo paralelismo do modelo e que faz com que os codelets sejam executados como fruto de um resultado probabilístico emergente.

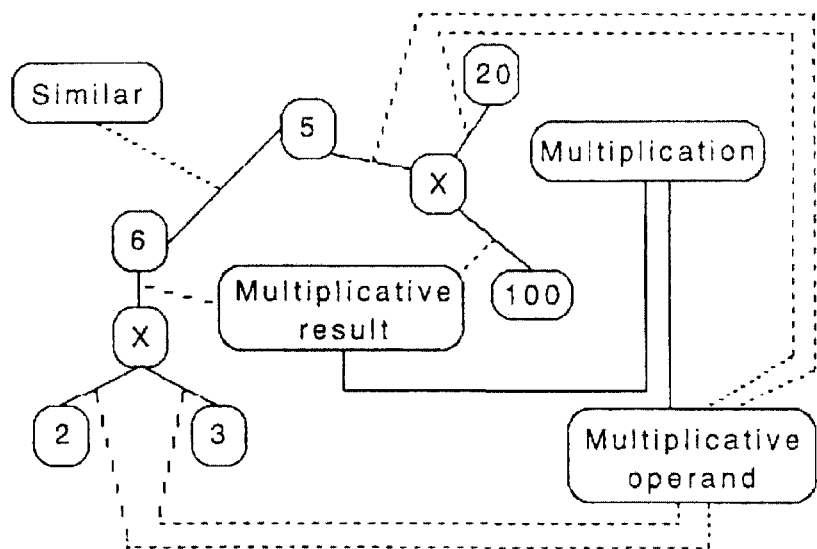
#### **4.1.4.1 A rede de conceitos – Pnet**

Para solucionar os problemas do NUMBO é necessário fazer uso de alguns tipos de conhecimento, como, por exemplo, o da grandeza aproximada dos números (ex: multiplicar 6 x 20 leva à vizinhança de 114), o da aritmética dos pequenos números (ex:  $6 + 1 = 7$ ), além do conhecimento da reprodução de regras (ex: é possível multiplicar 6 por 19), os quais são armazenados numa rede de conceitos chamada Pnet (Defays, 1995).

A Pnet representa a memória permanente do sistema e possui uma rede de conceitos básicos (exemplos de nós : pequenos inteiros, landmarks, números salientes) do domínio da aplicação, interligados por relacionamentos (operadores: adição, subtração, multiplicação; operandos; resultados e rótulos) entre os nós, que também se constituem em conceitos. Ela é responsável pela reação em cadeia que ocorre quando um conceito é ativado, já que isto implica na ativação de outros conceitos relacionados e disparos de execução de subprocessos. Outra função importante da Pnet é a capacidade de fazer com que um conceito flua para outro conceito relacionado.

A seleção do tipo de conteúdo da Pnet respeita as premissas da intuição numérica que nós humanos adquirimos, portanto conceitos básicos como o dos pequenos inteiros “ $6 = 2 \times 3$ ”, que não necessitam de qualquer cálculo para se obter são armazenados na rede (ver fig.4.3). Do mesmo modo, números denominados landmarks (ex: 10, 20, 30, ..., 100 e 150) são armazenados na Pnet, uma vez que os mesmos representam a forma do sistema modelar o conhecimento das grandezas aproximadas. Por exemplo, 100 está decomposto como “ $10 \times 10$ ” e “ $5 \times 20$ ”, o que possibilita que o NUMBO, ao tentar encontrar um alvo próximo de 100, possa sugerir a multiplicação de peças próximas de 5 e de 20. O terceiro tipo de número codificado na Pnet são os números salientes, por

exemplo, “144 = 12 x 12” e “9 = 3 x 3” que são decomposições já armazenadas em nossa memória permanente.



**Figura 4.3** Um trecho da Pnet do Numbo (Defays, 1995, p.136).

Algumas operações aritméticas parecem mais acessíveis do que outras, quando nos deparamos com certos números. Por exemplo, o número 136, no geral, nos faz pensar rapidamente em multiplicação. Para simular este aspecto da intuição numérica, a Pnet possui nós contendo rótulos que representam estes tipos de conceitos: adição, subtração, multiplicação e similar (ver fig.4.3).

Durante a execução do NUMBO, alguns nós podem estar com um nível de ativação maior que os outros, refletindo o interesse do sistema nestes nós específicos. Esta ativação é propagada, de maneira viesada, para os nós vizinhos, promovendo uma espécie de reação em cadeia com intensidade variada. Defays (1995) denomina de *peso* a capacidade de transmitir ativação, o qual, dependendo do contexto, faz com que certas conexões estejam mais dispostas a propagar ativação do que outras. Por exemplo, quando um rótulo é ativado, os pesos dos links relacionados a ele aumenta, aumentando também a sua propensão em propagar ativação.



Cada relacionamento definido na Pnet é representado através de conexões (links) entre os nós, e cada link, por sua vez, possui um rótulo correspondente indicando o tipo de relação existente. Por exemplo, na relação “ $100 = 5 \times 20$ ”, as conexões entre 5 e “x”, e 20 e “x” são rotuladas de “operandos da multiplicação”, enquanto o link conectando o 100 e o “x” é rotulado de “resultado da multiplicação”, conforme se pode verificar na fig.4.3. Note que estes rótulos são conectados aos links através de linhas pontilhadas, que, segundo Defays (1995) não são outra coisa, senão meta-links.

Associação é a noção chave que a Pnet procura simular, porém é razoável conceber que o sistema não mergulhe em um caos de ativações de conceitos a cada tentativa de solucionar um problema. Daí a definição de até que ponto os conceitos estão relacionados, baseados na força (peso) do conceito para a situação em questão, bem como a definição de mecanismos que evitem a propagação caótica e descontrolada de ativações, tais como: ativações periódicas nas peças do problema; e ativações periódicas nos *landmarks* e números salientes que tenham grandezas próximas à dos alvos. Segundo Defays (1995), dentre as muitas vantagens de se armazenar o conhecimento de forma associativa, pode-se destacar:

- *“Permite que diferentes tipos de conhecimento sejam armazenados de maneira uniforme;*
- *Permite que, simultaneamente, um alvo evoque muitas idéias e estratégias, criando uma área de abrangência (“halo”) de conotações em cada nó;*
- *Permite grande flexibilidade no controle do processamento, possibilitando a mudança do foco de atenção de uma maneira bem geral;*
- *É independente da tarefa;*
- *Redes estruturadas já foram testadas com sucesso em muitos contextos anteriores.”*Defays (1995, p.138)

#### **4.1.4.2 Processos sub-cognitivos – *codelets***

Cada operação no NUMBO é realizada por pequenos pedaços de código que são disparados de diversas partes do sistema, com o objetivo de realizar uma função superespecializada, e que são baseados em uma prioridade ou urgência de execução. Melhor dizendo, os codelets não são executados no exato momento em que são solicitados, ao contrário, eles são carregados na lista de prioridades, *coderack*, e, de acordo com a análise da temperatura do sistema e sua urgência de execução, eles são

executados. Os *codelets* podem ser disparados pela rede de conceitos, pela memória de trabalho e pelos próprios *codelets*.

O sistema proposto possui diversos tipos de *codelets* responsáveis pelas mais variadas funções, a saber: criar estruturas na memória de trabalho, como, por exemplo, instâncias dos números definidos na rede de conceitos; também podem destruir tais estruturas, quando, por exemplo, as mesmas deixam de ser requisitadas durante um período de tempo; alteram a rede de conceitos, enviando ativações entre os nós; procuram similaridades entre os operandos e relações de entrada (comparação sintática entre os dígitos); alteram a urgência de *codelets* que já estão na *coderack*, dependendo do interesse ou não do sistema em um caminho específico; realizar as operações matemáticas básicas definidas no modelo; além de agruparem os números, formando expressões, etc.

Os *codelets* e as pressões impulsivas emanadas por eles geram uma competição pela atenção do sistema aos mais variados “pontos de vista” que emergem durante a solução do problema. Tais processos subcognitivos são responsáveis pelo paralelismo presente no sistema, uma vez que sua execução probabilística possibilita que muitos caminhos alternativos sejam percorridos praticamente ao mesmo tempo, durante a busca da resposta de um problema.

Uma característica muito importante nos *codelets* é que eles são míopes, como bem caracterizou Defays (1995), já que somente realizam a função para qual foram definidos, sem terem inteligência suficiente para extrair a visão do todo. Tal visão emerge como fruto da competição paralela de todos os *codelets* envolvidos na busca dos diversos caminhos alternativos durante a solução do problema. Talvez tenha ficado a impressão para o leitor, de que tal mecanismo é somente a expressão de uma estratégia *bottom-up* de busca da solução. Porém, os *codelets* também são disparados por orientação de uma estratégia *top-down*, quando, por exemplo, o sistema se interessa por um caminho específico, fazendo com que *codelets* que verificam possíveis relações entre os operandos sejam carregados na *coderack* com uma alta urgência.

Sobre a arquitetura probabilística presente no NUMBO, Defays explica que:

*“... virtualmente não há chance do NUMBO entrar em um loop infinito. A probabilidade de explorar o mesmo caminho errado inúmeras vezes simplesmente tende a zero, quando o número de repetições aumenta. Portanto não é necessário um mecanismo sofisticado de backtracking. Em sumário, qualquer tipo de “inteligência” que o NUMBO manifeste é simplesmente produto da competição de muitos processos míopes operando em paralelo e em vários níveis de abstração” Defays(1995, p.143).*

#### **4.1.4.3 A área de trabalho – Citoplasma**

É a estrutura que representa a memória volátil do sistema e na qual são construídas e destruídas as estruturas cognitivas durante o processo de solução de um problema - funciona como um quadro negro em que o sistema vai testando as suas “impressões”. Ela interage com a memória permanente do sistema (Pnet) e tanto influencia como é influenciada pela mesma. É na área de trabalho que é construída uma visão coerente da solução do problema, a partir da execução paralela dos milhares de subprocessos cognitivos (*codelets* que veremos mais adiante). Defays (1995) utiliza a metáfora do citoplasma para definir a área de trabalho, invocando a imagem de uma grande quantidade de enzimas realizando uma série de pequenas operações em paralelo, sem se importar com a ordem das ações, em um tipo de processo emergente.

O mecanismo de interação com a Pnet funciona da seguinte maneira: as estruturas criadas na memória de trabalho vão ativando novos conceitos (ativação orientada por dados), que por sua vez ativam conceitos relacionados na rede, reforçando desta maneira a verificação das primeiras “impressões” obtidas na situação em questão (ativação orientada por hipótese), isto é, *codelets* específicos para esta função serão carregados na *coderack* com uma urgência proporcional ao interesse do sistema por este “ponto de vista”.

As estruturas criadas na área de trabalho são instanciadas da rede de conceitos e agrupadas c/ou decompostas por muitos *codelets* que competem pela expressão de uma micro-visão que o sistema tem em um determinado momento da execução. Os seguintes tipos de interação (todas executadas por *codelets*) são possíveis na área de trabalho: (1) agrupamento de peças em blocos; (2) desagregação de blocos em peças; (3) produção de alvos secundários; e (4) conexão de peças, blocos e alvos. Vale a pena ressaltar que, no início da execução, ao ler o alvo, é criado um nó correspondente na

área de trabalho, bem como as peças são lidas de forma randômica e os respectivos nós também são criados na área de trabalho.

Segundo Defays (1995), o fato da área de trabalho manipular os mesmos tipos de dados que a Pnet é interessante pelos seguintes motivos:

- O conhecimento necessário à solução de um problema não precisa ser reestruturado antes do seu uso, isto é, basta instanciar na área de trabalho um objeto existente na Pnet;
- Desaparece a diferença entre conhecimento declarativo e produzido, quando ocorre uma operação, já que o seu resultado é armazenado da mesma maneira como se fosse um conhecimento declarado na Pnet;
- Aprendizado pode ser concebido como uma transferência inversa de material da área de trabalho para a Pnet;

Cada nó na área de trabalho possui três parâmetros, a saber: *tipo*, que pode assumir os papéis de “alvo”, “alvo secundário”, “peça”, “bloco”, ou “operação”; *status*, que pode assumir os papéis de “em uso” ou “livre”; e *atratividade*, que define a probabilidade de uso do nó e é responsável, juntamente com outros fatores, pelo aumento ou diminuição da chance do sistema seguir uma determinada trajetória durante a execução.

A atratividade de um nó é influenciada por vieses comumente observados em pessoas, como, por exemplo, a saliência de alguns números – os múltiplos de 10, por exemplo –, porém, outros fatores, tais como a participação em um novo bloco aumentam a atratividade do nó. Por outro lado, se um nó criado não é utilizado por muito tempo, seu nível de atratividade declina; ou mesmo, quando um nó permanece em uso por um certo tempo como parte de um grupo, o seu nível de atratividade fica estável. O nível de atratividade de um nó pode ser alterado pelos *codelets*, por exemplo, ao perceber semelhanças sintáticas entre uma peça e o alvo – peça = 11 e alvo = 114, por exemplo – um *codelet* pode inserir na *coderrack* um outro *codelet* que aumente a atratividade da peça (Defays, 1995).

#### 4.1.4.4 A temperatura

No início da execução do NUMBO, a temperatura está alta, já que há muita entropia, e o sistema está disposto a aceitar quaisquer estruturas e ou relações estabelecidas entre as peças do problema. Porém, gradualmente, quando novas estruturas vão se formando, e vai emergindo um entendimento da situação em questão, a temperatura vai baixando e consigo a disposição do sistema em permitir que novos caminhos alternativos de solução sejam explorados.

Com relação à avaliação da temperatura do sistema, Defays define que:

*“A temperatura é computada em função do estado geral da área de trabalho e leva em conta os seguintes fatores: atratividade dos nós, o número de nós livres, o número de alvos secundários, etc. Essencialmente, a temperatura irá baixar se o estado das relações criadas parecer promissor. Características típicas de um estado promissor do sistema seriam: a existência de muitos alvos secundários, maioria dos nós com alta atratividade, e alguns nós ainda livres. Por outro lado, se a atratividade de alguns nós é baixa, ou se o número de nós livres é muito pequeno, então o estado parece não ser promissor e a temperatura aumentará.” Defays (1995, p.141).*

O início da leitura dos dados do problema (primeiras peças e alvo) desencadeia na Pnet uma ativação generalizada de todos os conceitos relacionados com os mesmos, que poderá influenciar no processamento dos próximos ciclos de execução do sistema, uma vez que processos subcognitivos (*codelets*) disparados pela referida ativação são adicionados na lista de prioridades com o seu peso associado – que determinará a probabilidade de execução dos processos.

Com o decorrer da leitura dos dados do problema e subsequente formação de relações (grupos, blocos, etc) entre eles, o sistema vai criando uma visão do problema, que, por conseguinte, gera uma queda na sua temperatura. Do mesmo modo, se tal visão não levar a uma solução plausível, a temperatura do sistema aumenta, *codelets* destruidores são inseridos na *codereack*, e as estruturas e relações criadas na memória de trabalho são destruídas, motivando, por consequência, a formação de novas estruturas que estavam competindo em paralelo por prioridade de execução – novos *codelets* que explorarão caminhos alternativos são inseridos na *codereack*. Desta maneira, a temperatura, além de medir o nível de “*open-mindedness*” do sistema, também representa um tipo de mecanismo de *backtracking* para o mesmo em situações de “*locking-in*”.

Por outro lado, se o sistema conseguir relacionar as estruturas criadas na memória de trabalho de forma a emergir uma solução, na qual as peças, alvo e relações matemáticas estabelecidas extraem uma visão coerente da situação em questão, a temperatura cairá a um nível suficiente, tal que o sistema se satisfaça com a resposta encontrada e termine sua execução.

#### **4.1.4.5 Lista de Prioridades - *Coderack***

Cada processo, para ser executado, deve ser colocado na lista de prioridades, que representa quão urgente é a execução deste processo para a construção da percepção do sistema em um contexto específico. O termo prioridade deve ser entendido como velocidade de execução, já que todos os processos serão executados, mesmo aqueles de baixa prioridade. A idéia é que todas as pressões sejam percebidas de forma simultânea pelo sistema e, em algum momento, os recursos serão alocados fruto de um resultado probabilístico emergente, ou seja, se trata de um mecanismo não determinístico.

## **4.2 Discussão**

Conforme vimos acima, os mecanismos utilizados na implementação do sistema NUMBO são justamente aqueles que postulamos operar sobre os sistemas 1 e 2. O próprio NUMBO exibe características clássicas dos sistemas 1 ou 2, dependendo do problema apresentado. Como não há uma distinção modular nestes mecanismos, e nem o processamento parece estar dedicado a um sistema apenas a cada instante, mas sim há uma profunda interação entre os sistemas, e as trajetórias de processamento fluem por ambos, no próximo capítulo, concluindo este trabalho, vamos argumentar contra a “departamentalização” destes sistemas na explicação de sua trajetória cognitiva.

## Capítulo 5. Conclusões e pesquisas futuras

Este trabalho consiste no primeiro estudo do processo cognitivo subjacente à resolução dos problemas *System 1*, presentes no Cognitive Reflection Test (CRT) identificados por Frederick (Kahneman e Frederick, 2002; Frederick, 2005), bem como representa um avanço em direção a teorias mais elaboradas sobre a interação entre intuição e razão nas ciências da decisão (economia, psicologia, ciência cognitiva, inteligência artificial, ciência política, administração, etc).

Foram revisadas as teorias dos dois sistemas e os trabalhos do programa de pesquisa em heurística e vieses do julgamento humano, desenvolvidos prioritariamente por Kahneman e Tversky e que levaram o primeiro autor ao Prêmio Nobel de Economia em 2002. Posteriormente, tal programa de pesquisa influenciou Shane Frederick na criação dos problemas *System 1*, objeto de estudo desta dissertação. Em seguida foram apresentados os resultados do experimento dos CRTs realizado por Frederick, que, além de explicar o conceito de resistência ao primeiro impulso inicial que vem à mente – relexão cognitiva -, evidenciam a importância da métrica desenvolvida, assim como demonstram a surpreendente força exercida pela intuição nas tomadas de decisão demandadas por tais problemas.

Utilizou-se como método científico, a ontologia das ciências cognitivas e da computação de Brian Smith (1996), bem como a linha filosófica de Hofstadter na análise do processo cognitivo que se dá quando da resolução dos problemas *System 1* e *System 2*. Também foi utilizado o Sistema Numbo, como evidência científica de que os mecanismos sub-cognitivos postulados neste trabalho possuem plausibilidade psicológica e factibilidade de modelagem e simulação em uma arquitetura computacional cognitiva.

Os mecanismos postulados apresentam uma forma psicologicamente plausível de representação do processo de solução das variações do problema “do taco e da bola”, e avançam na explicação do porquê que as pessoas cometem erros em tal problema, mesmo aquelas que dominam totalmente os conceitos básicos de álgebra, necessários à sua solução. A correspondência das estruturas – criadas durante a leitura do enunciado

do problema e na rede semântica postulada - apresentadas na figura 3.7 evidencia uma estratégia intuitiva de solução do problema em sua versão System 1, baseada na teoria dos símbolos ativos de Hofstadter, e que exige muita resistência do Sistema 2 (razão), ou seja, um alto CRT do respondente – na nomenclatura de Frederick -, para que a solução impulsiva seja suprimida da sua mente. Os conceitos mais salientes ou acessíveis acabam por guiar o processo de solução do problema, e o isomorfismo das estruturas criadas na memória, como na fig 3.7, faz com que a solução intuitiva seja expressa.

Neste momento, é possível responder as perguntas sobre o modelo dos dois sistemas de Kahneman e Frederick (2002) realizadas ao longo do texto, a saber: Como os dois sistemas interagem? O que há por dentro destas caixas-pretas? Como um cérebro formado essencialmente por estruturas similares como neurônios e sinapses tem uma distinção tão modular entre dois sistemas? Para usar o termo de Gilbert (1999), este seria o melhor “inventário” possível da mente humana? Se Kahneman define sistema como “coleção de processos”, quais são os processos inerentes a cada sistema?

Como os dois sistemas interagem? O que há por dentro destas caixas-pretas? Como um cérebro formado essencialmente por estruturas similares como neurônios e sinapses tem uma distinção tão modular entre dois sistemas? Em nosso modelo, não há uma distinção modular entre sistema 1 e sistema 2. Há uma infinidade de impulsos humanos (implementados em modelos computacionais como *codelets*) que, coletivamente, geram o comportamento global do sistema. Isso implica que não há subconjuntos distintos de impulsos operando em cada “caixa-preta”, e que a interação entre o sistema 1 e o sistema 2 é fortemente acoplada. Agora, para usar o termo de Gilbert (1999), este seria o melhor “inventário” possível da mente humana? Se Kahneman define sistema como “coleção de processos”, quais são os processos inerentes a cada sistema? as coleções de processos da teoria dos dois sistemas podem ser representadas pelos codelets do Numbo; a interação entre os dois sistemas se dá na construção das respostas na área de trabalho, bem como da associação entre os conceitos da rede semântica e da situação problema, como pode ser visto nos capítulos 3 e 4; não há uma separação clara, modular, entre intuição e razão. Porém, a estrutura que melhor representa o primeiro conceito é a rede semântica – um misto de conhecimento declarativo e procedural – que



é capaz de rapidamente, através da ativação dos seus símbolos ativos, fazer com que respostas emirjam automaticamente sem necessidade de cálculo ou esforço adicional.

Um ponto importante que não deve ser esquecido é a natureza não determinística, probabilística e randômica do modelo proposto. Como dito anteriormente, características dos dados do problema (saliência dos números, por exemplo) acabam por orientar a estratégia de sua solução. Ann Dowker e colegas (Dowker et al, 1996) realizaram um experimento no qual o intuito era identificar a variabilidade de estratégias utilizadas por quatro categorias profissionais (matemáticos, psicólogos, contadores e professores de inglês) na estimação do resultado de 20 problemas de álgebra (10 de multiplicação e 10 de divisão) sem a utilização de cálculos escritos ou em calculadoras. As estratégias analisadas foram divididas em duas grandes classes: a Classe 1, baseada em conhecimentos teóricos de matemática, daqueles estudados na escola; a Classe 2, calcada na atenção em números específicos do problema e da relação entre eles, além do uso de números conhecidos, ao invés de confiar em procedimentos padrão. Alguns resultados obtidos estão totalmente de acordo com o modelo proposto neste trabalho, a saber: os matemáticos, que naturalmente possuem maior domínio dos números e alcançaram os melhores resultados do experimento, utilizaram maior variabilidade de estratégias na solução de um mesmo problema; e além disto, fizeram uso prioritariamente da Classe 2 de estratégias, que é similar a dizer que a associação de símbolos (no caso números) ativos orienta a intuição numérica subjacente a tais decisões. (para maiores detalhes deste experimento, ver Dowker et al, 1996).

Sem dúvida, o modelo proposto neste trabalho não capta alguns aspectos que podem interferir na resposta dos problemas e também produzir erros por ineficiência do Sistema 2, tais como impactos de pressões de tempo, do humor do respondente, do período de execução da tarefa (pela tarde por pessoas que preferem a manhã e vice-versa), de formulações que deixem mais ou menos aparente a aplicação de uma regra, e da sobrecarga cognitiva de outras tarefas paralelas (Kahneman, 2003; Kahneman e Frederick, 2002). Porém, tais aspectos podem estar presentes em uma agenda de pesquisas futuras.

O problema do “taco e da bola”, CRT #1, utilizado como objeto de estudo deste trabalho possui um apelo adicional por sua simplicidade de construção do enunciado e força

estatística demonstrada por Frederick (2005) nos resultados de seu experimento. O desafio para pesquisas futuras que parece bem interessante é, a partir do maior conhecimento do processo cognitivo subjacente a tais problemas, a construção de um domínio de problemas deste mesmo estilo que possibilitem uma compreensão mais apurada da interação entre intuição e razão. Neste sentido, o presente trabalho avança um primeiro passo na elaboração deste domínio através da apresentação dos dois novos problemas abaixo, ainda não propriamente testados:

*Team size times the number of teams leads to 64 players this season.*

*There are four times as many teams as the team size.*

*What is the team size?*

*900 dollars were equally split among thieves before one was caught.*

*The amount recaptured divided by 9 equals the number of thieves.*

*How much was recaptured?*

Podemos, finalmente, revisar as principais proposições desta tese: a primeira trata da literatura vigente, a segunda delimita nosso interesse de estudo, enquanto as duas últimas apresentam os postulados teóricos desenvolvidos neste trabalho.

**Proposição 1.** *Em uma gama de problemas, pessoas tendem a responder automática e impulsivamente, sem perceber que seu comportamento é inconsistente com o que considerariam ideal. A este tipo de respostas, denominou-se uma resposta “sistema 1”, sugerindo a existência de um “sistema” ou “módulo” com características de “respostas rápidas e impulsivas”. Estas respostas “sistema 1” são extremamente importantes pois pessoas podem tomar sérias decisões errôneas, afetando suas vidas pessoais ou o ambiente das organizações e da economia em que estão inseridas.*

**Proposição 2.** *As teorias vigentes trazem inúmeras proposições sobre os supostos sistemas 1 e 2. Entretanto, pouco foi explorado sobre a subcognição envolvida na interação entre os sistemas. Como podemos explicar o sutil, subliminar processamento de informações que ocorre durante uma resposta sistema 1 (ou ainda sistema 2)? Como os sistemas interagem? Como podemos modelar os sistemas de forma que tenhamos uma visão mais detalhada de suas micro-partes?*

**Proposição 3.** *Esta tese propõe que os sistemas 1 e 2 são subprodutos emergentes de uma série de processos impulsivos, subcognitivos, operando de acordo com ativações de uma rede semântica, e construindo e destruindo estruturas em uma área de trabalho (correspondente à short term memory humana). Tanto em respostas sistema 1 quanto sistema 2 há operações ocorrendo na rede semântica e na área de trabalho—o que torna difícil relacionar um destes sistemas diretamente à rede semântica ou à área de trabalho.*

**Proposição 4.** *Postulamos que tanto em respostas sistema 1 quanto em respostas sistema 2 há um grande número de impulsos operando simultaneamente. À medida em que estes impulsos ativam conceitos na rede semântica, e estruturas são criadas na área de trabalho, o grau de “desordem”, “entropia”, ou “temperatura” cai. Postulamos que a distinção fundamental entre os sistemas 1 e 2 seria, então, a prematura convergência desta medida no sistema 1. O que traria respostas sistema 2 seria “o impulso de não ceder a impulsos”—o impulso, adquirido com o aprendizado, de não aceitar a representação inicial criada após uma rápida queda de ‘entropia/temperatura’ sem testá-la previamente.*

Espera-se que próximas pesquisas tornem possível implementar e simular o modelo proposto numa arquitetura computacional que experimente suas estratégias contra uma gama de problemas System 1 e System 2. Isto seria um grande passo em direção à demonstração dos mecanismos e trajetórias aqui postulados. Outra possibilidade é o estudo de novos domínios que auxiliem na construção de teoria mais gerais, e com maior valor preditivo sobre a interação entre intuição e razão nas decisões e julgamentos humanos. Isto impulsionaria o desenvolvimento de todas as disciplinas que têm algum envolvimento com as ciências da decisão: psicologia, economia, ciência cognitiva, ciência política, contabilidade, e, obviamente, a administração.

## Capítulo 6. Referências

1. BERNOULLI, D. Exposition of a new theory on the measurement of risk. **Econometrica**, 22, 23–36, 1954. (Original work published in 1738)
2. BONGARD, M.M. **Pattern Recognition**. New York: Spartan Books. 1970.
3. CHAIKEN, S., & TROPE, Y. **Dual-process theories in social psychology**. New York: Guilford Press; 1990.
4. CHALMERS, D., FRENCH, B., HOFSTADTER, D., High-level perception, representation, and analogy: a critique of artificial intelligence methodology. **Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence**, 4, 185-211, 1992.
5. DEFAYS, D. (personal communication) **Source code of the NUMBO project**. Université de Liège, Belgium, 2005.
6. DEFAYS, D. **L'Esprit en Friche: Les Foisonnements de l'intelligence artificielle**. Liège : Pierre Mardaga, 1988.
7. DEFAYS, D. Numbo: A study in cognition and recognition. In **Fluid concepts and creative analogies: Computer models of the fundamental mechanisms of thought** (pp.131-154), HOFSTADTER, D. R. & FARG . New York: Basic Books, 1995.
8. DOWKER, Ann. et al. Estimation strategies of four groups. **Mathematical Cognition**, 2(2), 113-135, 1996.
9. EPSTEIN, S. Integration of the cognitive and psychodynamic unconscious. **American Psychologist**, 49, 709-724, 1994.
10. EPSTEIN, S. et al. Irrational reactions to negative outcomes: Evidence for two conceptual systems. **Journal of Personality and Social Psychology**, 62, pp.328-339, 1999.
11. FREDERICK, S. **Correspondência pessoal**, 2004.
12. FREDERICK, S. Measuring intergenerational time preference: Are future lives valued less? **Journal of Risk & Uncertainty**. 26(1). 39-53, 2003.
13. FREDERICK, S. On the ball: cognitive reflection and decision making. **Working paper**. July, 2005.
14. FRENCH, R. M. **The Subtlety of Sameness: A Theory and Computer Model of Analogy-Making**. Cambridge, MA: The MIT Press/Bradford Book, 1995.
15. FRENCH, R.M. Tabletop: an emergent stochastic computer model of analogy making. **Tese de Doutorado**, Universidade de Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1992.
16. FRENCH, R.M. Tabletop: an emergent stochastic computer model of analogy making. **Tese de Doutorado**, Universidade de Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1992.
17. GILBERT, D. T. How mental systems believe. **American Psychologist**, 46, 107-119, 1990.
18. GILBERT, D. T. What the mind's not. In **Dual process theories in social psychology** (pp.3-11), S. Chaiken & Y. Trope (Eds.). New York: Guilford, 1999.
19. GILOVICH, T., Griffin, D. Introduction – Heuristics and Biases: Then and Now. In T. Gilovich, D. Griffin, & D. Kahneman (Eds.), **Heuristics and Biases** (pp.421-440). New York: Cambridge University Press, 2002.

20. HOFSTADTER, D, & FARG (1995) **Fluid concepts and creative analogies: computer models of the fundamental mechanisms of thought**. New York: Basic Books, 1995.
21. HOFSTADTER, D. R. **Godel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid**. New York: Basic Books, 1979
22. HOFSTADTER, D. R. **Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern**. New York: Basic Books, 1985.
23. HOFSTADTER, D. R. The Copycat Project: An Experiment in Nondeterminism and Creative Analogies. In **MIT Artificial Intelligence Laboratory Memo N. 755**, Janeiro, 1984.
24. KAHNEMAN, D. A perspective on judgment and choice: Mapping bounded rationality. *American Psychologist*, vol. 58, No.9, 697-720, 2003.
25. KAHNEMAN, D. A psychological point of view: Violations of rational rules as diagnostic of mental processes (Commentary on Stanovich and West). **Behavioral and Brain Sciences**, 23, 681-683, 2000.
26. KAHNEMAN, D., & TVERSKY, A. (1982b). On the study of statistical intuitions. In D. Kahneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds.), **Judgment under uncertainty: Heuristics and biases** (pp. 493–508). New York: Cambridge University Press, 1982.
27. KAHNEMAN, D., FREDERICK, S. Representativeness revisited: Attribute substitution in intuitive judgment. In T. Gilovich, D. Griffin, & D. Kahneman (Eds.), **Heuristics and Biases** (pp.421-440). New York: Cambridge University Press, 2002.
28. LINHARES, A. (2005). An active symbols theory of chess intuition. **Minds and Machines**, vol 15, n.2, 131-181.
29. LINHARES, A. A glimpse at the metaphysics of Bongard Problems. **Artificial Intelligence**, 121, 251-270, 2000.
30. MCGRAW, G. E. Letter Spirit (Part One): Emergent High-Level Perception of Letters Using Fluid Concepts. **Tese de Doutorado**, Universidade de Indiana, 1995.
31. MITCHELL, M., & HOFSTADTER, D. R. The emergence of understanding in a computer model of concepts and analogy-making. **Physica D**, 42, 322-334, 1990.
32. REHLING, J. Letter Spirit (Part Two): Modeling Creativity in a Visual Domain. **Tese de Doutorado**, Universidade de Indiana, 2001.
33. SILVA, J. How numbers make us number. **Working paper**; 2005.
34. SIMON, H. A. Rational decision-making in business organizations: Nobel memorial lecture (1978). Retrieved December 01, 2004, from <http://www.nobel.se/economics/laureates/1978/simon-lecture.html>.
35. SLOMAN, S.A. The empirical case for two systems of reasoning. *Psychological Bulletin*, 119, 3-22, 1996.
36. SLOMAN, S.A. Two systems of reasoning. In T. Gilovich, D. Griffin, & D. Kahneman (Eds.), **Heuristics and Biases** (pp.379-396). New York: Cambridge University Press, 2002.
37. SMITH, B. **On the origin of the objects**. Cambridge: The MIT Press, 1996.
38. STANOVICH, K. E., & WEST, R. F. Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate. **Behavioral and Brain Sciences**, 23, 645-665, 2000.
39. STANOVICH, K. E., & WEST, R. F. Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate. In T. Gilovich, D. Griffin, & D.

- Kahneman (Eds.), **Heuristics and Biases** (pp.421-440). New York: Cambridge University Press, 2000.
40. TVERSKY, A. & KAHNEMAN, D. (1973). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. **Cognitive Psychology**, 5, 207-232.
  41. TVERSKY, A. & KAHNEMAN, D. (1982). Judgments off and by representativeness. In D. Kahneman, P. Slovic, & A. Tversky (Eds.), **Judgment under uncertainty: Heuristics and biases** (pp. 84–98). New York: Cambridge University Press
  42. TVERSKY, A. & KAHNEMAN, D. Extensional vs intuitive reasoning: The conjunction fallacy in probability judgment. In T. Gilovich, D. Griffin, & D. Kahneman (Eds.), **Heuristics and Biases** (pp.19-48). New York: Cambridge University Press, 2002.
  43. TVERSKY, A. & KAHNEMAN, D. Extensional vs intuitive reasoning: The conjunction fallacy in probability judgment. **Psychological Review**, 90, 293-315, 1983.
  44. TVERSKY, A., & KAHNEMAN, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. **Science**, 185, September 27, 1124–1131.
  45. TVERSKY, A., & KAHNEMAN, D. (1981, January 30). The framing of decisions and the psychology of choice. **Science**, 211, 453–458.

Capítulo 7. Anexo I – Resultados Preliminares do Experimento

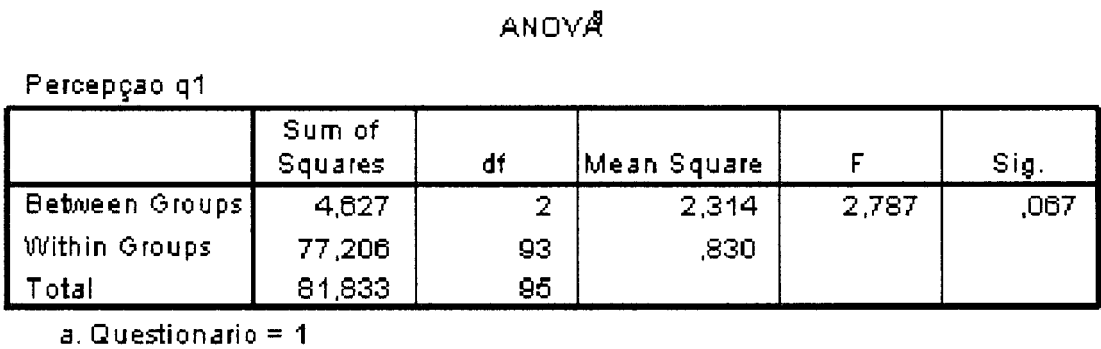


Figura 7.1 ANOVA da versão *system 1* do problema do “taco e da bola”.

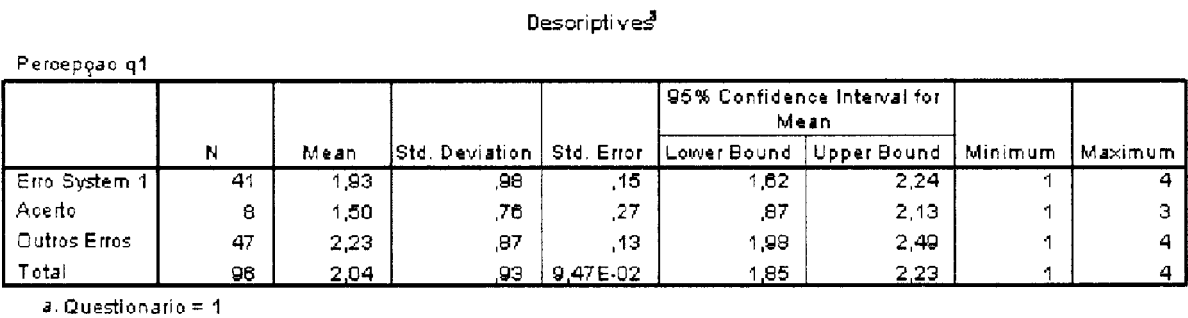


Figura 7.2 Estatística descritiva da versão do *system 1* “taco e da bola”

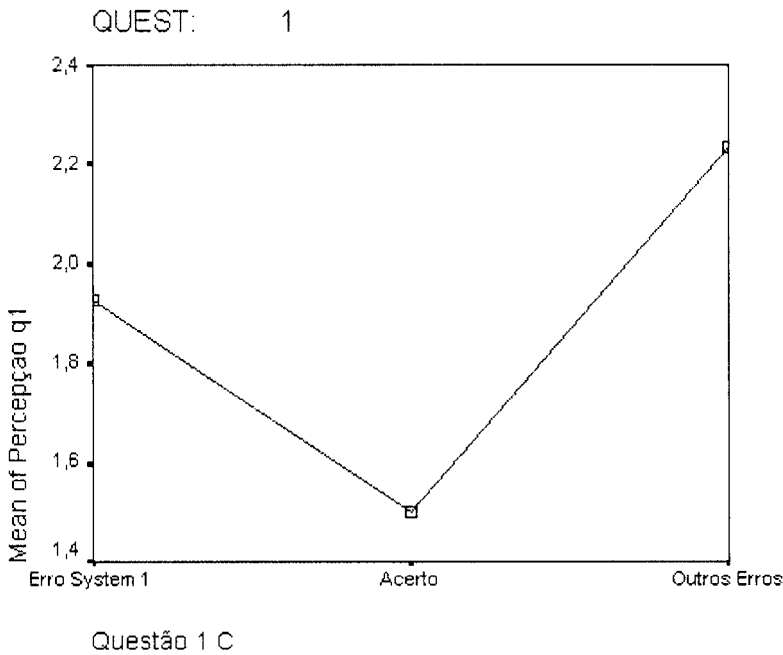


Figura 7.3 Percepção média da versão *system 1* do “taco e da bola”.

Test Statistics

	Percepcao q1
Chi-Square <sup>a</sup>	149,489
df	4
Asymp. Sig.	,000

a. 0 cells (.0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 53,2.

Figura 7.4 Chi-Square do “taco e da bola” com variações dos parâmetros.

Percepcao q1

	Observed N	Expected N	Residual
1	99	53,2	45,8
2	97	53,2	43,8
3	51	53,2	-2,2
4	17	53,2	-36,2
5	2	53,2	-51,2
Total	266		

Figura 7.5 Frequências do teste Chi-Square do “taco e da bola”.



Capítulo 8. Anexo II – Experimento de Frederick

School	mean score	# correct on CRT				Total # of resp.
		0	1	2	3	
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	2.18	4	10	18	29	61
Princeton University (PTN)	1.63	22	33	34	32	121
Boston residents watching Fireworks (FWD)	1.53	47	48	50	50	195
Carnegie Mellon University (CMU)	1.51	185	183	190	188	746
Harvard University (HAR)	1.43	10	19	12	10	51
University of Michigan: Ann Arbor (UM)	1.18	353	370	250	153	1126
Participants in Web-based study (WEB)	1.10	204	133	118	70	525
University of Michigan: Dearborn (UMD)	0.83	78	34	32	10	154
Michigan State University (MSU)	0.79	58	34	19	7	118
University of Toledo (UTO)	0.57	88	29	14	7	138
Average	1.25	1049	893	737	556	3235
		32%	28%	23%	17%	100%

Figura 8.1 Mean Score CRTs (Frederick, 2005).