

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

LICURGO BENEMANN DE ALMEIDA

Uma Proposta de Modelo Fisiológico de Emoções

Dissertação apresentada como requisito
parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Ciência da Computação

Profa. Dra. Ana Lúcia C. Bazzan
Orientadora

Porto Alegre, junho de 2004

CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Almeida, Licurgo Benemann de

Uma Proposta de Modelo Fisiológico de Emoções / Licurgo Benemann de Almeida. – Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Computação, 2004.

104f.: il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Computação, Porto Alegre, BR-RS, 2004. Orientador: Ana Lúcia C. Bazzan.

1. Inteligência Artificial. 2. Modelo de Emoções. 3. Emoções na Inteligência Artificial. 4. Modelos Fisiológicos de Inteligência. I. Bazzan, Ana Lúcia. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitora: Prof^a Wrana Panizzi

Pró-Reitor de Ensino: Prof. José Carlos Ferraz Hennemann

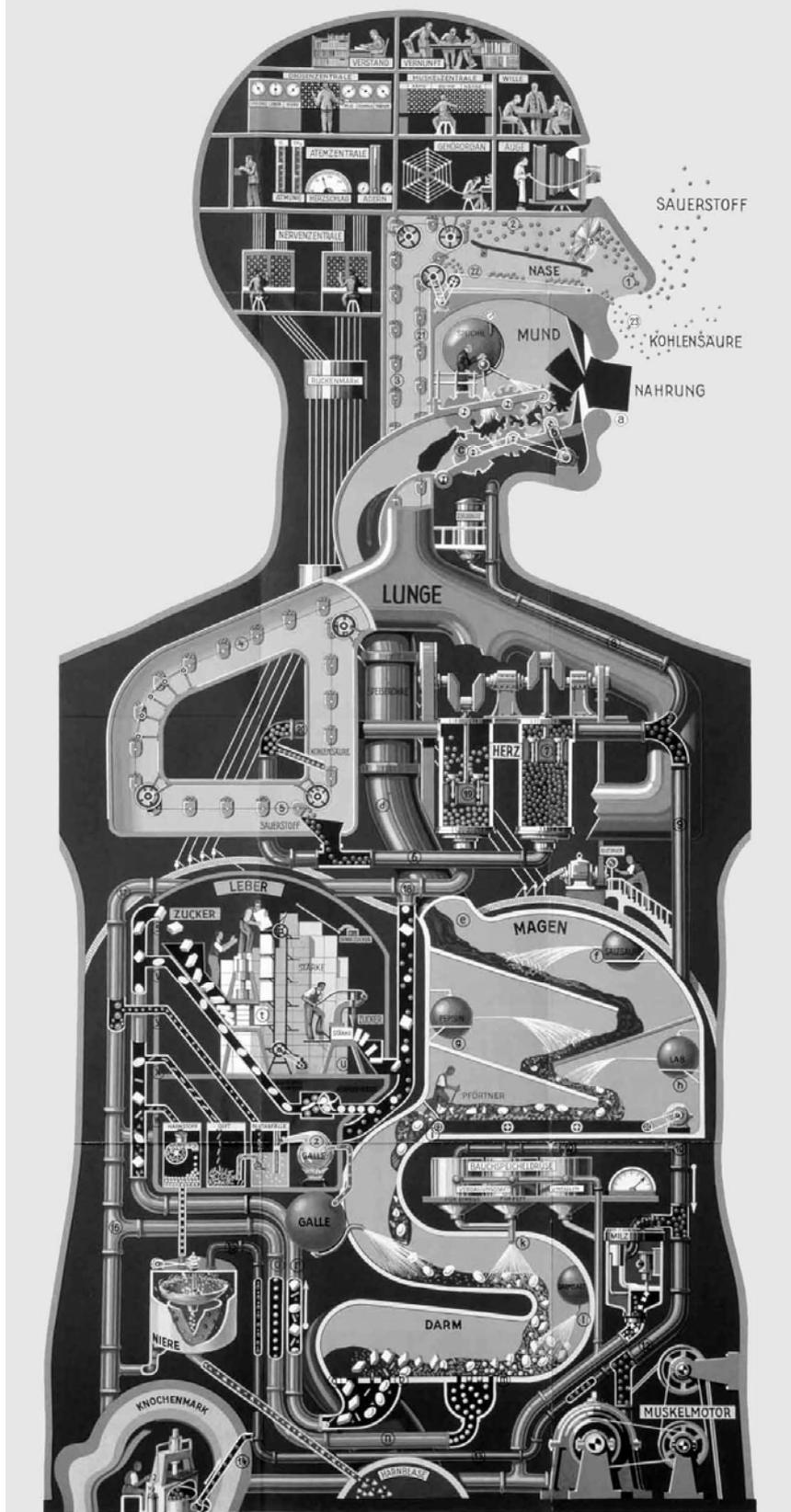
Pró-Reitora Adjunta de Pós-Graduação: Prof^a Jocélia Grazia

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Philippe Olivier Alexandre Navaux

Coordenador do PPGC: Prof. Carlos Alberto Heuser

Bibliotecária-chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

Der Mensch als Industriepalast



O homem como um palácio industrial, Fritz Kahn (1926)

Dedico este trabalho aos meus pais e a minha irmã por estarem sempre presentes, por me incentivarem e participarem, de forma tão fundamental, em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Sou grato a todos que, de alguma maneira, ajudaram-me ao longo da elaboração deste trabalho. No entanto, gostaria de agradecer especialmente a algumas pessoas cuja colaboração foi de importância inestimável.

Aos meus pais que nunca mediram esforços para me ajudar em todos os desafios que enfrentei e a quem devo todas as conquistas até agora.

À minha orientadora, Professora Ana Lúcia Bazzan, por me auxiliar nos rumos deste trabalho e pelo exemplo de seriedade, dedicação, profissionalismo. Um modelo que vou sempre procurar me espelhar em minha vida profissional.

Ao colega e amigo Filipo Perotto pelas palavras certas no momento exato.

Ao meu irmão, Márcio Rodrigues, pela amizade e paciência com que se dedicou a me ajudar; fosse através de fervorosas discussões de vários detalhes do trabalho ou auxiliando-me, com seu conhecimento em medicina, a manter a coerência do modelo.

Aos professores Roni Quevedo e Renato Flores que dedicaram tempo a me guiar em assuntos completamente novos para mim; acreditaram e incentivaram minhas idéias.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	9
RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 CIÊNCIA COGNITIVA.....	16
2.1 As Metas da Ciência Cognitiva	16
2.2 Principais Disciplinas da Ciência Cognitiva	17
2.2.1 Psicologia	17
2.2.2 Inteligência Artificial.....	17
2.2.3 Lingüística	18
2.2.4 Filosofia.....	18
2.2.5 Neurociência.....	18
3 SOBRE AS EMOÇÕES	20
3.1 Usos e definições inconsistentes da emoção.....	20
3.2 Qual a Função das Emoções?	21
3.2.1 Funções intrapessoais	22
3.2.2 Funções interpessoais	22
3.3 Classificação das Emoções	23
3.3.1 Emoções básicas e discretas	23
3.3.2 Espaços emocionais e dimensionamento contínuo.....	25
3.4 Modelos de Emoções.....	25
3.4.1 Exemplos de modelos de emoções	26
3.4.2 Abordagens para Emoções	28
3.4.3 Por que um modelo apoiado na biologia?	31
4 ARQUITETURA H-COGAFF	35
4.1 Três Níveis de Emoção	35
4.1.1 Emoções primárias	36
4.1.2 Emoções secundárias.....	36
4.1.3 Emoções terciárias.....	38
4.2 As Três Camadas Arquitetônicas.....	38
4.2.1 Camada reativa	38
4.2.2 Camada deliberativa	40
4.2.3 Camada meta-gerente	41
5 ESTRUTURA DE CONTROLE	43
5.1 Um Cérebro Para Controlar Tudo	43

5.2	Darwinismo Neuronal	44
6	SOBRE A FISILOGIA	49
6.1	Processos Homeostáticos	49
6.2	Sistema Respiratório	51
6.3	Sistema Digestivo e de Absorção de Alimentos.....	52
6.4	Sistema Renal.....	53
6.5	Sistema Circulatório.....	54
6.6	Sistema Endócrino.....	55
6.7	Sistema Nervoso.....	59
6.7.1	Sistema nervoso somático	60
6.7.2	Sistema Nervoso Visceral.....	61
7	MODELO FISIOLÓGICO DE EMOÇÕES.....	64
7.1	O combustível para que tudo funcione	65
7.2	Superclasse Órgão	65
7.2.1	Atributos	66
7.2.2	Operações	66
7.3	Classes do Sistema Respiratório.....	68
7.3.1	Classe Pulmão	68
7.3.2	Classe Diafragma.....	68
7.4	Classes do Sistema Digestivo e de Absorção de Alimentos	69
7.4.1	Classe Boca	70
7.4.2	Classe Fígado.....	70
7.4.3	Classe Intestino Delgado	71
7.4.4	Classe Intestino Grosso	71
7.4.5	Classe Repositório	72
7.5	Classes do Sistema Renal	72
7.5.1	Classe Rim.....	72
7.5.2	Classe Bexiga	73
7.6	Classes do Sistema Circulatório	73
7.6.1	Classe Coração	73
7.6.2	Classe Hemácia	74
7.6.3	Classe Vaso	75
7.7	Classes do Sistema Endócrino	76
7.7.1	Classe Supra-Renal.....	76
7.7.2	Classe Gônada	76
7.8	Outras Classes.....	77
7.8.1	Classe Músculos	77
7.8.2	Classe Pele.....	78
7.8.3	Classe Aparelho Reprodutor.....	78
7.9	Classes do Sistema Nervoso	79
7.9.1	Sistema Nervoso Somático.....	79
7.9.2	Sistema Nervoso Autônomo.....	82
7.10	Emoções	87
7.10.1	Estado emocional negativo (medo)	88
7.10.2	Estado emocional positivo (desejo sexual).....	89
8	VALIDAÇÃO.....	91
8.1	Modelo Fisiológico de Emoções e Arquitetura H-CogAff.....	91
8.2	Cenário	94

8.2.1	SeSAm.....	95
8.2.2	Ambiente	95
8.2.3	Classes do agente.....	96
8.2.4	Comportamento	98
9	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	100
	REFERÊNCIAS.....	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Emoções básicas e derivadas de Plutchik	25
Figura 3.2 Dimensionamento contínuo das emoções	26
Figura 3.3 Modelo OCC	29
Figura 4.1 Camada reativa.....	39
Figura 4.2 Camada deliberativa.....	40
Figura 4.3 Camada meta-gerente.....	41
Figura 5.1 Mapas de áreas visuais do cérebro.....	45
Figura 5.2 Reentrada entre dois mapas.....	47
Figura 6.1 O ciclo auxiliar existe para manter o ciclo principal.....	50
Figura 6.2 Sistema respiratório.....	51
Figura 6.3 Sistema digestivo e de absorção.....	52
Figura 6.4 Sistema Renal.....	54
Figura 6.5 Sistema Circulatório.....	56
Figura 6.6 Sistema endócrino	58
Figura 6.7 Divisões do sistema nervoso autônomo	63
Figura 7.1 Superclasse órgão e suas subclasses	67
Figura 7.2 Sistema circulatório.....	74
Figura 7.3 Classes do SNS e suas associações	82
Figura 7.4 Classes do SNA e classes que apresentam associação com a classe Hip.....	84
Figura 7.5 Classes do SNA e sua relação com as atividades simp. e parassimp.....	86
Figura 8.1 Modelo Fisiológico de Emoções e Arquitetura H-CogAff	93
Figura 8.2 Ambiente de simulação	94
Figura 8.3 Exemplo de comportamento do agente	96
Figura 8.4 Influência da adrenalina no desempenho dos órgãos.....	99

RESUMO

Este trabalho apresenta o Modelo Fisiológico de Emoções. Este modelo trata a inteligência através de um ponto de vista biológico. O comportamento de cada componente é avaliado de forma independente e evitando abstrações que não estão de acordo com o funcionamento do corpo. O Modelo Fisiológico de Emoções contém um organismo simplificado incluindo apenas um restrito grupo de órgãos e tecidos constantemente gerando diferentes estímulos agindo como geradores de intenção. O modelo também difere de abordagens cognitivas e considera um restrito grupo de estados emocionais com manifestações fisiológicas diferentes influenciando a tomada de decisão. O pequeno grupo de órgãos pode produzir diferentes estados fisiológicos quando o organismo está comendo, correndo ou mostrando algum estado emocional específico. O trabalho ainda mostra a implementação de um agente construído com base no modelo.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Modelo de Emoções; Emoções na Inteligência Artificial; Modelos Fisiológicos de Inteligência.

A Proposal of Physiological Model of Emotions

ABSTRACT

This work presents the Physiological Model of Emotions. This model deals with intelligence from a biological point of view. The behavior of each component is evaluated in an independent form thus avoiding abstractions that do not resemble the body's functioning. Therefore, the Physiological Model of Emotions contains a simplified organism including only a restrict group of organs and tissues constantly generating different stimuli and acting as generator of intentions. The model also differs from cognitive approaches and considers a restricted set of emotional states with significantly different physiologic manifestations in the body, influencing the decision-making. The small set of organs can produce different physiological states when the organism is eating, running, or showing some specific emotional state. This work also shows the implementation of an agent built from the model.

Keywords: Artificial Intelligence; Model of Emotions; Emotions in Artificial Intelligence; Physiological Models of Intelligence.

1 INTRODUÇÃO

O filósofo A. Sloman apresenta já no título de (SLOMAN, 1998) a seguinte pergunta: “*Que tipos de máquinas são capazes de amar?*” e, como resposta, sugere uma arquitetura abstrata que além de classificar o amor e todas as outras emoções em categorias distintas, apresenta os requisitos necessários a uma máquina que almeje sentir emoções; a chamada arquitetura H-CogAff. O filósofo dá um grande valor às emoções, pois, segundo ele, os estados emocionais são um aspecto muito importante do comportamento inteligente de homens e outros animais. A idéia de que emoções são importantes para a inteligência artificial (IA) é, no entanto, ainda muito recente.

Não é novidade que o grande sonho da IA, desde sua criação, é a concepção de uma máquina inteligente como o homem. E para que isso fosse possível, esta máquina teria de fazer mais do que provar teoremas e ganhar partidas de Xadrez; ela teria de ser capaz de possuir pensamentos, sensações, esperanças, ambições e, provavelmente, experimentar o mundo de forma similar ao homem e outros animais. No entanto, poucas das capacidades citadas acima podem ser imaginadas sem os estados emocionais.

Na famosa Conferência de Dartmouth em 1956, onde foi cunhada a expressão “Inteligência Artificial”, os cientistas acreditavam estar muito próximo de desvendar os mistérios da manipulação simbólica e da inteligência. O fato, na época, ainda foi reforçado pelo trabalho apresentado por A. Newell e H. Simon nesta mesma conferência. Os dois cientistas tinham uma máquina genuinamente inteligente capaz de resolver problemas matemáticos (MCCORDUCK, 1979).

O clima de euforia surgido na Conferência de Dartmouth a respeito da IA fez com que toda a comunidade científica acabasse por criar grandes expectativas sobre o futuro da área. Esperava-se criar máquinas inteligentes dentro de poucos anos. Infelizmente o tempo e uma série de resultados frustrantes fez os maiores entusiastas do assunto concluírem que criar um comportamento inteligente numa máquina é bem mais difícil do que se imaginava em 1956. A declaração de A. Newell apresentada em (MCCORDUCK, 1979) mostra o conceito de mente da época como uma máquina lógica: “*Quando comecei a pensar que se podia ver o computador como um aparato para processar informação, não só números, então a metáfora que eu estava utilizando, a da mente como algo que tomava algumas premissas, as fundamentava e processava para extrair conclusões começou a transformar-se na idéia de que a mente era algo que tomava algumas entradas (programas e dados), processava sobre os dados e produzia uma saída*”.

Nos últimos tempos, trabalhos como o do neurologista A. Damásio em (DAMÁSIO, 1996) trouxeram à luz novas teorias sobre inteligência, unificando cognição com emoção e cérebro com corpo. A mente, gradativamente, parou de ser vista como a máquina lógica de Newell; também se percebeu que a manipulação completa dos símbolos não era alcançada através da lógica pura. Tanto a razão quanto a emoção deveriam ser levadas em consideração na construção de um comportamento

inteligente. Surgem com isso outros problemas: como representar as emoções e como trabalhar com as emoções dentro da IA? Trabalhos no ramo das emoções (EKMAN; DAVIDSON, 1994; DE SOUSA, 2003) indicam que os estados emocionais ainda hoje se mostram complexos, multifacetados e muito mal definidos. Boa parte dos cientistas cognitivos não concorda a respeito de questões como: existência de emoções básicas, controle das emoções, relação entre emoções e memória, fisiologia das emoções, entre outras. Contudo, a grande maioria concorda que as emoções apresentam um papel central na autonomia e na adaptação de sistemas biológicos.

É relativamente simples modelar o comportamento de um carro no computador; o carro é uma máquina criada pelo homem; não existem aspectos obscuros no funcionamento deste. Como se sabe tudo que um carro é capaz de fazer e como ele faz cada uma dessas capacidades é possível se utilizar um conceito de engenharia reversa para modelar o seu comportamento, partindo dos resultados finais para atingir um modelo capaz de efetuar as mesmas ações.

O conceito da engenharia reversa sempre foi amplamente aplicado dentro da IA e, como ocorre normalmente neste processo, os meios utilizados costumam ser diferentes do original, embora os resultados finais sejam bem próximos. Os robôs mineradores mostrados em (STEELS, 1990) podem atingir um resultado muito similar a um homem que esteja também à procura do minério, mas certamente os processos cognitivos usados pelos robôs e pelo homem foram muito diferentes. Programas que procuram simular linguagem natural como o ELIZA, proposto por J. Weizenbaum em (WEINZENBAUM, 1960) podem até iludir algum desavisado por um certo tempo e, com isso, cumprir sua tarefa de estabelecer um diálogo com um interlocutor humano. No entanto, os processos usados pelo ELIZA são muito diferentes dos usados pela outra pessoa que participa do diálogo.

A questão das emoções dentro da IA pode ser tratada de forma similar, procurando rotular os principais tipos de emoção e aplicar em situações específicas, por exemplo: Se *detectar* inimigo *então* medo. Neste caso, a emoção “medo” foi modelada como efeito resultante do evento “detectar inimigo”. Do ponto de vista computacional, o modelo acima é muito eficiente, já que todos os processos cognitivos e emocionais foram reduzidos a uma linha de código. Por outro lado, tamanha simplificação não pode ser utilizada em qualquer caso.

Se a meta acima fosse modelar os efeitos de outras emoções a situação poderia ser um pouco mais complicada; provavelmente o problema não se resolveria numa linha de código. Os eventos que resultam na emoção amor ou numa ação extrema, como o suicídio, não costumam ser muito simples ou diretos nem apresentar uma sintaxe definida. Isto é um dos grandes desafios de se trabalhar com emoções dentro da IA. Não há uma definição das regras que determinam boa parte dos estados emocionais.

As emoções são um fenômeno biológico, portanto, uma alternativa razoável seria tratá-las por uma ótica biológica e não à maneira tradicional utilizada dentro das ciências normativas, que é a ótica da física. Segundo H. Maturana em (MATURANA; VARELA, 1997), a física opera com leis gerais, sem se preocupar com os entes que provocam ou realizam tais fenômenos, enquanto que a biologia procura avaliar o comportamento de cada ente que compõe o fenômeno de forma distinta. Dentro da inteligência artificial, a abordagem física, provavelmente por ser a mais difundida, foi sempre mais utilizada; isso se mostra claro no trecho abaixo extraído também de (MATURANA; VARELA, 1997): “*Durante os anos 1958 e 1959, após doutorar-me na Universidade de Harvard, trabalhei no Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), no departamento de engenharia elétrica. Nesse departamento, também havia um laboratório de inteligência artificial. Ao passar todos os dias perto do laboratório, sem*

entrar nele, escutava as conversas dos mais eminentes pesquisadores em robótica na época, os quais diziam que eles faziam era usar como modelos os fenômenos biológicos. Marvin Minsky era um deles. A mim parecia, ao escutá-los, que o que eles faziam era não era modelar nem imitar fenômenos biológicos, senão imitar ou modelar a aparência deles no âmbito de sua visão de observadores”.

As idéias de Maturana vão de encontro às apresentadas por H. Dreyfus em (DREYFUS, 1972). Neste livro, o autor tenta demonstrar que é errôneo supor que a IA simbólica descreve a cognição. Diz isso por crer que os pesquisadores estavam confundindo as regras que uma pessoa está seguindo para fazer algo com as regras que se pode utilizar para descrever o que ela está fazendo (por exemplo, o movimento dos planetas; suas órbitas podem ser descritas através de equações, mas os planetas não as resolvem para se mover).

Ao se rotular como “medo” uma determinada emoção, não se está levando em consideração os processos biológicos geradores desse medo, mas sim, avaliando os resultados dos referidos do ponto de vista do observador, não necessariamente correto ou verdadeiro. Pela ótica biológica, não se deveriam modelar os **efeitos**, mas sim os **mecanismos** causadores destes efeitos; o próprio Sloman já alerta sobre a importância dos mecanismos geradores dos estados emocionais, em (SLOMAN, 2004). Portanto, a mesma situação “*Se detectar inimigo então medo*” mostrada acima poderia ser vista assim: se detectar inimigo então a glândula supra-renal libera adrenalina. A adrenalina então, quando detectada pelos diferentes órgãos e tecidos resultaria em fenômenos como vasoconstrição cutânea, vasodilatação nos músculos, dilatação dos brônquios, diminuição do peristaltismo intestinal, fechamento dos esfíncteres, entre outros. Todos esses fenômenos independentes, atuando num mesmo momento e associados a alguma idéia negativa (de perigo, por exemplo) são a verdadeira manifestação do medo. Esta “idéia negativa associada com manifestações fisiológicas” é um conceito muito vago e vem daí o grande desafio de se trabalhar com emoções dentro da IA.

A partir de então, é fundamental ressaltar que o presente trabalho não tem nenhuma pretensão de apresentar uma nova teoria para as emoções, muito menos criticar as idéias propostas por psicólogos, psiquiatras e demais pensadores do assunto. O objetivo deste trabalho está diretamente ligado à arquitetura H-CogAff de A. Sloman. Como já foi dito, esta arquitetura apresenta os requisitos necessários para a construção de uma criatura artificial inteligente que utilize os mais variados tipos de estados emocionais. O filósofo, no entanto, se limita a propor requisitos e não define a forma como as emoções devem ser tratadas. O trabalho apresentado nesta dissertação busca algumas respostas às determinações de Sloman, através da especificação do Modelo Fisiológico de Emoções (MFE). Este é um modelo inspirado na abordagem biológica que fornece substrato para a representação de emoções; um modelo onde as emoções não são fruto da avaliação externa de um observador, mas produto da interação de diversos componentes independentes de um organismo. Componentes que atuam de forma dinâmica, em favor de um bem maior que é o organismo em si. Os diversos órgãos, como um resultado complementar, atuam como geradores de intencionalidade ao organismo. O trabalho também pretende romper com a idéia clássica de uma inteligência completamente racional e localizada no cérebro, inspirando-se nas idéias de comportamento inteligente resultante das interações entre cérebro e corpo, apresentadas por A. Damásio em (DAMÁSIO, 1996) procurando aproveitar uma pequena parte dos conhecimentos obtidos pela neurociência a respeito do cérebro, estreitando, ainda que de forma superficial, a ligação entre a neurociência e a ciência cognitiva.

É importante também, desde já, apresentar os limites do trabalho. O MFE trata de um modelo fisiológico estilizado de corpo e cérebro onde cada órgão é especificado de

acordo com sua funcionalidade. O modelo também não trata nenhum processo cognitivo e procura se encaixar na primeira camada da arquitetura H-CogAff.

Através do MFE, o trabalho procura fornecer os substratos necessários para a construção de criaturas artificiais inteligentes capazes de comportamentos mais sofisticados e similares aos dos animais. Busca também avaliar as emoções de um ponto de vista diferente do apresentado até hoje dentro da IA, abstenendo-se da influência do observador e manipulando-as de forma similar a um organismo vivo. A fim de cumprir a tarefa que se propõe, esta dissertação está organizada da seguinte forma: os próximos cinco capítulos tratam do referencial teórico que serviu de base para a construção do modelo enquanto os três últimos compõem a verdadeira contribuição do trabalho.

O capítulo a seguir apresenta uma breve descrição da ciência cognitiva, bem como as diversas disciplinas que a compõem, além disto, o capítulo também tenta contextualizar o MFE dentro do cenário atual desta ciência. O capítulo três trata das emoções, apontando usos inconsistentes da palavra emoção e tratando de alguns aspectos fundamentais, como definição, função e, principalmente, critérios de classificação das emoções. Por fim, o capítulo ainda apresenta uma argumentação em favor da abordagem biológica para a criação de criaturas artificiais inteligentes. O capítulo quatro apresenta um detalhamento da arquitetura que serviu de base para a construção do MFE; a arquitetura H-CogAff de A. Sloman. O capítulo detalha a forma de classificação das emoções conforme as idéias de Sloman e explica o papel das três camadas que compõem a arquitetura. O quinto capítulo é fundamental para a compreensão do cérebro especificado para o MFE, pois relata, de forma resumida, a teoria de G. Edelman sobre o funcionamento dos neurônios. Esta teoria serviu de base para a criação das estruturas cerebrais do modelo. O capítulo seis mostra uma breve explanação sobre a fisiologia humana e descreve os principais sistemas de órgãos do corpo.

O capítulo mais importante do trabalho é, sem dúvida, o capítulo sete, onde todo o MFE é especificado detalhadamente, tanto o modelo do corpo como o do cérebro. Neste capítulo, são mostrados estados emocionais considerados importantes para a construção de uma criatura artificial baseada no modelo. Após a especificação do modelo, o oitavo capítulo compara o MFE com a arquitetura H-CogAff de Sloman e descreve o cenário utilizado na simulação de uma criatura artificial baseada no MFE. Por fim, ficam reservadas ao capítulo nove algumas considerações finais sobre o trabalho e conclusões a fim de complementar o conteúdo apresentado em toda a dissertação.

2 CIÊNCIA COGNITIVA

No capítulo anterior, foi dito que um dos objetivos deste trabalho era construir um modelo de emoções que, efetivamente, estreitasse a distância entre a neurociência e a ciência cognitiva. Por isso, este capítulo não trata de um assunto diretamente relacionado à especificação do MFE, mas sim, procura definir o escopo da ciência cognitiva e as numerosas dimensões por onde este campo pode ser explorado.

Visto que muitos métodos diferentes são usando na pesquisa da ciência cognitiva, várias abordagens conceituais diferentes foram trazidas para este campo e um grande número de arquiteturas para sistemas inteligentes já foi explorado, é uma tarefa trabalhosa descrever de forma sucinta sobre uma área tão ampla. Para tanto, este capítulo procura, inicialmente, apresentar as metas da ciência cognitiva para depois falar sobre as principais disciplinas que contribuíram para sua formação.

2.1 As Metas da Ciência Cognitiva

A ciência cognitiva é o estudo da inteligência e de sistemas inteligentes, tomando como referência o comportamento inteligente como uma computação, apesar de nenhuma definição satisfatória de inteligência ter sido postulada (SIMON; KAPLAN, 1989).

Quando se deseja comparar duas pessoas em escala de inteligência costuma-se construir uma bateria de testes, apresentando uma variedade de tarefas a serem realizadas. Existem inumeráveis tipos destes para se avaliar a capacidade intelectual dos testados; a grande maioria procura testar o conhecimento de um assunto específico, mas aqueles essencialmente rotulados de “testes de inteligência” são desenvolvidos de forma a evitar ao máximo o uso de conhecimentos sobre um assunto específico.

O estudo da inteligência pode ser evidenciado através de muitas abordagens diferentes. Pode-se construir uma teoria abstrata para os processos inteligentes, independente das implementações físicas ou biológicas; pode-se estudar a inteligência humana e animal, procurando uma teoria abstrata para processos inteligentes a partir do comportamento desses organismos inteligentes; pode-se procurar estudar os mecanismos geradores destes comportamentos inteligentes em homens e animais para, a partir disso, criar uma teoria para inteligência; ou ainda pode se estudar a inteligência do computador, procurando aprender os princípios computacionais que definem a organização e comportamento de programas inteligentes. De fato, a ciência cognitiva segue todos esses princípios, alguns por mais de um século, como psicologia experimental.

Já foi dito que a ciência cognitiva tem como objeto de estudo a inteligência e seus processos em humanos, animais, em computadores, por isso é importante apresentar as disciplinas responsáveis pelo surgimento da ciência cognitiva.

2.2 Principais Disciplinas da Ciência Cognitiva

Para se entender a ciência cognitiva é muito importante conhecer as disciplinas que contribuíram para a formação desta e, de que forma cada uma delas contribuiu.

2.2.1 Psicologia

Desde o seu principio a psicologia se preocupa com a inteligência. O domínio do comportamentalismo, durante a metade do século XX, evitou que os psicologistas experimentais se interessassem pelos processos internos do cérebro, fazendo com que estes se limitassem a especulações sobre os processos cognitivos. A pesquisa do cérebro contribuiu muito para a localização de funções em regiões específicas do mesmo, mas também tem pouco a dizer a respeito dos processos cognitivos mais sofisticados.

A psicologia possui várias especializações, cada uma delas acabou trazendo alguma contribuição para a ciência cognitiva. A psicometria trouxe suas medições e componentes da inteligência; a psicologia experimental forneceu uma grande quantidade de informação a respeito da velocidade e limitações dos processos sensoriais, perceptuais, motores e de memória; a psicologia Gestalt apresentou hipóteses sobre os processos que ocorrem em pensamentos complexos. Embora exista alguma comunicação entre estas áreas, cada uma tende a seguir seu próprio caminho, guiada pelo seu próprio paradigma. Um novo paradigma foi necessário para tratar os assuntos mutuamente.

A grande mudança veio com a chamada “revolução do processamento de informações” nas décadas de 1950 e 1960, que viam o pensamento como um processo de manipulação simbólica e usavam simulações no computador como uma forma de construir teorias cognitivas. Uma especialização relativamente nova, a psicolinguística, viu o processamento de informações como uma porta de comunicação entre a psicologia e a linguística.

Com o passar do tempo, a psicologia experimental também passou a adotar o ponto de vista do processamento de informações, sem necessariamente abraçar a simulação em computadores. Isto acabou dividindo o trabalho entre aqueles que freqüentemente utilizavam a simulação de computadores para estudar os chamados “estados mentais de alto nível”, como a formação de conceitos, solução de problemas e uso da linguagem, e aqueles que raramente apelavam para a simulação, concentrando-se nos estudos de memória e percepção.

2.2.2 Inteligência Artificial

Já foi citado anteriormente que a expressão “Inteligência Artificial” foi cunhada em 1956 na conferência de Dartmouth (MCCORDUCK, 1979), isto acabou incorporando a crença de que o conceito de inteligência agora podia ser estendida além de homens e animais para poder incluir sistemas artificiais, no caso, computadores e, por isso, é o centro de intermináveis discussões no meio científico.

Os primeiros programas de inteligência artificial (como o "Logic Theorist", de Newel e Simon) podem ser vistos por alguns como modelos de inteligência abstrata; mas, no entanto, seu desenvolvimento não envolveu nenhuma teoria psicológica de memória ou resolução de problemas.

Em contrapartida, a inteligência artificial também contribuiu muito para a psicologia cognitiva. Por exemplo, a IA forneceu linguagens de programação que permitiram a modelagem de estruturas associativas elaboradas – esquemas, scripts, etc. – para simular importantes propriedades da memória semântica humana. Pesquisas dentro da robótica freqüentemente se apóiam na psicologia para encontrar idéias sobre

esquemas de processamento. De fato, ainda que nem todos os trabalhos dentro da IA se relacionam com a ciência cognitiva e vice-versa, as duas apresentam uma relação muito próxima. Isto fez com que a IA acabasse virando uma espécie de ponto de encontro entre todas as disciplinas que formam a ciência cognitiva.

2.2.3 Lingüística

Segundo (SIMON; KAPLAN, 1989) o estudo da linguagem possui uma história longa e complexa. Até recentemente, ela possuía apenas uma pequena relação com a psicologia e, hoje em dia, é representada dentro da ciência cognitiva com os rótulos *lingüística computacional* que, como o nome indica, está preocupada com o uso de computadores para o processamento de linguagem e a *psicolingüística*, interessada no estudo psicológico da linguagem.

A Lingüística Computacional, como o nome indica, está preocupada com o uso de computadores para o processamento de linguagem. Dentro da ciência cognitiva é a disciplina que mais se relaciona com a IA, embora esta ligação seja de origem relativamente recente.

A Psicolingüística ou o estudo psicológico da linguagem seguiu um caminho parcialmente autônomo à ciência cognitiva contemporânea. Esta é muito utilizada por cientistas cognitivos interessados no estudo de “resolução de problemas” (do inglês *problem-solving*) e por aqueles preocupados com o estudo da linguagem propriamente dita.

2.2.4 Filosofia

Um dos temas mais importantes para a filosofia sempre foi a inteligência, desde a Grécia antiga o assunto sempre despertou o interesse de vários filósofos importantes. Uma das principais divergências entre Platão e Aristóteles era em relação a isto, mais precisamente sobre a localização da inteligência; pois enquanto o primeiro defendia a idéia que a inteligência se localizava no cérebro, o segundo argumentava que esta se localizava no coração. Por isso, é muito natural a influência da filosofia na ciência cognitiva.

A relação da epistemologia para ciência cognitiva é bastante diferente. O advento da “máquina inteligente” forçou a reconsiderações radicais sobre o problema mente-corpo. Aqueles que rejeitaram a idéia de que máquinas poderiam pensar (SEARLE, 1980) tiveram de forjar novas teorias para demonstrar por que o comportamento, aparentemente inteligente, não era inteligência. Aqueles que aceitaram a idéia de máquinas que pensam (TURING, 1950) tiveram que estabelecer critérios operacionais, como o teste de Turing, a fim de verificar a presença de inteligência.

2.2.5 Neurociência

A neurofisiologia, de maneira geral, a neurociência, ocupa uma posição muito complexa dentro da ciência cognitiva. Ainda permanece um abismo muito grande entre toda teoria e prática dessas duas áreas. Este choque de idéias acaba se tornando muito natural quando toma conhecimento da origem da própria neurociência. Segundo (LENT, 2001), a neurociência surgiu da reunião de pesquisadores da área clínica como: neurologia, neurocirurgia, neuropatologia, que analisavam os efeitos de lesões neurais objetivas, com pesquisadores da área experimental, como a neuroanatomia, neurofisiologia, neuro-histologia e neuroquímica.

Provavelmente a grande maioria dos psicólogos aceita a idéia de que os processos do pensamento são, em princípio, explicados através de processos eletroquímicos do

cérebro. Muitos, no entanto, acreditam que teorias de nível intermediário são importantes para o entendimento do pensamento humano. Por isso, a ciência cognitiva necessita de teorias de mais “alto nível” que possam ser ligadas de alguma forma a neurofisiologia. No entanto, essas “ligações” ainda não foram criadas.

O MFE, apresentado aqui, certamente não tem a pretensão de firmar uma ponte entre este abismo, mas procura ao menos apresentar uma arquitetura que aproveite os conhecimentos conquistados pelas ciências biológicas, ainda que neste passo inicial, se utilize muito do que a fisiológica tem a dizer e pouco do que a neurofisiologia, mais especificamente, pode acrescentar. Dentro do MFE todo o comportamento inteligente é analisado de ponto de vista fisiológico, ainda que disso resulte uma inteligência muito limitada.

3 SOBRE AS EMOÇÕES

A inclusão de estados emocionais em sistemas artificiais trouxe uma enorme riqueza e variedade de ações no comportamento destes agentes, como uma melhor capacidade de comunicação (VELÁSQUEZ, 1997; PICARD, 2001; KAPOOR; MOTA; PICARD, 2001), um comportamento mais flexível e atraente para a interação humana (FONER, 1998; SENGERS, 1998) e, é claro, um comportamento mais próximo ao de homens e animais (CAÑAMERO, 1997; GRAND; CLIFF; MALHOTRA, 1997).

No entanto, falar sobre emoções é um problema sério; ao mesmo tempo em que são incontrolláveis, são também inexplicáveis, ou muito mal explicadas, na melhor das hipóteses. A idéia de se estudar a inteligência apenas do ponto de vista racional, deixando de lado a emoção – ainda que condenável por simplesmente negar um aspecto tão importante do comportamento inteligente – é, de certa forma, uma atitude sensata, quando se analisa o imenso caos em que o assunto está inserido. No entanto, negar as emoções é simplesmente fugir do problema, pois dentro do comportamento inteligente, a relação entre razão e emoção é simplesmente indissociável na imensa maioria das situações. Este capítulo procura focalizar-se no uso inconsistente da palavra emoção para, em seguida, apresentar alguns aspectos fundamentais das emoções como; definição, função e, principalmente, critérios de classificação, por ser um aspecto particularmente importante para a IA. O capítulo também apresenta dois importantes modelos de emoções para a inteligência artificial para, a partir deles, argumentar a favor de uma abordagem biológica para a construção de um modelo de emoções.

3.1 Usos e definições inconsistentes da emoção

Segundo (SLOMAN, 2001), para se entender e modelar o que é normalmente chamado de “emoção” em humanos e outros animais é preciso iniciar de uma análise mais profunda dos conceitos a serem instanciados. Esta tarefa se torna muito complicada pelo fato de não haver um acordo sobre o uso da palavra “emoção”. Por exemplo, muitos chamariam *surpresa*, uma emoção enquanto outros (ORTONY; CLORE; COLLINS, 1988) diriam que isto é apenas um estado cognitivo onde uma expectativa foi violada, fato que acontece com frequência num mundo complexo e dinâmico como a vida. De qualquer modo, surpresa, como qualquer outro estado, pode ativar outros estados que a maioria das pessoas chamaria de emoções.

Há também discordâncias se dor e prazer são emoções, é perfeitamente possível argumentar que estas obviamente são, enquanto outros poderiam achar igualmente obvio que alguém possa sentir a dor da picada de uma injeção ou o prazer de tomar um sorvete sem nenhuma sensação emocional a respeito disso. Por exemplo, alguém pode estar totalmente despreocupado com o fato de estar tomando uma injeção, mesmo reconhecendo que dói.

Muitos acreditam que emoções, por definição, não podem existir sem serem percebidas; enquanto outros argumentam que é óbvio que alguém pode estar irado ou obcecado sem se dar conta de seu estado, mesmo que pessoas a sua volta percebam isso. A questão da consciência ou não da emoção é outro ponto de controvérsias. Em um extremo; um teórico vai dizer que alguém não pode apreciar algo a não ser que este reconheça e categorize seu estado de satisfação. Uma posição intermediária clamaria: deve haver alguma experiência que se reconheça e se categorize como parte da satisfação mesmo que o estado total não seja reconhecido. Em outro extremo, defende-se que uma satisfação intensa pode ocorrer onde todas as atenções estão focadas em um fenômeno externo, por exemplo: alguém apreciar uma partida de xadrez onde seus pensamentos estão na posição das suas peças, nas peças do oponente, qual a melhor jogada, etc., sem estar consciente de nenhuma sensação própria. Outro exemplo seria apreciar um filme no cinema com completa atenção no que está ocorrendo na tela, sem reparar em nenhum processo adicional que ocorre em sua mente.

Uma dimensão diferente de desacordos ocorre na atribuição de estados emocionais (e, possivelmente, outros estados mentais) a outros animais. Um peixe sente dor quando está preso num anzol? Quando uma mosca detecta e escapa de uma mão que tenta esmagá-la, ela possui o estado de medo, e se sente aliviada por ter conseguido sobreviver? A mesma mosca sente dor quando uma de suas patas é arrancada? Debates sobre direitos dos animais frequentemente ocorrem em torno de discordâncias sobre a possibilidade de alguns estados mentais existirem em animais com cérebro menos evoluído (SLOMAN, 2004). Pesquisas em ratos, macacos e outros animais revelam uma grande semelhança entre os estados emocionais desses animais e os estados humanos (LEDOUX, 1998). Ainda é possível argumentar sobre estados mentais de fetos e recém nascidos.

Não há apenas diferenças em teorias e usos entre indivíduos. É ainda possível que indivíduos sejam inconsistentes em seus próprios usos. Uma pessoa pode, por exemplo, determinar que *amor* é um tipo de emoção e mais tarde admitir que (a) não se encontra em nenhum estado emocional e (b) ama sua família, os jogos de futebol, etc. Isso ocorre por que quando este indivíduo se refere ao amor, está pensando em episódios de paixão ou fervor, enquanto que quando ele afirma que ama sua família, está se referindo a uma atitude que é primariamente uma coleção de temperamentos que está dormente, a maior parte do tempo, mas pode ser ativado, em certas circunstâncias, para produzir episódios emocionais fortes, envolvendo diversos processos mentais e físicos. Inconsistências similares podem ocorrer na classificação de humores como emoções: alguém pode considerar um humor otimista como um estado emocional e afirmar não estar se sentindo emocional quando encontra-se num estado que classifica como otimista.

Inconsistências entre e dentro de teorias explícitas e a linguagem não-reflexiva usada por pessoas que falam sobre emoções são indicações de que se está lidando com um profundo conjunto de confusões sobre como nossos conceitos ordinários funcionam. Talvez esses conceitos sejam simplesmente inadequados para o objetivo de caracterizar a rica variedade de estados mentais existentes em homens e outros animais.

3.2 Qual a Função das Emoções?

De acordo com J. Averill, em (EKMAN; DAVIDSON, 1994), esta é uma das perguntas mais importantes a respeito das emoções. Estas não ocorrem simplesmente; elas ocorrem por razões específicas. No mesmo trabalho, R. Levenson procura responder a questão apresentando, inicialmente, uma definição para emoções aceita entre os cientistas cognitivos. Segundo ele, emoções são “*fenômenos*

fisiológicos/psicológicos que representam modos eficientes de adaptação às mudanças do ambiente". Do ponto de vista psicológico, emoções alteram a atenção, modificando certos comportamentos e ativando certas redes associativas na memória. Fisiologicamente, as emoções rapidamente organizam as respostas dos vários sistemas biológicos, incluindo expressão facial, tônus muscular, voz, atividade do sistema nervoso autônomo e atividade endócrina, para otimizar o meio interno para resposta efetiva. Emoções servem para definir a posição de um indivíduo, tendo em vista o seu ambiente, empurrando alguém em direção a outras pessoas, objetos, ações e idéias ou empurrando este mesmo indivíduo para longe. Segundo o autor, emoções possuem *funções intrapessoais e funções interpessoais*.

3.2.1 Funções intrapessoais

3.2.1.1 Coordenação dos sistemas de respostas

A função essencial da emoção é a organização. Uma resposta emocional inclui manifestações na experiência subjetiva, no comportamento e na fisiologia do indivíduo. O aspecto subjetivo inclui a experiência fenomenológica da emoção, com a percepção de sensações físicas e a associação de memórias. O aspecto comportamental inclui expressões faciais, postura e tom de voz. O aspecto fisiológico compreende as respostas do sistema nervoso bem como do endócrino.

3.2.1.2 Alterando hierarquias de comportamento

Emoções possuem a capacidade de ativar certos comportamentos. Em momentos específicos a raiva pode levar o pacifista a lutar; a tristeza pode levar o forte a chorar; o medo pode fazer o bravo correr. Em outras palavras, as emoções são capazes de colocar de lado todo o aprendizado, cultura, convicção ou estilo de um indivíduo.

3.2.1.3 Recrutamento de suporte fisiológico

Comportamentos como retirada (fuga) ou luta exigem demandas fisiológicas diferentes do comportamento necessário para cuidar de uma criança, por exemplo. Uma das mais importantes funções de uma emoção é criar um meio fisiologicamente propício para uma determinada atividade ou comportamento. Isso ocorre através do sistema nervoso e de diversos subsistemas complementares. Essas diferentes "coreografias" ditadas pelas emoções são importantíssimas no processo de adaptação e sobrevivência.

3.2.1.4 Sabotando processos cognitivos

O emocional e o racional travam uma batalha eterna no dia-dia do homem, apesar de todas as vantagens trazidas pelos processos cognitivos, estes, muitas vezes, acabam se tornando desnecessários ou até mesmo indesejados em muitos momentos. Muitas vezes ocorre um trabalho conjunto entre as duas partes, porém, na grande maioria dos casos, o lado irracional acaba guiando as decisões do indivíduo (isto será mostrado de forma mais detalhada no próximo capítulo, com a *hipótese do marcador-somático* de A. Damásio).

3.2.2 Funções interpessoais

3.2.2.1 Comunicação e controle

As características expressivas das emoções na voz, na face, nos gestos e na postura possuem uma importante função na comunicação dos estados emocionais de uma

pessoa para outra. O valor desses sinais é duplo: permite a outras pessoas saber como alguém está se sentindo; influenciam o comportamento daquelas. O poder desses simples sinais emocionais se torna claro quando o medo apresentado por alguém consegue deixar toda uma multidão em pânico.

3.2.2.2 *Estabelecendo a posição em relação a outras entidades*

As emoções são capazes de estabelecer o espaço entre uma pessoa e as entidades que a cercam (outras pessoas, idéias e objetos). Emoções acabam definindo a estrutura de cada um, individualmente, através de diversos gestos de aproximação ou esquiva das várias entidades diferentes. Nisto está incluído; redes sociais de amigos e inimigos, gostos e desgostos e senso moral de certo ou errado.

3.3 Classificação das Emoções

Um dos maiores problemas com emoções está justamente em sua classificação. Há muito desacordo a respeito de praticamente todos os aspectos das mesmas. R. Picard, em (PICARD, 1997), afirma que a classificação das emoções, de uma forma simplificada, pode se dividir em duas correntes: os defensores da idéia de que estas se apresentam num conjunto básico ou, pelo menos, discreto e aqueles que defendem um dimensionamento. Nenhuma das correntes, contudo, é capaz de classificar os estados emocionais de forma satisfatória e por isso são usados em fins específicos.

3.3.1 Emoções básicas e discretas

A questão da existência de emoções básicas é muito controversa e isso se mostra claramente em (EKMAN; DAVIDSON, 1994). Para muitos autores, a idéia de emoções básicas, embora muito eficiente como forma de classificação, é completamente infundada. J. Averill afirma que emoções não são como objetos inanimados que se mantêm inalterados; não são apresentadas sempre da mesma forma. Para defender sua idéia o autor, apresenta três pontos: existem muitas formas diferentes de classificar uma emoção como mais básica que outra; devido às muitas possíveis interpretações da expressão “básica”, esta noção de emoção acaba sendo mais confusa do que esclarecedora; mais fácil que tentar criar uma noção correta de emoção básica seria procurar eliminar totalmente este tipo de noção.

P. Ekman concorda com Averill na idéia de que os teóricos de emoção usam a referida expressão de muitas maneiras. Mas ao invés de condenar este fato, o autor procura apresentar sua própria idéia de emoções básicas. Segundo Ekman, todas as emoções são básicas, pois evoluíram devido a seu grande valor adaptativo na tarefa de lidar com questões fundamentais da vida. Isto é, as emoções que evoluíram foram as que prepararam o ser para lidar com uma certa situação de maneira melhor que outras soluções. Emoções lidam com situações adaptativas recorrentes: brigar, apaixonar-se, escapar de um predador, confrontar infidelidade sexual e muitas outras situações semelhantes. Como o próprio autor afirma, “*situações que já ocorreram inúmeras vezes ao longo da evolução*”, e para Ekman é isso que, fundamentalmente, difere as emoções de outros fenômenos psicológicos, estas são influenciadas pelo passado ancestral; isso se prova por alguns fatos:

- existem contextos específicos onde as emoções aparentemente ocorrem, não importando a cultura ou o nível de conhecimento social;

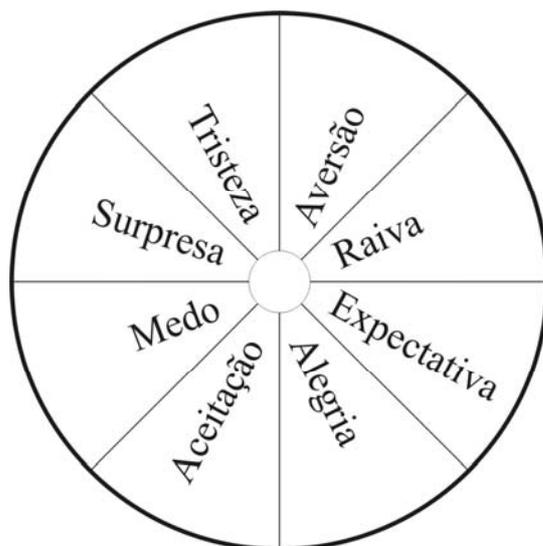
- emoções são observáveis em outros primatas menos evoluídos. É possível que algumas emoções se apresentam somente em humanos, mas isso não impede que ocorram em outros animais também;
- emoções podem ser tão rápidas que muitas vezes elas podem ocorrer antes mesmo que alguém possa notar que elas estão se manifestando. A velocidade é fundamental no valor adaptativo das emoções, mobilizando o indivíduo de forma rápida em resposta a eventos importantes.

Mesmo entre autores que aceitam a idéia de um conjunto restrito e definido de emoções básicas, não há um acordo sobre o que é ou não é uma emoção. Segundo (LEDOUX, 1998) C. Darwin foi o primeiro a propor a existência de um conjunto limitado de emoções primordiais, presente na maioria dos animais, da qual se derivam todas as outras emoções mais complexas.

Um grande número de teóricos modernos vem dando continuidade ao trabalho de Darwin, acentuando a importância de um conjunto de emoções básicas inatas. Para muitos, as emoções primordiais são definidas pelas expressões faciais universais semelhantes nas culturas mais diferentes. Por isso, pesquisadores atuais foram até as regiões mais remotas com a finalidade de definir, através de métodos científicos, que pelo menos algumas emoções possuem modos de expressão universal, principalmente no rosto. Com base em tais evidências, um pesquisador chamado S. Tomkins propôs a existência de oito emoções básicas: surpresa, interesse, alegria, medo, raiva, aversão, vergonha e angústia. Mas esta lista está longe de ser definitiva, pois muitos pesquisadores chegaram a outros conjuntos de emoções básicas universais, algumas com seis, cinco e até quatro emoções diferentes. Outros teóricos, como por exemplo, R. Plutchik, não se limitaram exclusivamente a expressões faciais, mas à existência de ações envolvendo outras partes do corpo. Descendo ao longo da escala evolutiva, é possível perceber a existência de um número cada vez mais reduzido de expressões faciais com o predomínio de expressões emocionais, envolvendo outros sistemas físicos. A lista de emoções de Plutchik coincide parcialmente com outras e é formada também por oito emoções diferentes: surpresa, tristeza, aversão, raiva, expectativa, alegria, aceitação e medo. O próprio J. Ledoux em (LEDOUX, 1998) defende a idéia de que apenas um pequeno grupo de emoções possui diferentes padrões de manifestação corporal. Com isso, diferenças entre culpa, embaraço e vergonha, por exemplo, seriam resultados de um mesmo padrão fisiológico e diversos estados cognitivos distintos.

A maioria dos teóricos das emoções básicas admite a existência das emoções não básicas, que são resultado de combinações ou mistura das mais básicas. Plutchik apresentou uma das teorias mais completas sobre as misturas emocionais. Ele sugere um ciclo emocional análogo ao ciclo das cores, cuja mistura das elementares produz novos tons. Cada emoção básica ocupa uma posição no ciclo (conforme mostra a Figura 3.1). Combinações de duas emoções básicas são chamadas de díades. As combinações envolvendo díades adjacentes no ciclo formam as díades de primeiro grau; aquelas que envolvem emoções separadas por uma outra emoção são as díades secundárias e assim por diante.

Considera-se a mistura de emoções básicas em emoções superiores uma operação cognitiva. As emoções básicas, desta forma, estão nos animais inferiores enquanto as não básicas costumam ser uma faculdade unicamente humana.



Díades Primárias

- alegria + aceitação = amizade
- medo + espanto = susto

Díades Secundárias

- alegria + medo = culpa
- tristeza + raiva = mau humor

Díades Terciárias

- alegria + surpresa
- expectativa + medo = ansiedade

Figura 3.1 Emoções básicas e derivadas de Plutchik

O grande problema das emoções básicas dentro das ciências cognitivas está no fato de serem muito confusas, muito mal definidas. O que para alguns é uma emoção básica, não é para outros; mesmo os defensores da idéia de emoções básicas não conseguem chegar a um consenso sobre os estados emocionais que devem estar presentes ou não neste conjunto.

3.3.2 Espaços emocionais e dimensionamento contínuo

De acordo com (PICARD, 1997) alguns autores não estão preocupados com a existência de oito ou mais emoções básicas e, ao invés disso, referem-se a dimensões contínuas de emoções. Três dimensões costumam aparecer, no entanto apenas o nome de duas é universalmente aceito. As duas dimensões mais comuns são “intensidade” (calmo/excitado), e “valência” (positiva/negativa), conforme mostra Figura 3.2.

Em geral, duas dimensões não podem ser usadas para distinguir todas as emoções básicas, intenso medo e raiva, por exemplo, localizam-se na mesma região de alta intensidade e valência negativa. Assim como com as emoções básicas, as classificações contínuas também possuem um grande número de desacordos entre seus defensores.

Se desejável for, uma categoria discreta de emoções pode ser tratada como uma região num espaço contínuo. As categorias podem ser “nebulosas” no sentido que um elemento possa pertencer a duas categorias ao mesmo tempo.

A idéia de medir as emoções de acordo com a intensidade é muito utilizada na indústria do entretenimento; emoções mais intensas costumam ser mais inesquecíveis, mais marcantes, poucos lembram o que comeram no almoço no dia anterior ou o nome do telefonista no serviço do cartão de créditos, mas todo mundo pode dizer onde estava e o que estava fazendo no dia 11 de setembro de 2001, quando as torres do World Trade Center em Nova York caíram.

3.4 Modelos de Emoções

Conforme foi dito no início do capítulo, o uso das emoções na IA permitiu uma série de benefícios na comunicação, interface homem-máquina e comportamento de sistemas inteligentes. Mas para que isso seja possível, estas emoções precisam ser formalizadas para que então sejam manipuladas por uma máquina como o computador.

Esta seção procura mostrar as diferentes formas como o problema das emoções é abordado dentro da inteligência artificial. Inicialmente são descritos dois dos mais importantes modelos de emoções propostos para a IA; o modelo hormonal para controle de comportamento (CAÑAMERO, 1997) e o chamado modelo OCC (ORTONY; CLORE; COLLINS, 1988). Contudo, a lista não termina nesses dois, existe ainda um número razoável de modelos com os mesmos objetivos. Então por que criar mais um modelo de emoções? Que vantagem alguém pode ter usando o MFE ao invés de qualquer outro? O que difere MFE dos outros modelos existentes?

O objetivo desta seção é discutir estas e outras perguntas, a fim de justificar a necessidade e a aplicação do modelo, além disto, o capítulo procura demonstrar a viabilidade do modelo através da implementação de uma criatura artificial que utiliza os conceitos apresentados no capítulo anterior.

3.4.1 Exemplos de modelos de emoções

Existe uma grande variedade de modelos de emoções dentro da IA. No entanto, os dois mostrados a seguir foram escolhidos por caracterizarem convenientemente as duas abordagens utilizadas na construção de modelos de emoções.

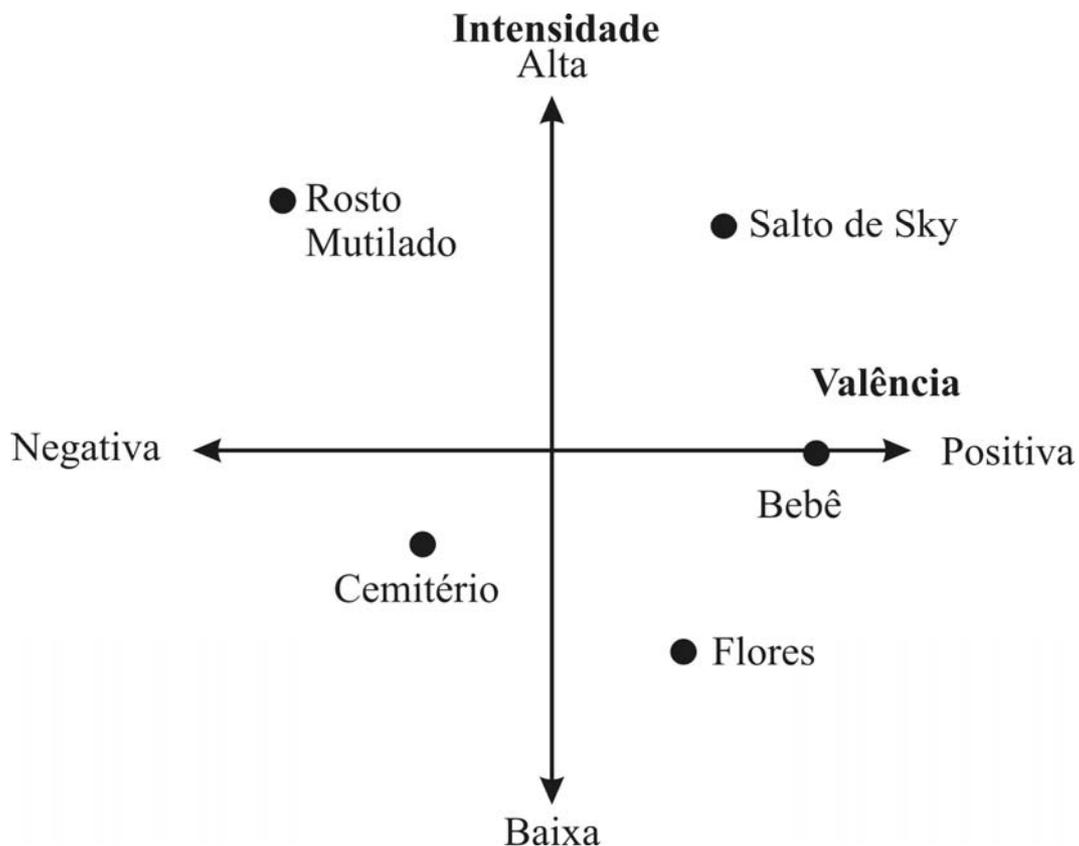


Figura 3.2 Dimensionamento contínuo das emoções

3.4.1.1 Modelo hormonal para controle de comportamento

O modelo hormonal de emoções para o controle de comportamento apresentado em (CAÑAMERO, 1997) se apóia na abordagem evolucionária proposta por Darwin, trabalhando com um número restrito de emoções básicas universais, neste trabalho, a autora procura avaliar e validar as emoções sobre uma abordagem biológica ao invés da

visão cognitiva. Além da abordagem evolucionária, a autora se apoiou em algumas hipóteses da neurobiologia para a construção do modelo:

- para compreender as emoções, é necessário iniciar com um estudo dos mecanismos biológicos que geram essas emoções;
- cognição e emoção são produzidas em sistemas cerebrais diferentes, mas interativos. A representação perceptual de um objeto e seu sentido emocional são processados separadamente no cérebro;
- consciência não é um elemento necessário para explicar emoções. Respostas emocionais surgem, na maioria dos casos, dos sistemas evolucionários mais antigos e, por isso são inconscientes.

O modelo apresenta uma importante distinção entre *motivações* e *emoções*, e atribui a estes estados papéis diferentes na seleção de comportamentos. Estados motivacionais como fome, sede, agressividade, etc. possuem um caráter urgente, pois estão diretamente relacionados com a auto-suficiência e sobrevivência; enquanto as emoções são vistas como amplificadores ou modificadores das motivações. Em geral, as motivações podem ser vistas como processos que mantêm uma variável fisiológica controlada dentro de um certo nível. Dentro do modelo, as motivações possuem três funções principais: guiam um comportamento em direção, ou para longe, de uma meta específica; aumentam o estado de alerta geral e preparam o indivíduo para a ação; combinam diversos comportamentos necessários para a execução de uma meta.

Como já citado anteriormente, emoções agem como *amplificadores ou modificadores das motivações* e, conseqüentemente, dos comportamentos. A autora defende a idéia que emoções são o mecanismo de motivação primário existente em todos os organismos vivos (também se apoiando na idéia de emoção na tomada de decisão em (DAMÁSIO, 1996)). As emoções também desempenham um papel fundamental na manutenção da estabilidade do organismo, o que é fundamental para a adaptação, além de proporcionar uma cognição ao organismo em aspectos como percepção e atenção.

Para testar seu modelo, Cañamero apresenta um sistema composto por uma grade bidimensional habitada por dois tipos de criaturas: “inimigos” e “Abbotts”, os primeiros não apresentam nenhum tipo de emoção e estão presentes apenas para dar uma dinâmica maior à simulação. Já os Abbotts são muito mais complexos e apresentam conjuntos comportamento, motivações e emoções. E cada comportamento, motivação ou emoção dos Abbotts apresentam alguma implicação fisiológica em seu organismo. Por exemplo, quando o Abbott caminha (comportamento), sua temperatura corporal aumenta; se esta temperatura ficar muito alta (motivação), ele vai procurar decrescê-la. Já as emoções são responsáveis por muitos efeitos nos mecanismos de percepção, atenção, motivação e comportamental dos Abbotts. Emoções agem liberando hormônios que alteram a fisiologia da criatura. A liberação de hormônios afeta receptores reativos a um hormônio em particular. Isto causa dois efeitos principais, ambos proporcionais à intensidade da emoção: uma mudança na leitura dos sensores internos e uma pequena mudança no valor real das variáveis correspondentes. Este efeito duplo procura refletir que efeitos viscerais são normalmente muito mais lentos que reações comportamentais.

3.4.1.2 Modelo cognitivo de emoções

Em (ORTONY; CLORE; COLLINS, 1988), A. Ortony, G. Clore e A. Collins procuraram desenvolver um modelo de emoções fundamentado no conceito de intensidade de valência. O objetivo dos autores com seu modelo OCC (o nome vem das

iniciais de Ortony, Clore e Collins) é construir uma teoria cognitiva preocupada com a origem das emoções, especificando a estrutura global que inter-relaciona as diferentes emoções. Com a formalização dessa teoria, os três pesquisadores buscavam atingir duas metas. A primeira é trazer alguma ordem para uma área de estudo extremamente controversa. A segunda é prover fundamento para um modelo de emoção computacionalmente tratável em sistemas inteligentes.

Embora discordem da idéia de emoções básicas, os autores defendem que algumas emoções são realmente mais básicas que outras, pois são capazes de dar um significado específico para isso, afirmando que algumas emoções possuem especificações menos complexas que outras. Ao contrario de muitos outros, eles afirmam, por exemplo, que a emoção “censura” e a emoção “sofrimento” levam a uma emoção melhor descrita como “raiva”. Isto significa que censura seria um estado emocional mais básico que raiva, mas não que a primeira é uma emoção básica e a outra não. A proposta dos autores para uma estrutura mais hierárquica é de que no nível mais alto existam apenas dois tipos de reações emocionais – positivas e negativas. Esta idéia de valência é o ingrediente essencial no sentido de que todas as emoções envolvem algum tipo de reação positiva ou negativa a outra coisa. Para entender melhor a estrutura de classificação dos tipos de emoção é necessário compreender antes o conceito dos autores a respeito das diferentes percepções que as pessoas têm do mundo. A idéia é que existam três grandes aspectos no mundo onde é possível se focar: os eventos, os agentes e os objetos. Quando alguém foca os eventos, está interessado nas conseqüências destes eventos; quando foca os agentes, está interessado nas ações desses agentes, e quando foca os objetos, está interessado em certos aspectos ou propriedades inerentes do objeto. Como já foi dito antes, emoções são reações com uma certa valência – positiva ou negativa – e essa reação será sempre uma das três perspectivas do mundo já citadas.

A estrutura geral proposta está ilustrada na Figura 3.3, onde os três ramos principais correspondem as três formas de reação ao mundo. Cada ramo, isto é, cada uma das “coisas” a que se pode ter uma reação, está associada a uma larga classe de reações afetivas. A primeira grande classe compreende todos os tipos de emoção indicados no ramo esquerdo da figura. Esta classe é formada por reações afetivas agradáveis e desagradáveis. Estas reações afetivas surgem quando alguém imagina as conseqüências de um evento como sendo desejáveis ou indesejáveis; então julgam que a desejabilidade (incluindo a indesejabilidade) a variável mais importante que afeta a intensidade de todas essas emoções baseadas em eventos. Isto significa que desejabilidade é o principal critério de avaliação. A segunda classe geral de reações afetivas aparece no ramo central da figura e é aquela que resulta em aprovação ou reprovação. Quando essas reações são suficientemente intensas, levam a um grupo de emoções chamado Atribuição. Estas são causadas pela reação a ação de agentes, que podem ser vistas como louváveis ou condenáveis, fazendo com que esta louvabilidade seja a principal base para avaliação. Finalmente, a terceira classe geral compreende as reações afetivas do tipo gostar ou desgostar. As emoções associadas aqui são as de Atração, que são causadas por reações a objetos, ou a aspectos dos objetos, em termos do seu apelo. Foi usado aqui o termo geral “objeto” que pode ser algo animado, inanimado, concreto ou abstrato.

3.4.2 Abordagens para Emoções

Quando alguém avalia com atenção os dois modelos apresentados acima, percebe que há uma grande diferença de abordagem para a questão das emoções. O *modelo hormonal para controle de comportamento* de D. Canãmero se apóia na perspectiva evolucionária para a classificação das emoções e procura aplicar conhecimentos de neurofisiologia na estrutura dos Abbots.

Em (CAÑAMERO, 1997), Cañamero claramente procura seguir uma abordagem fundamentada na biologia. Por outro lado, A. Ortony, G. Clore e A. Collins em sua *estrutura cognitiva para emoções* (conhecida como modelo OCC) procura avaliar as emoções em mais “alto nível”, não se ocupando com reações hormonais, mas sim com estruturas mais sofisticadas e abstratas como estado ou representações mentais provenientes da psicologia cognitiva. Analisando os dois trabalhos e outros trabalhos com emoções na IA ainda mais recentes (GRATCH; MARSELLA, 2001; HUDLICKA, 2004; VENTURA; PINTO-FERREIRA, 2004; SMITH; KIRBY, 2001; HERNÁNDEZ et al, 2004; VELÁSQUEZ, 1998; MENDAO, 2004) é possível perceber que os trabalhos com emoções dentro da IA utilizam necessariamente uma abordagem psicológica ou biológica. Podemos afirmar que esta não é uma classificação oficial, mas sim o fruto do estudo das idéias de A. Sloman em (SLOMAN, 2001), ainda que ele não use em nenhum momento este tipo de classificação.

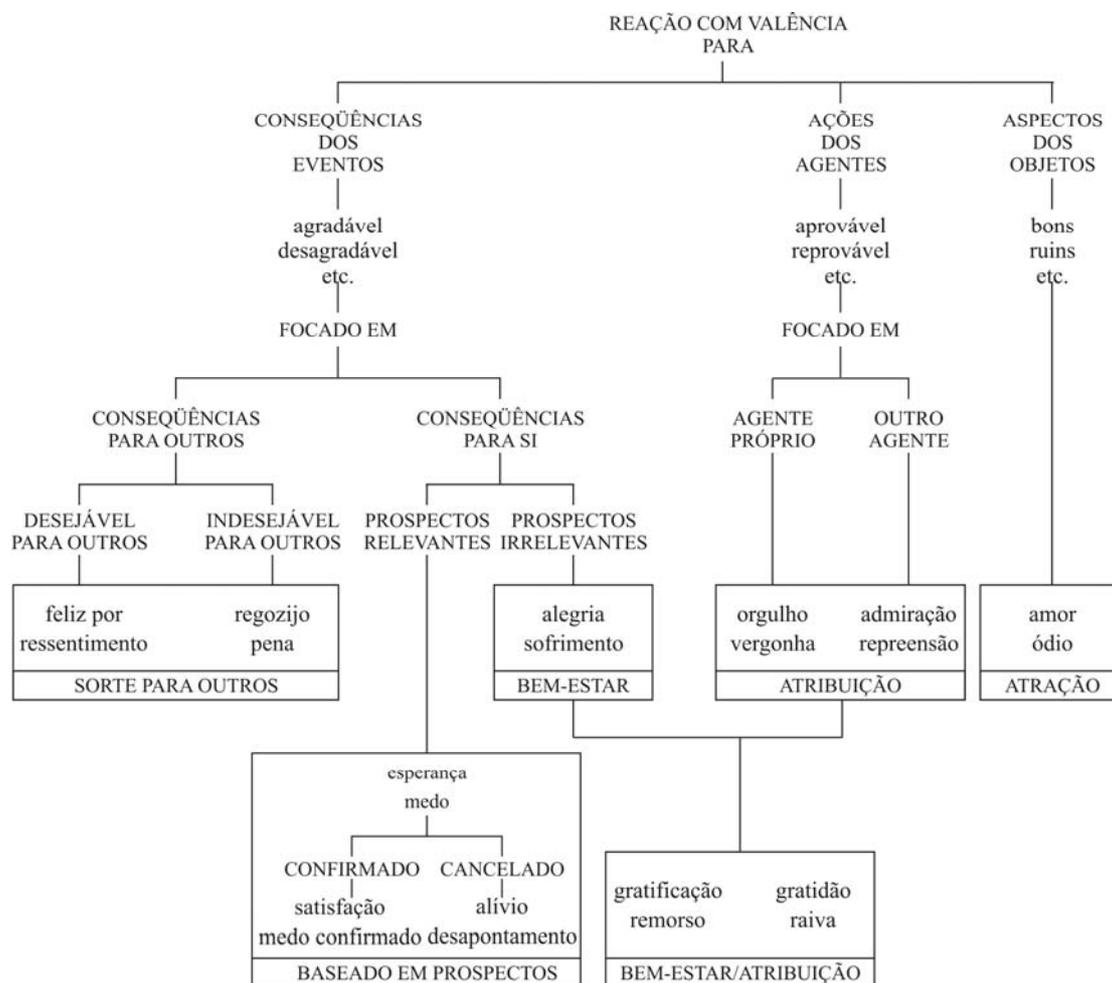


Figura 3.3 Modelo OCC

Ainda que tratem da mesma questão (emoções), as duas abordagens são muito diferentes e por isso os trabalhos resultantes de cada uma delas não costumam ter muitas coisas em comum. Ao se comparar as duas abordagens é possível notar algumas características importantes de cada uma delas. Uma diferença marcante entre os modelos das duas abordagens já foi citada e se refere ao nível dos processos utilizados. Modelos que utilizam abordagens biológicas realizam uma espécie de análise de “baixo nível” nos estados emocionais e costumam se preocupar com reações fisiológicas

específicas. Já os modelos com abordagem psicológica não estão interessados nestas reações fisiológicas que acabam resultando num estado emocional. Modelos deste tipo adotam um ponto de vista funcionalista e procuram avaliar os processos mentais que levaram a uma ou outra emoção, tratando-as em mais “alto nível”.

De acordo com o funcionalismo, aquilo que é importante em última análise é compreender a psicologia; são os algoritmos e não o hardware em que eles são executados. Ou seja, não interessam os processos desde que haja uma equivalência funcional. Em outras palavras, o funcionalismo pressupõe que a psicologia pode ser adequadamente descrita em termos da “organização funcional do cérebro” – mais ou menos como o software determina o desempenho do hardware no computador. A questão do funcionalismo será abordada mais à frente, ainda neste capítulo.

Por tratar os estados emocionais de forma mais abstrata, modelos com abordagem psicológica podem fazer uso de emoções mais sofisticadas como *culpa*, *frustração* ou *ódio*; emoções absolutamente inacessíveis para modelos apoiados na biologia, pois a neurociência tem ainda pouca informação sobre os processos envolvidos em emoções deste tipo (MOLL; OLIVEIRA-SOUSA; ESLINGER, 2003). Portanto, modelos “psicológicos” podem obter resultados mais interessantes através da implementação de agentes (Um agente é um sistema de computador, situado em um ambiente, que é capaz de realizar ações autônomas flexíveis no intuito de atingir seus objetivos (JENNINGS; SYCARA; WOOLDRIDGE, 1998)) com um comportamento aparentemente mais rico. Modelos biológicos acabam obtendo um comportamento muito mais simplificado e, de certa maneira, resultados mais modestos do ponto de vista prático. Este acesso a comportamentos mais sofisticados faz com que modelos psicológicos busquem inspiração no comportamento humano (GRATCH; MARSELLA, 2001; HUDLICKA, 2004; ORTONY; CLORE; COLLINS, 1988) enquanto modelos biológicos ainda se limitam ao comportamento de animais mais simples (CAÑAMERO, 1997; VENTURA; PINTO-FERREIRA, 2004).

Uma grande diferença também existe no que diz respeito aos atuais desafios para modelos de emoções psicológicas ou biológicas. De acordo com (NERB, 2004; SMITH, 2004) um ponto crucial no desenvolvimento de uma arquitetura de emoções é a questão da formulação de uma teoria de *avaliação* (do inglês appraisal). Uma teoria de avaliação explica a elucidação de reações emocionais como consequência de ponderações subjetivas, baseadas em fatores como necessidades pessoais, metas, desejos, habilidades e crenças. Avaliar situações que culminem no medo (como já foi dito no primeiro capítulo desta dissertação) pode ser relativamente fácil, mas o mesmo não acontece com o ódio, a culpa ou o amor. Este problema de avaliação acaba recaindo essencialmente sobre modelos que fazem uso de emoções sofisticadas, ou seja, modelos psicológicos. Não que modelos biológicos de emoções também não enfrentem (ou enfrentarão um dia) problemas deste tipo, mas por utilizarem estados emocionais simples (sem um forte componente cognitivo) a questão de avaliação ainda não se tornou um desafio. Contudo, é inevitável que se torne no futuro. Os meios utilizados por modelos de emoções psicológicas e biológicos são tão diferentes que, provavelmente, a questão da avaliação também seja tratada de forma absolutamente distinta em cada tipo de abordagem. O grande desafio atual para os modelos baseados na biologia é compreender o funcionamento das emoções. (LENT, 2001) mostra que há muito pouca informação sobre a fisiologia dos estados emocionais, salvo o *medo*, bastante estudado em (LEDOUX, 1998).

Com base em tudo que foi dito até agora sobre as duas abordagens para modelos de emoções, fica evidente que os modelos psicológicos são os mais indicados para uma aplicação que utilize emoções. Afinal, o comportamento inteligente obtido a partir de

um modelo deste tipo é, sem dúvidas, muito mais sofisticado, visto o nível de sofisticação dos estados emocionais passíveis de tratamento. O caráter funcionalista dos modelos psicológicos que tratam as emoções como representações mentais torna sua manipulação, a princípio, muito mais simples, já que reduz a complexa (e, em grande parte, desconhecida) fisiologia do pensamento e das emoções a algumas premissas simples. Um reflexo disso é a diferença na quantidade de trabalhos envolvendo modelos com abordagem psicológicas e biológicas. Não existem números exatos indicando a quantidade de modelos apoiados em uma ou outra abordagem – até por que esta é uma classificação absolutamente informal, ou melhor, não é uma classificação oficial, universalmente aceita – mas é certo que a maioria esmagadora é formada por modelos da psicologia.

Mas se os modelos funcionalistas apoiados na psicologia apresentam tantas vantagens sobre os modelos biológicos, por que trabalhar com um destes últimos? Para que servem? Qual deve ser o objetivo de modelos apoiados na biologia, como o MFE?

3.4.3 Por que um modelo apoiado na biologia?

Ainda que os modelos de emoções apoiados numa teoria psicológica sejam mais indicados para aplicações usando estados emocionais, os modelos biológicos não devem ser descartados de forma alguma. No entanto, o foco de trabalhos deste tipo deve ser diferente. Modelos biológicos, como o MFE, devem ter como objetivo auxiliar na compreensão dos estados emocionais e da própria inteligência – emoções como um aspecto do comportamento inteligente.

3.4.3.1 Compreender os estados emocionais

J. Fellous em (FELLOUS, 2004) defende a idéia de que a simulação de sistemas biológicos de forma detalhada é de extrema utilidade na compreensão destes sistemas, pois através destas simulações é possível realizar uma “previsão” destes sistemas biológicos. Segundo Fellous, isto já tem se mostrado de enorme utilidade para a neurociência computacional e a engenharia biomédica. Com sofisticação e poder computacional suficientes é possível extrair os *princípios básicos* que definem o funcionamento de áreas cerebrais ou a forma como um órgão específico trabalha. Estes princípios básicos podem ser usados para a construção de sistemas artificiais similares aos orgânicos, além de contribuírem muito para a compreensão do sistema orgânico original. O exemplo que Fellous usa é o do coração artificial, no processo de desenvolvimento e criação do coração artificial, os cientistas (cardiologistas, engenheiros) aprenderam muito sobre o funcionamento do coração. O mesmo pode ocorrer no caso das emoções. A compreensão das suas funções (qualitativamente e quantitativamente) em animais pode levar à derivação dos princípios básicos já citados acima. E estes princípios podem ser implementados em robôs, por exemplo.

As idéias de Fellous vão de encontro ao MFE, já que o modelo procura na biologia (mais especificamente na fisiologia) as bases para sua construção e ainda busca especificar os princípios básicos de funcionamento de cada órgão (representado por diferentes objetos) considerado importante para o modelo, de certa forma, similar ao coração artificial citado por Fellous. Isto não seria possível com um modelo com base em teorias da psicologia, pois os princípios básicos seriam completamente diferentes dos sistemas orgânicos.

A estrutura de objetos usada na especificação do MFE cria uma vantagem inclusive em relação a outros modelos baseados na biologia. Por exemplo, já foi dito que o meio interno dos Abbots de (CAÑAMERO, 1997) é constituído por um grupo de estados corporais que podem ser de dois tipos: variáveis controladas e hormônios. O primeiro

tipo são variáveis necessárias para a sobrevivência da criatura, controladas por processos homeostáticos que as mantêm num certo nível de estabilidade. O segundo tipo de estados corporais, os hormônios, é liberado quando o Abbott tem alguma reação emocional. Cada hormônio pode afetar diversas variáveis de forma diferente.

O meio interno de um agente do MFE não é composto por um conjunto de variáveis, mas por um grupo de objetos, que podem fazer mais do que apenas mudar seu valor atual. A principal vantagem do grupo de objetos está no fato de poder ser expandido, a cada detalhe refinado. Novas funções, variáveis ou relações podem ser incluídas em cada um dos órgãos ou tecidos do corpo. Além disso, objetos podem ser quebrados em grupos mais específicos ou novos objetos, sempre que houver necessidade.

3.4.3.2 *Superar limites da inteligência artificial*

A idéia de superar limites da IA está diretamente relacionada com os conceitos de *IA forte* e *IA fraca*. Segundo (SEARLE, 1992), existem duas posições dentro da pesquisa na IA e estão relacionadas com a possibilidade dos estados cognitivos dos homens serem duplicados por máquinas. Uma posição fraca (IA fraca) na qual os estados cognitivos humanos podem ser apenas *simulados* por computadores e uma posição forte (IA forte) na qual os estados cognitivos humanos podem ser *replicados* por computadores. Segundo a tese fraca, os computadores apenas simulam os estados cognitivos humanos quando perante o mesmo *input* produzem o mesmo *output*. Segundo a tese forte, os computadores podem replicar as relações causais internas presentes na cognição humana.

Tanto dentro da IA forte quanto na IA fraca duas abordagens da inteligência artificial procuram seguir caminhos diferentes: os paradigmas simbólico e conexionista. O primeiro paradigma tenta captar o conhecimento num dado domínio como um conjunto de símbolos que são manipulados de acordo com regras de procedimento. Já o paradigma conexionista apóia-se em outra aproximação, usando uma arquitetura que não é mais do que uma aproximação da estrutura do cérebro animal e que, em vez de ser pré-programada, aprende com um determinado ambiente.

Um dos modelos conexionistas é a rede neuronal artificial, que é um conjunto de elementos de processamento simples, unidades ou nós, cuja funcionalidade é baseada numa definição a grosso modo da estrutura neuronal dos animais. A capacidade de processamento da rede neuronal é armazenada nas ligações entre as unidades de processamento, pesos de ligação, obtidos através de um processo de adaptação, aprendendo a partir de um conjunto de exemplos.

Nos neurônios naturais, a capacidade de processamento presumivelmente reside nas características eletroquímicas das ligações entres estes, as sinapses. Numa rede neuronal artificial isto é modelado através de uma definição de uma força ou peso de ligação entre os nós. No entanto, as semelhanças entre neurônios naturais e os neurônios artificiais da IA conexionista não se estendem muito além deste fato.

A IA forte foi, a princípio, o desejo dos pesquisadores da área. No entanto, a definição de máquina inteligente era, de certa forma, equivocada, que acabou gerando uma série de controvérsias que se estendem até os dias de hoje. Em (TURING, 1950), propõe-se como método de classificação de inteligência o “*jogo de imitação*”, que veio a ser conhecido como “*Teste de Turing*”. O teste consistia em levar a cabo uma experiência com duas pessoas e um computador. Nesta experiência uma pessoa isolada faz uma série de perguntas que são respondidas pelo computador e pela outra pessoa. O computador passa o teste se o indivíduo que faz as perguntas não conseguir descobrir qual dos interlocutores é a máquina e qual é humano. Turing previa que os

computadores estariam brevemente aptos a passar este teste. A idéia era a de que se um computador passasse o teste de Turing então estaria provado que os estados cognitivos humanos poderiam ser replicados pelos computadores. O teste é considerado um argumento em favor da IA simbólica e da filosofia funcionalista (e, conseqüentemente, dos modelos baseados em teorias da psicologia), pois implica dizer que a IA não está atrelada à estrutura cognitiva humana.

Esta postura foi muito criticada, pois se levava em consideração apenas o comportamento aparente, enquanto os processos internos eram completamente ignorados (MATURANA; VARELA, 1997; DREYFUS, 1972). Em 1980 J. Searle propôs outro teste conhecido como o “*argumento do Quarto Chinês*”. O argumento consiste numa experiência de pensamento na qual imagina-se um sujeito que apenas fala inglês fechado num quarto com uma espécie de manual que relaciona uns caracteres chineses com outros também chineses. O indivíduo pratica a manipulação destes símbolos, seguindo as regras propostas no manual. Passado algum tempo ele é capaz de responder a mensagens enviadas pelos seus guardas chineses com tal eficácia que eles não conseguem descobrir se ele é ou não Chinês (SEARLE, 1980). O Quarto Chinês de Searle foi tradicionalmente considerado como um argumento contra o computacionalismo simbólico (funcionalista) da época na medida em que nesta experiência não é possível afirmar que o indivíduo fala Chinês e sendo assim existe uma diferença essencial nos estados mentais de um indivíduo que apenas manipula símbolos e num indivíduo que fala uma língua. A experiência do Quarto Chinês de Searle põe em causa a relevância do Teste de Turing.

A oposição de Searle (SEARLE, 1992) baseia-se na idéia de que não existe nenhuma especificação computacional que seja capaz de providenciar condições suficientes para o pensamento ou para os estados intencionais. A sua argumentação (com o Quarto Chinês) é que programas de computador são estritamente definidos pela sua estrutura formal sintática e que a sintaxe é insuficiente em relação à semântica. O conteúdo semântico implica à existência de significados, e a sintaxe não diz em si mesma respeito aos significados.

A análise da argumentação de Searle torna clara a impossibilidade de se chegar à IA forte através de modelos psicológicos de emoções ou de inteligência, de maneira mais geral (modelos de emoções, em sua grande maioria, nada mais são que modelos de inteligência que fazem uso de estados emocionais), modelos funcionalmente similares, mas estruturalmente distintos. É certo que o comportamentalismo simplista do teste de Turing já foi superado pela ciência cognitiva, e que modelos baseados em abordagens psicológicas apresentam estruturas internas mais sofisticadas e melhor fundamentadas. No entanto, o único significado dos símbolos continua sendo aquele que lhe é atribuído por um programador humano. Não há qualquer ambigüidade na interpretação de estados físicos como símbolos, por que os símbolos são representados digitalmente de acordo com as regras de uma sintaxe. O modelo é concebido de forma a saltar entre estados distintos, e não existem regiões de transição entre eles.

Alguém poderia então argumentar que através da IA conexionista é possível superar os limites apresentados até agora. Afinal, não existem as idéias de estados distintos e o funcionamento ocorre, em parte, sem programação estrita. Nestes modelos formais as conexões entre os elementos das redes são modificadas de uma forma mais ou menos análoga à das sinapses. No entanto, segundo (EDELMAN, 1992) esta metáfora é forçada por uma série de motivos. As arquiteturas das redes neuronais estão longe da realidade biológica, funcionando de maneira completamente diferente do sistema nervoso (como será mostrado no capítulo cinco). As redes neuronais utilizam conexões simétricas e densas, semelhantes a uma matriz. Regra geral, não têm qualquer

semelhança com as estruturas neuronais reais. Embora os sistemas conexionistas permitam alterações como resultado da “experiência”, o mecanismo de aprendizagem depende de um conjunto de instruções e não de seleção (como no cérebro). Ao contrário dos sistemas seletivos que realizam categorização com base no valor, as respostas (e não os valores) dos sistemas conexionistas são antecipadamente especificadas, sendo impostas ao sistema por um operador humano em condições adequadas e com um mecanismo retroativo de correções de erros, para permitir a aprendizagem.

Mas se nenhuma das abordagens da inteligência artificial apresentadas aqui é capaz de servir de base para a construção de um modelo verdadeiramente inteligente, qual a solução possível? Qual a diferença fundamental entre os modelos de emoções com abordagens psicológicas citados aqui e o MFE? A diferença se encontra aqui nos meios utilizados para se chegar até a inteligência. O foco do MFE não está no resultado final do comportamento inteligente, mas, como já foi dito anteriormente, se encontra nos mecanismos geradores deste comportamento. Ao se simular os mecanismos do comportamento inteligente dentro de um computador não está se usando um programador para especificar um conjunto de regras que determinará o comportamento de uma criatura artificial inteligente. Neste caso, o programador está escrevendo um programa que especifica as propriedades estruturais e princípios de funcionamento da criatura artificial. A partir de um modelo que utiliza uma abordagem biológica, o programa é construído de tal forma que, quando é posto em funcionamento, partes da entidade (no caso a criatura) que é simulada na sua totalidade irá desempenhar as funções que lhe são atribuídas. Esta é, aparentemente, a solução para a construção de uma criatura artificial realmente inteligente e o MFE é o primeiro passo nesta direção. Mas esta solução tem um preço caro (como mostra nos capítulos a seguir), a complexidade de se modelar a fisiologia de uma criatura viva, por mais simples que seja.

4 ARQUITETURA H-COGAFF

A arquitetura proposta por A. Sloman tem muita importância para o MFE, posto que o principal objetivo desta dissertação é propor um modelo que atenda os requisitos impostos por Sloman para a primeira camada da arquitetura H-CogAff; a camada reativa. Ao propor a arquitetura, o filósofo procura apontar os caminhos para a construção de uma criatura artificial genuinamente inteligente, mesmo que a inteligência resultante seja bastante limitada. Sloman procura ir além do que ele mesmo chama “modelos rasos de emoções” (SLOMAN, 2001). Segundo ele, Modelos rasos podem servir muito bem para um objetivo específico, por exemplo, para brinquedos interativos ou para realizar algum limitado controle de expressão emocional, entre outros. Não há dúvidas que o uso desses modelos é muito útil no ramo do entretenimento eletrônico, por exemplo. Entretanto, isto não faz deles modelos plausíveis para emoção humana ou de animais.

4.1 Três Níveis de Emoção

Um dos grandes desafios de se criar um modelo completo para o comportamento humano e animal está no fato de termos como emoção, processamento de informações, processo mental, consciência, amor, etc., uma imensa e mal-definida coleção de capacidades. A neurologia ainda sabe muito pouco a respeito do funcionamento do cérebro, o que limita em muito as tentativas de se criar um modelo exato do comportamento de homens e animais. Por achar que seria muito complicado levar todos os detalhes em consideração no momento de se elaborar a arquitetura, Sloman decidiu apoiar-se num conjunto de fatos fundamentais para construir seu modelo, que são (SLOMAN, 1998):

- mudanças que podem influenciar o desenvolvimento evolucionário;
- o que se sabe sobre a história evolucionária do homem;
- o conhecimento que existe sobre o cérebro humano e de animais e os efeitos de lesões cerebrais;
- lições da IA sobre várias limitações de arquiteturas de processamento de informações.

Baseada nas teorias acima é proposta uma arquitetura em três camadas concorrentemente ativas, que está presente em todos os animais, mas com níveis de importância variados, dependendo do animal. Uma camada reativa, uma deliberativa e uma terceira camada meta-gerente.

As emoções humanas podem ser divididas em três grupos, cada um representado em uma das três camadas do modelo H-Cogaff. São as emoções *Primárias*, *Secundárias* e *Terciárias*:

4.1.1 Emoções primárias

Estes são estados emocionais primitivos (ficar alerta, assustado, sexualmente excitado) situados na camada mais primitiva da arquitetura, a reativa, compartilhada por muitos outros animais e insetos. Esta camada recebe o apoio de um *sistema de alarme global*, capaz de detectar padrões que requerem uma rápida reorganização dos comportamentos (por exemplo, a iminência de um perigo). Damásio acredita que as emoções primárias já vêm “instaladas” no momento do nascimento. Segundo ele, animais e seres humanos se encontram inatamente propensos a reagir com uma emoção de modo pré-organizado quando certas características dos estímulos, no mundo ou no próprio corpo, são detectadas individualmente ou em conjunto. Exemplos dessas características são o tamanho (animais de grande porte); uma grande envergadura (uma águia em vôo); o tipo de movimento (uma cobra arrastando-se pelo chão); determinados sons (rugidos); certas configurações do estado do corpo (a dor sentida durante um ataque cardíaco) (DAMÁSIO, 1996).

4.1.2 Emoções secundárias

Estes estados emocionais (por exemplo, ficar ansioso, apreensivo, aliviado, agradavelmente surpreso) são gerados na segunda camada do modelo, a deliberativa, onde planos podem ser criados e executados, riscos futuros são percebidos, sucessos são detectados, etc. Eles dependem de uma capacidade representacional “e se”, fornecida pelo mecanismo deliberativo. Algumas emoções (como o alívio por um acidente evitado) requerem informações passadas (o que poderia ter ocorrido). O sistema de alarme, detectando atividades ou padrões no conteúdo dos pensamentos atuais ou nos problemas, poderia ser ativado para produzir uma rápida reação global, ou uma mudança de estado (por exemplo, produzir um nervosismo para ficar mais atento aos detalhes, movimentar-se de forma mais cautelosa, etc.). A detecção do sucesso, ou da ausência de perigo poderia disparar uma reversão ao estado normal, como um alívio.

Estas emoções secundárias, embora disparadas por processos cognitivos, utilizam-se dos mesmos mecanismos fisiológicos das emoções primárias; este apoio nos mecanismos fisiológicos é, segundo Damásio, fundamental no processo de tomada de decisão. Pois vem daí a idéia da “*Hipótese Marcador-Somático*” proposta por ele.

Segundo Damásio, um cérebro adulto, normal, inteligente e educado reage à situação criando rapidamente cenários de opções de respostas possíveis e cenários dos correspondentes resultados. Exemplos do que os cenários poderiam mostrar: o encontro com o presumível cliente; ser visto na companhia dele pelo melhor amigo e fazer perigar a amizade; não encontrar o cliente, perder um bom negócio, mas preservar uma amizade preciosa, e assim por diante. Para resolver este impasse existem duas possibilidades distintas: a “*razão nobre*”, que ele afirma ser o ponto de vista tradicional de tomada de decisão e a “*hipótese do marcador-somático*”.

Na perspectiva da razão nobre, os diferentes cenários são analisados um a um e é efetuada uma análise de custo e benefício de cada um deles. Em casos simples, como escolher a loja que oferece o menor preço de um produto, esta abordagem indica a melhor opção de forma muito clara. Mas se existem variáveis extremamente subjetivas, como no exemplo proposto por Damásio, as coisas deixam de ser tão elementares. Ganhar um cliente pode trazer uma recompensa imediata, e também uma recompensa futura substancial. Como a dimensão dessa recompensa é desconhecida, é preciso calcular sua grandeza e sua proporção, ao longo do tempo, para que possa contrapô-la aos potenciais prejuízos, entre os quais é essencial incluir as conseqüências da perda da amizade. Como essa última perda variará com o tempo, deverá ser calculada sua taxa de

desvalorização. Bem, a partir daí, é possível perceber que se está diante de um cálculo complicado, que ocorre com diversas épocas imaginárias, agravado pela necessidade de comparar resultados de natureza diferente que têm, de algum modo, de ser traduzidos numa moeda comum para que a comparação possa fazer algum sentido. Além de tudo isso, haveria intermináveis fatores a se considerar e por isso, a decisão levaria um tempo enorme, muito maior que o normalmente aceitável. O mais provável é que durante as infinitas ponderações, o sujeito ficasse completamente perdido e acabasse por não tomar qualquer decisão.

Imaginamos os mesmos cenários supracitados, mas antes de se aplicar qualquer análise de custos/benefícios às premissas, e antes de raciocinar com vista à solução do problema, sucede algo importante. Quando surge um mal resultado associado a uma dada opção de resposta, por mais fugaz que seja, sente-se uma sensação visceral desagradável. Como a sensação é corporal, Damásio atribuiu ao fenômeno o termo técnico de estado somático (em grego, *soma* quer dizer corpo); e, porque o estado “*marca*” uma imagem, o autor chamou-lhe marcador.

Qual a função do marcador-somático? Ele faz convergir a atenção para o resultado negativo a que a ação pode conduzir e atua como um sinal de alarme automático que diz: atenção ao perigo decorrente de escolher a ação que terá este resultado. O sinal pode fazer com que alguém rejeite o rumo de ação negativo, levando este a escolher melhores alternativas. O sinal automático protege de prejuízos futuros, sem mais hesitações, e permite depois escolher entre um número menor de alternativas. É claro que os marcadores-somáticos podem não ser suficiente para a tomada de decisão humana normal, dado que, em muitos casos, é necessário um processo subsequente de raciocínio e de seleção final. Mas estes aumentam a precisão e eficiência do processo de decisão. A importância dos marcadores-somáticos bem como sua estreita relação com as emoções é mostrado de forma clara em (BAR-ON et al, 2003), onde os pesquisadores analisam o resultado de testes de inteligência emocional em e de tomada de decisão de pacientes com lesão no circuito neuronal dos marcadores-somáticos.

Damásio sintetiza a idéia da seguinte forma: “*os marcadores-somáticos são um caso especial do uso de sentimentos gerados a partir das emoções secundárias. Essas emoções e sentimentos foram ligados, pela aprendizagem, a resultados futuros previstos de determinados cenários. Quando um marcador-somático negativo é justaposto a um determinado resultado futuro, a combinação funciona como uma campanha de alarme. Quando, ao contrário, é justaposto um marcador-somático positivo, o resultado é um incentivo*” (DAMÁSIO, 1996).

Para se implementar algo similar à idéia de marcador somático, seria necessário muito mais que um conjunto de emoções básicas proveniente de um modelo normalmente apresentado dentro da IA. O marcador somático atuaria somente onde houvesse um “*soma*”, um corpo definido que gerasse respostas positivas e negativas aos diferentes cenários montados pela mente. É claro que o modelo fisiológico de emoção não pretende (ainda) apresentar uma solução para esse problema, pretende isso sim apresentar um caminho possível a essa solução.

Sloman discorda de Damásio na idéia de que as emoções secundárias sempre ativam os mesmos mecanismos fisiológicos das emoções primárias. O primeiro considera o termo “sempre” uma generalização muito grande. Segundo ele, é possível distinguir emoções secundárias puramente centralizadas das emoções secundárias periféricas, que invocam mecanismos corporais usados pelas emoções primárias. Algo que, de certa forma, Damásio também faz quando afirma que logo após a triagem de possibilidades realizada pelos marcadores-somáticos, é necessário um processo de raciocínio para a decisão final.

4.1.3 Emoções terciárias

Estes são típicos estados emocionais humanos que envolvem perda parcial do controle dos pensamentos (perturbações), exemplo: sentir-se humilhado, apaixonado, culpado, saudoso, entre muitos outros. Nestas situações, a tentativa de focar as atenções em tarefas importantes ou urgentes, pode ser difícil ou até impossível, posto que os pensamentos sempre voltam a focalizar a paixão ou a humilhação, etc. Isto pode ocorrer apesar da camada meta-gerente (terceira camada do modelo) decidir atender outra coisa.

Ela se enquadra na definição de emoção secundária, mas envolve um algo mais, a perda parcial do controle de atenção. Isto só é possível se existe algo que normalmente fornece este controle. Pois só então a noção de “perder o controle” se torna relevante. Sem a meta-gerência não se pode validar, explicitamente, a possibilidade de se atender a necessidade A ou a, e então decidir atender a B por julgar esta melhor. Sem a meta-gerência, um alarme, ou outro mecanismo, não pode sabotar uma decisão baseada no julgamento que seria melhor atender ou pensar sobre B. Sloman afirma em (SLOMAN, 1998): "Somente se há um mecanismo de controle, o controle pode ser perdido". As emoções terciárias requerem uma arquitetura de processamento de informações extremamente sofisticada.

Não apenas a meta-gerência pode redirecionar a atenção. Processos de deliberação normais envolvem troca de atenção, por exemplo, mudar a atenção para novos objetivos ou passar a pensar nos meios e não nos fins. Mecanismos reativos, como, detectar algo brilhante, ou algo que esteja se movendo podem redirecionar recursos de percepção. Um sistema deliberativo talvez tenha muitos sub-processos competindo por atenção.

4.2 As Três Camadas Arquitetônicas

Na seção anterior, falou-se das camadas; reativa, deliberativa e meta-gerente; as três camadas arquitetônicas do modelo H-CogAff. Comentou-se, também, um pouco das suas funções primordiais. Agora, as camadas serão destrinchadas de forma completa.

4.2.1 Camada reativa

Este é, sem dúvidas, o item mais importante deste capítulo; vale lembrar que todo modelo fisiológico de emoção procura responder às premissas propostas por Sloman para esta camada. Apesar de tudo, muitos pontos podem ficar confusos; não se mostrarem claramente como ele propõe, já outros, do ponto de vista conceitual, podem escorregar para as outras camadas. O hipotálamo, por exemplo, e seu constante monitoramento, parece algumas vezes como um componente da terceira camada.

A camada reativa possui mecanismos extremamente primitivos e por isso presente em plantas, insetos e todos os tipos de animais. Os mecanismos deliberativos mais recentes não substituíram os mais antigos; funcionam em conjunto com estes, mas não necessariamente sempre os dominando.

A principal característica dos mecanismos reativos é a incapacidade de visualizar, validar e selecionar cursos de ações possíveis ou outras possibilidades hipotéticas. Eles podem apenas reagir a situações detectadas interna ou externamente. A Figura 4.1 mostra como seria uma arquitetura reativa com um mecanismo de alarme.

Os sistemas reativos são muito variados. Podem ser compostos de mecanismos analógicos (contínuos), mecanismos digitais, ou uma mistura dos dois. A detecção de certas necessidades pode mudar os estados internos e com isso modificar a seleção das próximas ações.

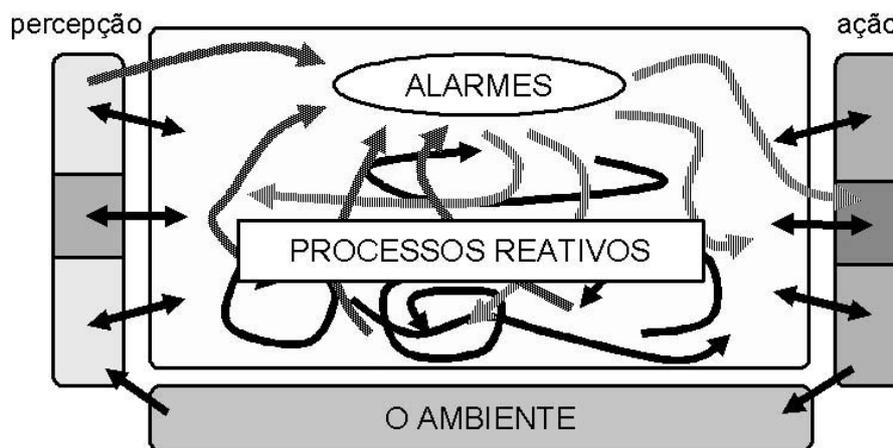


Figura 4.1 Camada reativa

As plantas possuem muitos mecanismos reativos sem coordenação. Animais com um cérebro centralizado possuem mais coordenação e controle global. Uma colônia de insetos pode ser imaginada como um organismo reativo de alto nível, com um controle completamente distribuído.

Dentro do cérebro de um animal reativo, as rotas internas entre sensores e atuadores podem ser mais ou menos indiretas. Rotas indiretas diferentes podem atuar concorrentemente, processando informações em diferentes níveis de abstração com objetivos distintos. Alguns processos podem ser ativados apenas uma vez, enquanto outros podem executar em *laço*. Por exemplo, mover-se aleatoriamente até visualizar comida, caminhar em direção da comida até esta estar alcançável, comer até estar satisfeito, etc.

Sistemas reativos normalmente são muito rápidos por usarem uma implementação paralela. Isto pode levar a ativações de diferentes ações simultaneamente.

As pequenas linhas horizontais no diagrama indicam divisões entre os processos sensoriais e motores, operando em diferentes níveis de abstração são chamadas “*subsistemas em camadas de percepção e ação*”. Por exemplo, algumas reações dependem de meios relativamente simples, de fluxo óptico ou pressão de contato, enquanto outros necessitam de formas de percepção mais complexas (por exemplo, reconhecer algo como um abrigo, ou como um potencial perigo). Da mesma forma, ações podem causar mudanças internas e externas simples (ex: contrair um músculo), ou podem ser hierarquicamente mais complexas, como correr, pular, voar, etc.

Embora a camada reativa não seja capaz de efetivamente “pensar”, alguns planos simples podem ser aprendidos e usados em seqüência para responder a uma situação característica (por exemplo: “caçar aquele animal”, “procurar um abrigo”).

Mesmo em criaturas muito simples, é fundamental a existência de um “*mecanismo de alarme global*” que permita um redirecionamento rápido de todos os sistemas em resposta a um determinado padrão que indique oportunidades ou perigos, que pode ser totalmente inato, ou parcialmente treinável. Normalmente, este mecanismo não faria nada, mas quando ligado a situações apropriadas, ele poderia rapidamente redirecionar todo o resto do organismo para um estado de paralisia, para atacar, ficar em alerta, entre outros. Aparentemente, estes sistemas se desenvolveram há muito tempo atrás: muitos animais têm um ou mais mecanismos de alarme global.

4.2.2 Camada deliberativa

Esta camada possui mecanismos deliberativos capazes de complementar as limitações da camada reativa, especialmente a habilidade de atingir um objetivo, numa situação inédita, através de uma seqüência definida de ações. Um sistema reativo deve ser capaz de invocar um plano existente, por exemplo: se uma necessidade é detectada e é possível que uma seqüência de reações seja ativada. Mas isto pressupõe a existência de um plano implícito ou explícito, produzido pela evolução ou desenvolvido como uma resposta automática.

Um conjunto de ações complexas pode ser descoberto por um explorador reativo usando um método de tentativa e erro com uma espécie de aprendizado, mas isso pode se tornar perigoso em muitas circunstâncias, além de consumir muito tempo. Caso um sistema tem a capacidade de realizar raciocínios hipotéticos, ele pode procurar um espectro de ações possíveis até encontrar o plano que mais se adapta à situação. Isto requer uma *memória associativa* que seja capaz de responder questões do tipo: “Que ações são possíveis na situação X?”, “Que ações se seguiriam se a ação A for realizada na situação X?” ou “Que ações são relevantes para se atingir um objetivo do tipo O?”

Um sistema capaz de criar novos planos para avaliação requer uma memória reutilizável onde se construiriam planos parciais antes de selecionar um destes. As estruturas em forma de árvore mostradas na Figura 4.2 indicam soluções de problemas parcialmente construídos. Este reuso fará o processo de exploração ser realizado em série e seqüencialmente. Há outras razões para que os mecanismos deliberativos necessitem ser seqüenciais, discretos, e relativamente lentos. Por exemplo, mesmo que a memória de associação utilizasse uma implementação neural paralela e distribuída, estaria restrita a responder uma pergunta de cada vez.

Como no caso da camada reativa, os mecanismos de alarme podem ser úteis para redirecionar um sistema deliberativo quando perigos e oportunidades são detectados. Sistemas dentro da camada deliberativa podem ficar ligados ao sistema de alarme. Da mesma forma, o sistema de alarme poderia mandar interrupções e sinais de redirecionamento para os mecanismos deliberativos, redirecionando a atenção ou mudando o tipo de processamento.

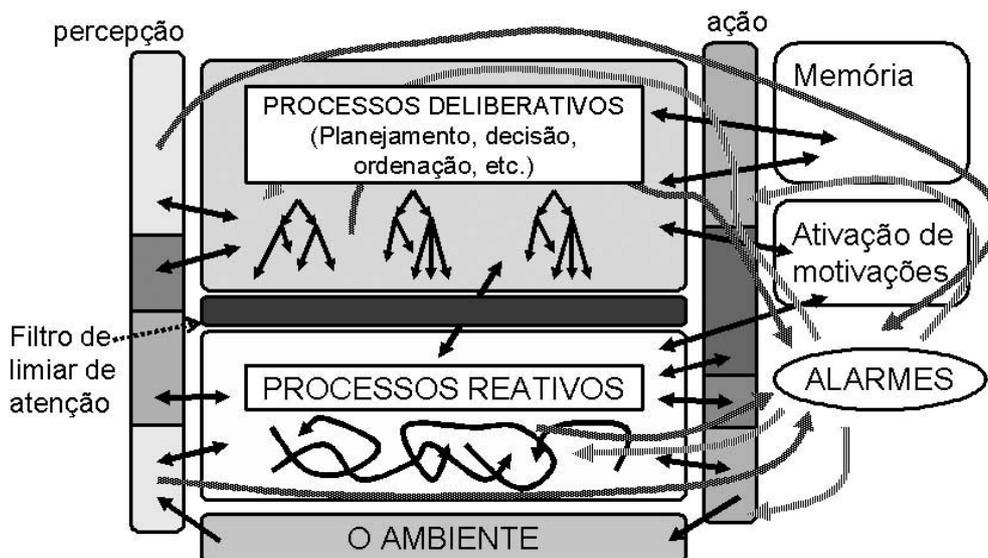


Figura 4.2 Camada deliberativa

Uma rápida mudança no ambiente pode causar muitas interrupções e redirecionamento de atenção, mas nem sempre um evento desta natureza é desejado. Pode ser importante prevenir interrupções quando o objetivo atual é muito importante ou urgente. Segundo Sloman, uma solução parcial para este problema seria um *filtro de atenção*, também apresentado na Figura 4.2. Este filtro também deve suprimir o sistema de alarme global sobre certas circunstâncias, priorizando, desta forma, somente a atividade mais importante.

Um plano útil gerado pelos mecanismos deliberativos pode ser transferido para o sistema reativo, talvez como resultado de operações repetitivas (exemplo, dirigir um carro). Guardar estes planos em mecanismos reativos pode fornecer respostas mais rápidas, mas ações menos flexíveis.

4.2.3 Camada meta-gerente

Um mecanismo deliberativo precisa de estratégias para deliberação. A camada meta-gerente permite que processos deliberativos sejam monitorados e aprimorados, por exemplo; aprender a aumentar o limiar do filtro de atenção enquanto está ocupado, ou perceber que certos planos falham em determinadas situações. Este aprendizado pode reduzir as falhas nos mecanismos deliberativos, reduzir a interferência entre metas (goals), detectar tempo perdido em problemas insolúveis, etc. A flexibilidade é ainda maior se o meta-gerenciamento for capaz de usar regras, categorias e valores absorvidos da cultura ao seu redor.

As habilidades de observar e categorizar estados internos produzem conseqüências sutis, que podem ter influenciado a evolução das capacidades de automonitoramento. Pais podem diagnosticar um problema com uma criança mais facilmente se esta for capaz de observar e descrever os sintomas internos, ou um paciente pode dizer a dentista qual dente dói.

Um dispositivo chamado pelo autor de "*personae*", que seria responsável por características globais de comportamento e, por exemplo, poderia alterar um comportamento agressivo para um servil.

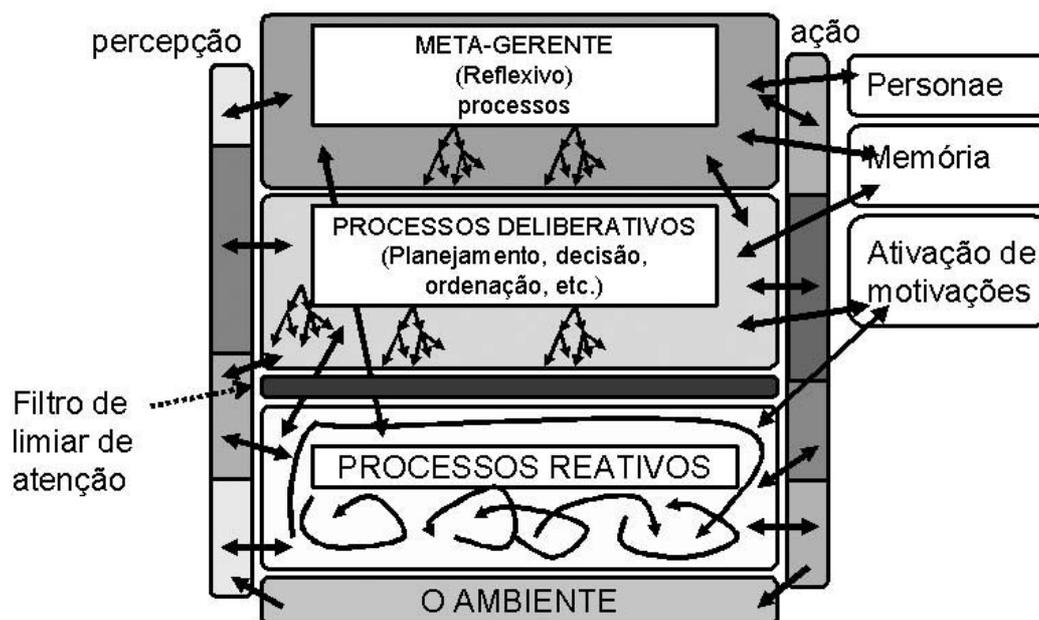


Figura 4.3 Camada meta-gerente

O mecanismo de alarme descrito anteriormente poderia ser ampliado através conexões com mecanismos da camada meta-gerente. Sistemas de alarme requerem reações rápidas, portanto dependem de velocidade e por esse motivo são simples, baseando-se em padrões e não em análises profundas. Conseqüentemente, os alarmes não serão sempre otimizados e, com isso, muitas interrupções de re-direcionamentos serão indesejáveis. Emoções terciárias se incluem nesses casos. Talvez alguns vícios, obsessões e outras desordens dependam de transformações no mecanismo de alarme.

Automonitoramento, auto-avaliação e autocontrole são todos passíveis de falha. Nenhum sistema pode ter acesso completo a seus estados internos e seus processos. Preferências usadas na seleção e na auto-avaliação podem ser errôneas ou mal julgadas. O controle sobre processos deliberativos deve ser parcial, por exemplo, porque o sistema de alarme global não pode ser suprimido de forma eficiente devido a um barulho muito alto, ou a um vício, etc.

A Figura 4.3 apresenta a camada meta-gerente junto com as outras duas já comentadas anteriormente. O sistema de alarme global não é mostrado para não deixar a figura muito confusa (comparar com a Figura 4.2).

5 ESTRUTURA DE CONTROLE

Já foi dito que o MFE possui uma forte inspiração na biologia e procura utilizar os conhecimentos obtidos pela neurociência nos últimos tempos. Contudo, durante a especificação dos órgãos que compõem o cérebro, no capítulo 7, serão apresentadas operações simples do tipo estimulaX, inibeY ou percebeZ. No entanto, de nada adiantaria um corpo com vários órgãos, constantemente gerando diversos estímulos diferentes a fim de manter um equilíbrio homeostático e um conjunto de emoções agindo diretamente sobre a fisiologia deste corpo a fim de influenciar a tomada de decisões, isto se o controle central deste organismo fosse realizado por um cérebro completamente reativo, implementado numa arquitetura de subsunção, com comandos do tipo “se A então B”. Devem existir critérios que definam o momento correto de cada reação.

Não faria nenhum sentido, também, um modelo tão inspirado na biologia com um controle apoiado em teorias psicológicas, como da abordagem simbólica da inteligência artificial, pois, ainda que a psicologia contribua significativamente para a compreensão do comportamento inteligente, ela não é o verdadeiro interesse do MFE. Um modelo apoiado na biologia necessita de uma estratégia de controle também apoiada na biologia.

5.1 Um Cérebro Para Controlar Tudo

Segundo (SIMON; KAPLAN, 1989), um aspecto importante na construção da arquitetura de um sistema inteligente é a forma como se ataca o problema da inteligência. Na construção de uma arquitetura deste tipo, um grande número de abstrações é realizado, levando em consideração os objetivos deste sistema inteligente. Até onde se sabe, ou se pode provar cientificamente, uma inteligência como a do homem e qualquer outro animal é produzida por um sistema biológico, sem mecanismos sobrenaturais envolvidos. No entanto, a especificação de uma arquitetura extremamente sofisticada como a do sistema nervoso é, atualmente, algo completamente inviável. Por isso diversos tipos de abstrações são necessários, seja simplificando este sistema nervoso ou procurando estruturas cognitivas completamente diferentes. A IA, tradicionalmente, oferece duas soluções para o problema: abordagem simbólica ou conexionista.

Todo o princípio reducionista da rede neuronal está perfeitamente de acordo com o MFE. Mas como já foi comentado no capítulo três, a IA conexionista, ainda que inicialmente inspirada na fisiologia dos neurônios, criou seu próprio rumo e suas próprias soluções para as limitações da época, desvencilhando-se da neurofisiologia.

O objetivo deste capítulo é preencher uma lacuna do próprio modelo e sugerir uma estratégia de controle para o MFE, visto que, durante a especificação do diagrama de classes o cérebro será separado em diversos módulos anatômico-funcionais que não são

capazes de fornecer, por si só, um comportamento inteligente satisfatório. Como já foi dito, essa estratégia precisa estar de acordo com os princípios do modelo e retratar o real funcionamento dos neurônios. Apoiado nesta premissa, é apresentado aqui um modelo baseado na *Teoria da Seleção de Grupos Neurais*, também conhecida como *Darwinismo Neuronal*.

5.2 Darwinismo Neuronal

O modelo computacional proposto por G. Edelman é totalmente apoiado em suas teorias sobre o real funcionamento do cérebro; a chamada Teoria da Seleção dos Grupos Neurais (TSGN). Segundo o autor, o cérebro funciona como um sistema de reconhecimento muito similar ao sistema imunológico dos organismos. Sem dúvida, a melhor maneira de se fazer entender as idéias do funcionamento do cérebro é com a exposição da forma de atuação do sistema imunológico.

Como o organismo identifica o que é ou não é estranho (invasor) ao nível molecular? Se for injetada no corpo de um indivíduo uma proteína que não tenha semelhanças com as que lhe são próprias, células especiais chamadas *linfócitos* reagem produzindo moléculas chamadas *anticorpos*. Estas moléculas se ligam à molécula adaptando-se a porções específicas e características dessa molécula, ou *antigênio*, como é chamada. Um encontro posterior permitirá que estes anticorpos se liguem de forma ainda mais eficaz àqueles antígenos. O mais espantoso disso tudo está no fato de moléculas novas serem sintetizadas para tratar do organismo estranho; moléculas que nunca existiram antes.

De que forma o corpo de um indivíduo pode distinguir positivamente moléculas novas de uma maneira tão específica? De acordo com (EDELMAN, 1992), a teoria vigente é conhecida como “teoria da seleção clonal”, e foi primeiramente proposta por Frank MacFarlane Burnet. Sua teoria sustenta que antes de qualquer contato com uma molécula exterior, o corpo do indivíduo tem a capacidade de fabricar um grande repertório de moléculas de anticorpo, cada uma delas apresentando uma configuração diferente no local de ligação (cada molécula de anticorpo possui duas regiões distintas; uma fixa e idêntica em todos os anticorpos, e outra variável, para a ligação com o antigênio). Quando uma molécula exterior (por exemplo, um vírus ou uma bactéria) penetra no corpo, encontra uma população de células, cada uma com um anticorpo diferente em sua superfície. Liga-se, então, às células do repertório que têm anticorpos cujos locais de ligação são mais ou menos complementares dos seus. Quando um antigênio se liga a um anticorpo de maneira suficientemente íntima, ele vai estimular a célula (chamada linfócito) que transporta o anticorpo a dividir-se várias vezes. Isto vai resultar numa numerosa “prole” de células possuindo anticorpos com a mesma forma e capacidade de ligação específica.

Como resultado da seleção de células com anticorpos adequadamente específicos, partindo de um grande repertório de células diferentes, os tipos de repertórios específicos para uma forma exterior aumentam em número por que o fenômeno de ligação seletiva levou células a multiplicarem-se.

G. Edelman defende a idéia de que os neurônios funcionam de forma muito similar ao sistema imunológico. Nas palavras do autor “*a ciência do cérebro é uma ciência do reconhecimento*”. Segundo ele, uma poderosa razão para adotar o ponto de vista seletivo e não a tradicional visão instrutiva está ligada à teoria do homúnculo. O homúnculo seria uma espécie de anão localizado no topo da mente que atua como um intérprete de sinais e símbolos em qualquer teoria instrutiva da ciência cognitiva. Porém, torna-se necessário um homúnculo dentro da cabeça do primeiro homúnculo e assim por diante.

Por outro lado, Edelman defende que em sistemas seletivos não há necessidade de homúnculos, necessitando conciliar a variabilidade estrutural e funcional do cérebro com a necessidade de explicar como é que ele executa a tarefa da categorização.

O autor então propõe a TSGN que, embora explique todo o funcionamento da consciência, baseia-se simplesmente em três princípios fundamentais. Estes três princípios dizem respeito à forma como a anatomia do cérebro, primeiramente desencadeada durante o desenvolvimento; como são selecionados depois os padrões de resposta a partir desta anatomia ao longo da experiência e como a reentrada, um processo de retransmissão de mensagens entre os mapas cerebrais obtidos, pode dar origem a importantes funções comportamentais.

De acordo com o primeiro princípio, a seleção no desenvolvimento, os processos primários do desenvolvimento do cérebro conduzem à formação da neuro-anatomia característica de uma espécie. Esta anatomia possui uma enorme variação ao nível das ramificações mais finas devido à ligação dinâmica entre as células; à flutuação estatística do movimento celular; à extensão dos prolongamentos celulares e à morte celular ao longo do desenvolvimento e ao ajustamento das conexões. Isto acaba formando um imenso repertório de redes neuronais, conhecido como *repertório primário*. Segundo Edelman, o código genético não fornece um diagrama de ligações específicas para este repertório, mas impõe um conjunto de restrições ao processo de seleção. Mesmo com essas restrições, é absolutamente improvável que indivíduos geneticamente idênticos tenham ligações idênticas.

O segundo princípio da TSGN fornece outro mecanismo de seleção que, em geral, não implica qualquer alteração no padrão anatômico. De acordo com esse princípio as conexões sinápticas da anatomia são enfraquecidas ou fortalecidas seletivamente por processos bioquímicos específicos. Este mecanismo “esculpe” de forma eficaz uma variedade de circuitos funcionais da rede anatômica, por meio de seleção. Este conjunto de circuitos variantes se chama *repertório secundário*.

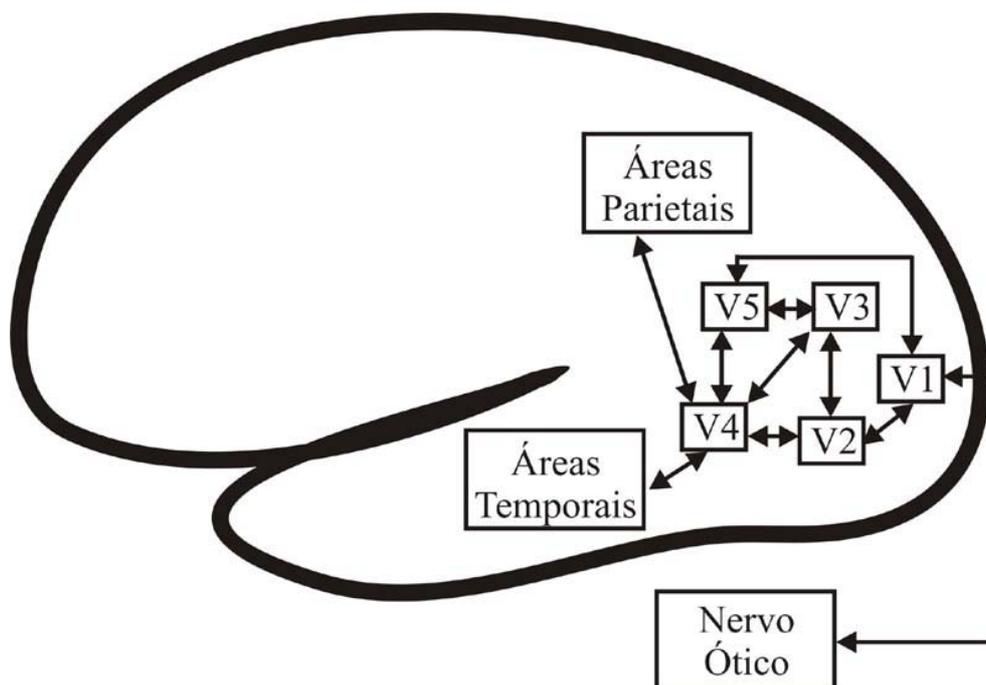


Figura 5.1 Mapas de áreas visuais do cérebro

O terceiro princípio da TSGN diz respeito à forma como os fenômenos de seleção descritos nos dois primeiros princípios atuam no sentido de ligar a psicologia à fisiologia. Ele sugere que os mapas cerebrais interajam através de um processo chamado *reentrada*. O autor afirma ser esta a proposta mais importante de toda a teoria, pois é ela que está subjacente ao modo como as áreas cerebrais que surgem ao longo da evolução coordenam entre si o aparecimento de novas funções.

Para poder desempenhar essas funções, os repertórios primário e secundário têm de formar mapas. Estes mapas estão conectados entre si através de ligações maciçamente paralelas e recíprocas. Edelman cita o exemplo do sistema visual do macaco, que apresenta mais de trinta mapas diferentes, cada um deles com um certo grau de segregação funcional (para orientação, cor, movimento e assim por diante), estando ligados aos outros mapas por intermédio de ligações paralelas recíprocas. Ao longo dessas ligações ocorrem trocas de mensagens reentrantes. Isto significa que enquanto determinados grupos de neurônios são selecionados num mapa, outros neurônios presentes em mapas ligados com o mapa em questão podem também ser selecionados ao mesmo tempo. Consegue-se a correlação e a coordenação destes fenômenos de seleção por meio das mensagens reentrantes e do fortalecimento das interligações entre os mapas, num determinado segmento de tempo. Isto se mostra claro na Figura 5.1; mapas múltiplos de áreas visuais do cérebro encontram-se ligados entre si de forma reentrante (setas duplas ligando os mapas visuais V1-V5, as áreas temporais e as áreas parietais). Cada mapa funciona de forma funcionalmente isolada em relação à cor, ao movimento, à orientação e assim por diante. Não existe qualquer “mapa supervisor” que centralize a informação a respeito destas propriedades. Porém, como consequência da reentrada (as setas duplas), os mapas atuam de forma coerente para responder a combinação de propriedades.

Contrariando a idéia mais intuitiva, de acordo com a TSGN, a unidade de seleção básica não é o neurônio independentemente, mas sim uma coleção de neurônios intimamente ligados chamada grupo neuronal. Edelman apresenta algumas suposições que o conduzem a acreditar na idéia dos grupos de neurônios. O autor comenta que um dos motivos disto tem a ver com as limitações das propriedades dos neurônios e com restrições impostas pelo desenvolvimento. Os neurônios podem individualmente estimular outros neurônios ou inibi-los, mas não ambas as coisas. Os grupos, ao contrário, sendo constituídos por uma mistura dos dois grupos, podem ser as duas coisas. Durante a formação do repertório primário, os neurônios vizinhos tendem a ligar-se entre si, formando circuitos que contêm vários tipos de neurônios em proporções variadas. Isto acrescenta uma propriedade vivamente cooperativa à atividade dos neurônios que se organizam em grupos. E esta atividade é, muito provavelmente, diferente para áreas e mapas distintos, devido às diferenças nos repertórios primários.

Existe ainda uma outra razão para supor que os grupos neuronais são unidades de seleção. As células nervosas individuais nunca são selecionadas isoladamente; não há qualquer neurônio individual de um mapa que esteja conectado de modo reentrante unicamente com um neurônio de outro mapa; além disso, nenhum neurônio individual possui, isoladamente, as propriedades que revela quando integrado num grupo. Desta forma, é improvável que um neurônio isolado atue como unidade de seleção.

Para explicar o modo como ocorre a categorização, Edelman recorre ao funcionamento cerebral daquilo que ele próprio chamou de “par classificativo”. Este consiste numa unidade mínima, constituída por dois mapas funcionalmente diferentes ligados entre si por meio de reentrada (Figura 5.2). Cada um dos mapas recebe independentemente mensagens oriundas de outros mapas cerebrais ou do mundo exterior. Num certo período de tempo, a comunicação reentrante estabelece ligações

fortes entre determinadas combinações ativas de grupos neuronais de um dos mapas e combinações diferentes no outro mapa. Isto acontece através do fortalecimento e do enfraquecimento de determinadas sinapses dentro dos grupos de cada mapa e nas ligações dos grupos com fibras reentrantes. Desta forma, as funções e atividades de um dos mapas estão ligadas e correlacionadas com as do outro mapa. Até mesmo quando cada mapa recebe mensagens independentes do mundo exterior, por exemplo: um dos conjuntos de inputs pode partir da visão e outro do tato. Esta capacidade de ligação não está limitada a um par de mapas nem a um fragmento de tempo definido: as interações de múltiplos mapas podem ser coordenadas da mesma forma.

Esta propriedade é muito importante. A seleção de grupo neuronal que ocorre nos mapas leva a produção de novos tipos de mensagens, que podem depois reentrar em mapas anteriores, juntamente com mensagens do mundo exterior. Esta propriedade da reentrada permite o que foi denominado por Edelman como síntese recursiva: não só os acontecimentos se relacionam topograficamente, atravessando diferentes mapas sem um supervisor, como novas propriedades seletivas emergem ao longo do tempo, através da reentrada sucessiva e recursiva que cruza os vários mapas.

Os mapas reentrantes fornecem uma teoria razoavelmente coerente para a idéia de ligar fisiologia e psicologia. No entanto, a categorização perceptiva, função que a TSGN considera fundamental na tentativa de ligar essas duas áreas só pode ser obtida por intermédio de uma estrutura de ordem mais elevada chamada cartografia global. Uma cartografia global é uma estrutura dinâmica que contém múltiplos mapas reentrantes locais (tanto sensitivos quanto motores) que podem entrar em relação com partes do cérebro que não possui mapas; estas partes seriam responsáveis por funções altamente especializadas nas áreas sensitiva e motora. A cartografia global acaba permitindo que os fenômenos de seleção ocorridos nos mapas locais (Figura 5.2) estejam relacionados com o comportamento motor do animal, com novas amostragens sensitivas do mundo exterior e com sucessivos fenômenos adicionais de reentrada.

Esta cartografia assegura a criação de um circuito dinâmico que continuamente ajusta os gestos e a postura do animal com base na amostra de diversos tipos de mensagens sensitivas. A seleção de grupos neuronais tem então como resultado o desencadeamento de “respostas categoriais específicas”. A categorização não se verifica de acordo com uma espécie de programa de computador numa determinada área sensitiva que executa uma operação de modo a oferecer uma resposta motora particular. Em vez disso, a atividade sensitivo-motora realizada em toda a cartografia seleciona determinados grupos neuronais que fornecem a resposta e o comportamento adequados, daí resultando a categorização.

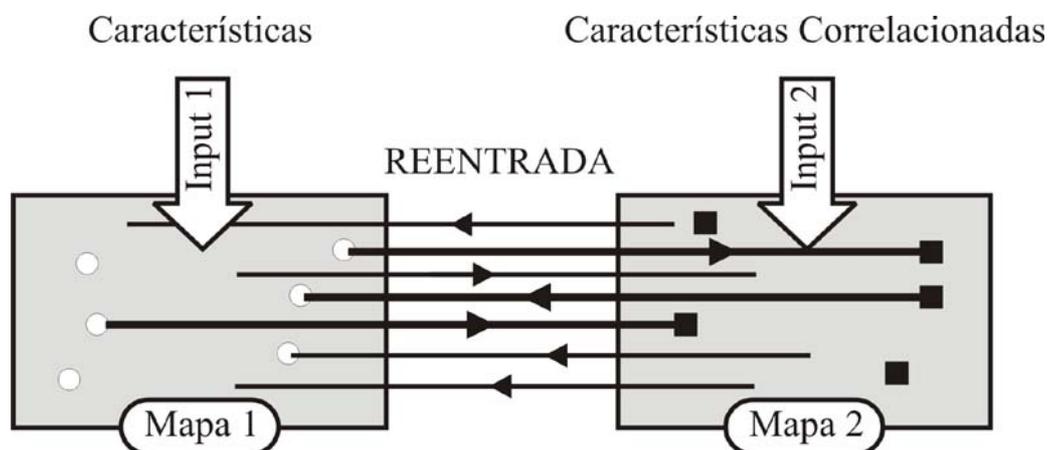


Figura 5.2 Reentrada entre dois mapas

Porém, qual é o significado da palavra “adequado” quando é utilizada em relação ao comportamento e de que forma se manifesta a categorização perceptiva? A TSGN afirma que a categorização se dá sempre com referência a critérios de valor internos e que esta referência define sua adequação. Estes critérios de valor não determinam uma categorização específica, mas impõem restrições aos domínios nos quais ocorrem. De acordo com esta teoria, as bases para existência de sistemas de valor em animais de uma dada espécie já estão determinadas pela seleção evolutiva. Aparecem, claramente, nas regiões do cérebro ligadas à regulação das funções corporais: frequência cardíaca, respiração, respostas sexuais, respostas alimentares, funções endócrinas e respostas do sistema nervoso autônomo. A categorização manifesta-se através do comportamento que preenche adequadamente as exigências da seleção evolutiva destes sistemas fisiológicos indispensáveis à vida.

As idéias apresentadas com a TSGN são aplicadas na prática através de uma série de autômatos denominada *Darwin Series*. Estes autômatos procuram demonstrar que a categorização perceptiva pode ser levada a cabo numa cartografia global em referência a um valor. Informações detalhadas sobre a especificação completa do autômato Darwin III, bem como uma breve explicação sobre as duas primeiras versões da série podem ser encontradas em (REEKE; SPORNS; EDELMAN, 1990), enquanto que detalhes sobre o Darwin IV (última versão do autômato até o momento) podem ser vistos em (EDELMAN; TONOMI, 2000).

Com relação à implementação de um agente inteligente baseado no MFE, a utilização deste modelo computacional é bastante intuitiva; o diagrama de classes do cérebro do modelo mostrado no capítulo 7 pode ser visto como uma cartografia global de todo sistema sensitivo-motor da criatura; para isto, suas classes devem ser desmembradas em classes ainda mais específicas para a criação dos diversos mapas reentrantes e conseqüentes sistemas de categorização, visto que classes como **Córtex Somestésico** ou **Córtex Visual** são absolutamente genéricos. Por fim, todo o sistema de órgãos buscando o equilíbrio homeostático do MFE é capaz de prover o sistema de valor, base necessária à categorização na TSGN.

6 SOBRE A FISIOLOGIA

Como seria o homem e a sociedade onde ele vive se este não precisasse dormir? Se nunca sentisse sono? Através de uma suposição rápida e grosseira poderia se concluir que haveriam diversas mudanças no dia-a-dia, por exemplo: a indústria do lazer seria ainda mais forte, já que todas as cidades seriam "a cidade que nunca dorme"; as casas certamente teriam outra aparência, sem camas ou quartos. Diferenças mais gritantes existiriam tanto na sociedade quanto na anatomia dos seres vivos se não precisassem respirar, não usassem oxigênio como combustível. Não havendo a necessidade de respirar, não existiriam a faringe, laringe, traquéia e pulmões. Sem pulmões, possivelmente não existiria a fala e com isso, a comunicação teria de se desenvolver de outro jeito, ou simplesmente não se desenvolveria. Apesar de tudo, um mundo que não respirasse quem sabe ainda apresentasse muitas semelhanças com o mundo que todos conhecem.

Mas como seria o homem e a sociedade onde ele vive se além de não precisar respirar, não precisasse buscar energia de nenhuma outra fonte, fosse auto-suficiente? Assim como na hipótese anterior, não teria pulmões e com isso, não se comunicaria, como não precisaria comer nem beber, não necessitaria de estômago, intestinos, fígado e demais órgão do sistema digestivo, por não precisar alcançar, buscar os alimentos, não teria pernas ou braços. Provavelmente não teria olhos e ouvidos também; como nada existente no meio externo seria necessário para a sobrevivência deste organismo, não haveria necessidade de perceber algo neste ambiente. E como seria o cérebro deste ser auto-suficiente? Uma possível alternativa seria a inexistência deste cérebro, ou uma existência extremamente simplificada. Um ser que não precisa interagir com o meio de nenhuma forma, provavelmente necessita de um cérebro complexo. Conforme mostra a Figura 6.1 (adaptada de (COSTA, 2003)), as interações entre mente e corpo existem apenas para satisfazer as necessidades deste corpo, que só podem ser atendidas através das interações com o meio, posto que o corpo em questão não é auto-suficiente. O cérebro está presente por ser um sistema de controle central, responsável, principalmente pela garantia da homeostasia no organismo.

6.1 Processos Homeostáticos

O termo homeostasia vem da junção das palavras gregas *homóios*, que significa semelhante, da mesma natureza, e *stásis*, que significa equilíbrio. A palavra é usada para definir a condição de estabilidade que deve ser mantida em vários fatores do ambiente interno do corpo a fim de se garantir a manutenção da vida. Um exemplo simples de controle homeostático é o realizado por um termostato de ar condicionado, que procura manter a estabilidade na temperatura de um ambiente. Dentro do corpo, a homeostasia é garantida através do aumento ou diminuição de diversos fatores orgânicos, como por exemplo (GUYTON; HALL, 1998):

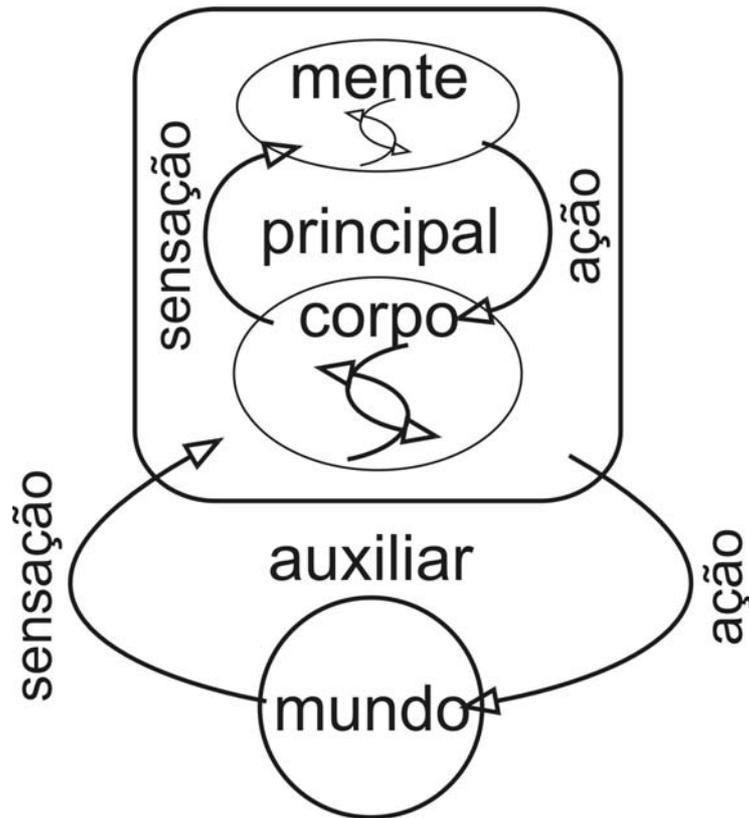


Figura 6.1 O ciclo auxiliar existe para manter o ciclo principal

- uma elevação na concentração de CO_2 nos líquidos orgânicos é percebida pelo centro respiratório nos sistema nervoso central, o qual determina uma respiração rápida e profunda, ocasionando aumento na inspiração de O_2 e da expiração do excesso de CO_2 ;
- um abaixamento da pressão arterial é captada pelo centro vasomotor localizado no bulbo, que determina, através do sistema nervoso simpático, a contração das paredes das arteríolas e o aumento da frequência cardíaca, elevando, desta forma, a pressão arterial.

É fácil perceber, através dos exemplos acima que o principal "termostato" do corpo é o cérebro, pois cabe a ele tanto o controle consciente e voluntário de diversos estados e processos através da mente, quanto o controle inconsciente de diversas funções através do sistema nervoso vegetativo, por exemplo. Mas como se relacionam os aspectos conscientes e inconscientes tratados pelo cérebro? Antônio Damásio em (DAMÁSIO, 1996) afirma que é impossível imaginar uma mente sem corpo, visto que muitas emoções e motivações são fruto da interação deste corpo e sua mente.

Se o corpo é tão importante para a mente, alias, se a mente só existe para auxiliar este corpo, é impossível imaginar um modelo de mente que não esteja acompanhado de um modelo de corpo. Acontece que tanto um modelo de corpo quanto um modelo de mente pode ser concebido com diferentes níveis de abstração. Este corpo pode ser modelado num nível celular com células nervosas, musculares, epiteliais, etc. ou ser ainda expandido até um nível bioquímico com os diversos tipos de proteínas. É claro que, quanto mais detalhado for um modelo do ponto de vista biológico, maior será sua complexidade; isto se mostra claro na proposta de D. Harel em (HAREL, 2002) que pretende criar um modelo completo do nematóide *C. elegans*. O autor prevê um prazo de 10 anos e o trabalho de grupos das mais diversas áreas da ciência para a conclusão da

tarefa. E isto é possível por que o *C. elegans* é muito bem definido em termos de anatomia e genética, com aproximadamente 1.000 células. Portanto, é fundamental que este modelo apresente pelo menos, a princípio, algum nível de abstração sem, contudo, perder suas funções principais.

Segundo (GUYTON; HALL, 1998) o corpo é uma ordem social formada de 75 a 100 trilhões de células organizadas em diversas estruturas funcionais diferentes, onde as mais importantes são chamadas de órgãos. Cada estrutura funcional interna ou órgão possui um papel na manutenção do ambiente interno. Analisando o que foi dito acima e a proposta de D. Harel, é simples perceber que modelar o funcionamento de cada célula individualmente é uma tarefa bem complicada. Mesmo se muitas abstrações forem feitas e se conseguisse mudar a quantidade de células para alguns milhões ainda assim seria um modelo muito complexo e pesado do ponto de vista computacional. No entanto, uma alternativa razoável seria detalhar o funcionamento de cada órgão formado por conjunto de células. Apresentando um modelo dos principais sistemas do organismo e dos órgãos que formam cada um desses sistemas. No entanto, é importante ressaltar que este capítulo e o próximo são totalmente complementares. A seguir são apresentados os sistemas que compõem a fisiologia do corpo humano (e demais animais vertebrados), seus respectivos funcionamentos e no próximo capítulo esta fisiologia é aplicada no modelo fisiológico de emoções.

6.2 Sistema Respiratório

As vias respiratórias têm a função de conduzir o ar do meio exterior até os pulmões; elas são constituídas pelas fossas nasais, faringe, laringe, traquéia, brônquios e bronquíolos. Nas fossas nasais o ar é umedecido e purificado. A traquéia e os brônquios apresentam epitélio ciliado que glândulas mucosas e serosas. Os cílios e o muco excretado pelas glândulas auxiliam na remoção de partículas estranhas que penetram nas vias respiratórias. A partir de então, o ar segue até a extremidade dos bronquíolos, onde estão localizados os alvéolos pulmonares, onde é realizada a troca dos gases respiratórios com o sangue (GUYTON; HALL, 1998).

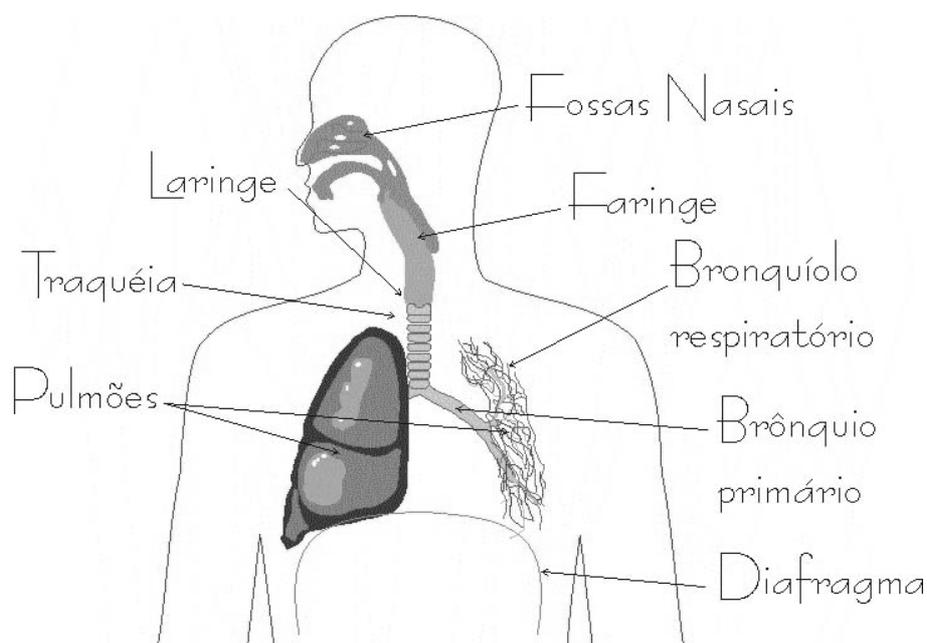


Figura 6.2 Sistema respiratório

A Figura 6.2 mostra um modelo simples do sistema respiratório. O processo de inspiração ocorre com o abaixamento do diafragma, que expande os pulmões, gerando com isso, uma pressão negativa dentro deles e fazendo com que cada pulmão se encha de ar. Já na expiração, há um relaxamento do diafragma, com isso, os pulmões voltam ao tamanho normal, expelindo o gás dentro deles.

Após a realização da troca gasosa, o dióxido de carbono é eliminado através da expiração e o oxigênio é conduzido pelas emcias contidas no sangue através das artérias até dutos muito finos chamados capilares, onde então é distribuído para todas as células do corpo. As células, por sua vez, trocam o oxigênio com as emcias, o oxigênio por dióxido de carbono e estas últimas seguem, através das veias, novamente até os pulmões, completando o ciclo respiratório.

6.3 Sistema Digestivo e de Absorção de Alimentos

O sistema digestivo tem as funções de transformar os alimentos, absorvê-los e excretar seus resíduos, fornecendo ao organismo nutrientes, água e eletrólitos. É constituído por um conjunto de tubos que se inicia na boca e termina no ânus; por glândulas secretoras de sucos digestivos e hormônios relacionados com a digestão. A digestão é realizada seqüencialmente através de cada um dos componentes do tubo digestivo e a absorção é um processo que ocorre principalmente no intestino delgado. Os órgãos que compõem o sistema digestivo aparecem logo abaixo, na Figura 6.3.

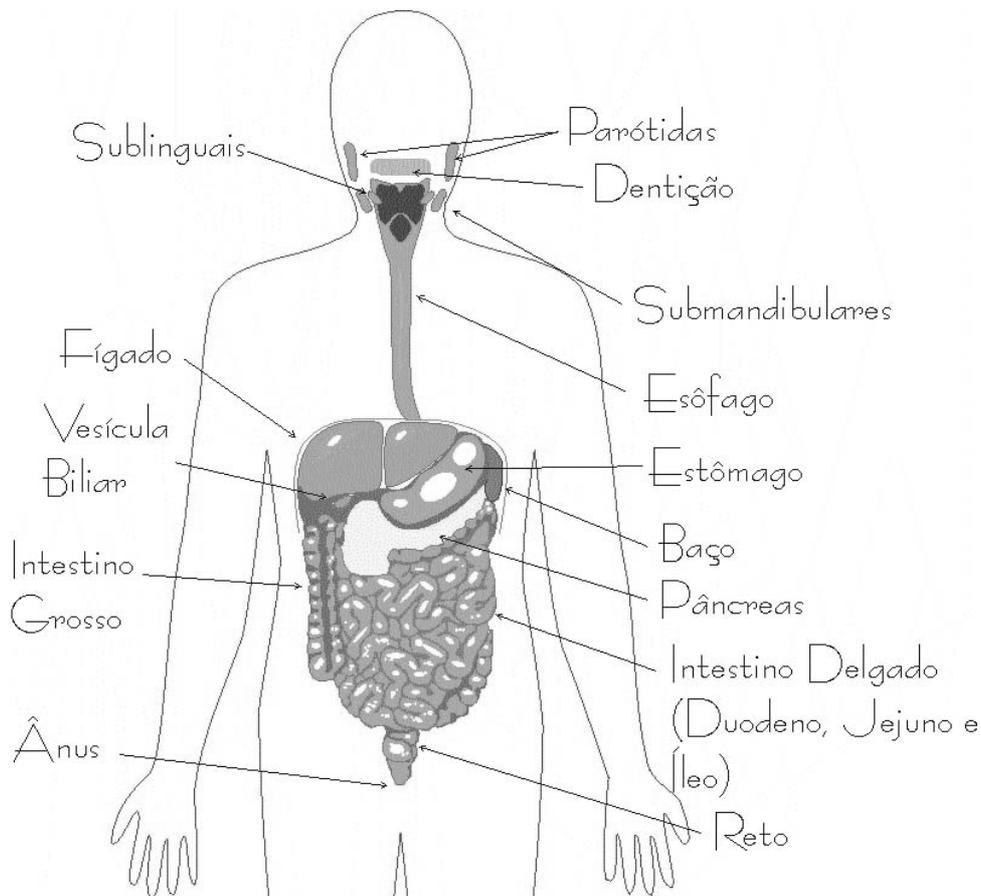


Figura 6.3 Sistema digestivo e de absorção

O Alimento entra no organismo através da boca, cuja principal função é iniciar o processo de digestão e encaminhar o alimento para o esôfago. Dentro da boca o processo de digestão inicia com a mastigação e a secreção salivar realizadas pelas glândulas parótidas e sublinguais. Sendo realizada esta digestão inicial dentro da boca, o alimento é mandado da boca para o esôfago, na chamada deglutição. O esôfago não tem nenhuma utilidade no processo de digestão; ele funciona apenas como um tubo que leva o alimento até o estômago.

Dentro do estômago, o alimento é reduzido a uma massa semifluida denominada quimo, através da secreção de sucos digestivos. Outro papel importante do estomago é o de atuar como um agente bactericida, devido à acidez de sua secreção. Isso evita a contaminação do intestino delgado por alguma bactéria nociva. Um outro órgão importante no desempenho das funções digestivas é o pâncreas, que produz o suco pancreático – liberado no intestino delgado no instante em que este recebe o alimento do estômago – e capaz de digerir todos os tipos de alimentos.

O intestino delgado é o segmento mais extenso do sistema gastrintestinal, tendo cerca de 5 metros num humano, por exemplo. Os primeiros 25 centímetros formam o duodeno e as partes restantes formam o jejuno e o íleo. O intestino delgado, particularmente o duodeno e o jejuno, tem a principal função de digestão e absorção dos alimentos. A principal ação digestiva do intestino delgado é dada pelo suco pancreático, já citada acima, e pela bile, produzida pelo fígado. Do alimento já digerido, são absorvidos os carboidratos, proteínas, gorduras, água e sais; o resíduo não absorvido passa do íleo para o intestino grosso.

O intestino grosso tem como principal função o armazenamento de material fecal (a sobra que não foi absorvida pelo intestino delgado) até que o mesmo possa ser expelido; além disso, ele é responsável, também, pela absorção de água e eletrólitos. A metade inicial se preocupa com a absorção e a restante com o armazenamento.

Fundamental ainda ressaltar o papel do fígado, que desempenha importantes funções no organismo, como regularizar o metabolismo, síntese de certas proteínas, armazenamento de vitaminas e ferro, degradação de certos hormônios, excreção de determinados medicamentos e toxinas, manutenção da quantidade de glicose no sangue, armazenamento de glicose, entre outros (GUYTON; HALL, 1998). Na parte digestiva, a principal função é produção da bile, que é armazenada na vesícula biliar e secretada para colaborar na digestão realizada no intestino delgado.

6.4 Sistema Renal

O aparelho urinário é composto pelos rins, ureteres, bexiga e uretra. O rim é responsável pela manutenção da composição e do volume do líquido extracelular. Estas duas funções são realizadas através da eliminação e da retenção de substâncias, cujo aumento ou diminuição afeta profundamente os processos homeostáticos (GUYTON; HALL, 1998). A Figura 6.4 mostra os componentes do sistema renal.

Os rins são formados por estruturas chamadas néfrons, que são as suas unidades funcionais, pois individualmente são capazes de formar integralmente a urina. Esta urina é então conduzida pelo ureter até a bexiga, onde então é expelida através uretra. Através dessa filtração o rim desempenha importante papel na regularização do equilíbrio acidobásico do organismo; ele também atua na produção de substâncias endócrinas que estimulam a produção de emacias. Mas como esta é uma dissertação da área de ciências da computação e não da área da saúde é importante evitar entrar em detalhes complexos sobre todo o funcionamento do sistema renal, bem como dos outros sistemas apresentados até agora e dos próximos.

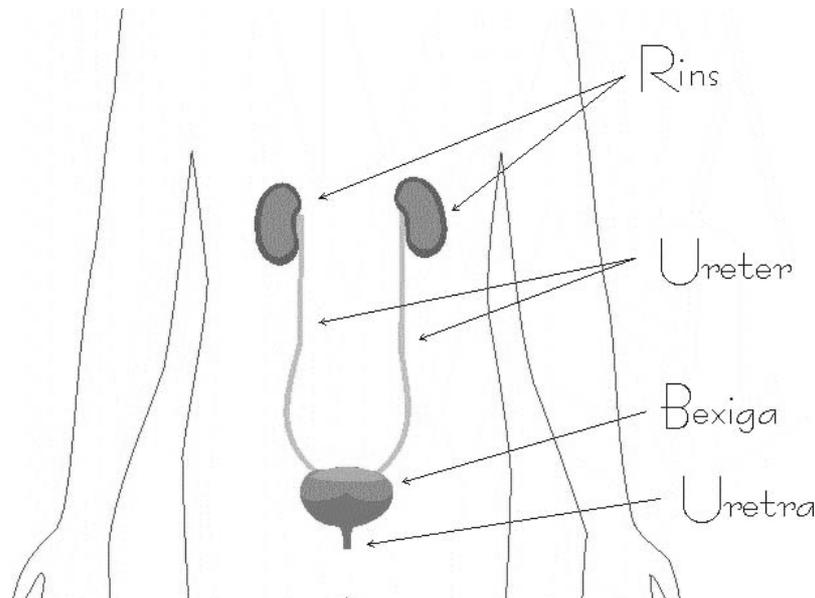


Figura 6.4 Sistema Renal

6.5 Sistema Circulatório

O sistema circulatório é formado pelos vasos sanguíneos, que se iniciam e terminam no coração, conduzindo o sangue para todas as partes do corpo a fim de que ele possa desempenhar as suas importantes funções.

O coração envia o sangue para o interior dos vasos através de duas bombas conectadas em série: uma bombeia-o para os pulmões, chamada *circulação pulmonar* ou *pequena circulação* e a outra o impele para os demais tecidos do corpo a fim de nutri-los adequadamente; é a *circulação sistêmica* ou *grande circulação*. As partes funcionais da circulação são:

- as artérias, que transportam sangue sobre alta pressão para os tecidos, possuem paredes vasculares fortes e rápido fluxo de sangue;
- as arteríolas, que são os últimos ramos do sistema arterial e atuam como válvulas de controle por onde o sangue é liberado para os capilares; esses vasos possuem paredes fortes, capazes de se dilatar ou comprimir, fazendo com que o fluxo de sangue nos capilares aumente ou diminua, conforme a necessidade dos tecidos;
- os capilares, que trocam fluidos, nutrientes e outras substâncias entre o sangue e o líquido intersticial; possuem paredes finas e altamente permeáveis a pequenas moléculas;
- as vênulas coletam o sangue dos capilares e, gradualmente vão convergindo em veias progressivamente mais largas.

Até agora se falou em grande circulação, pequena circulação, vasos por onde circula o sangue, mas como é o caminho completo da circulação sanguínea? A contração do coração esquerdo (o “coração forte”) propõe sangue na circulação sistêmica (grande circulação) através da artéria aorta, que se divide em artérias menores, arteríolas e por fim capilares. O sangue flui pelos vasos não apenas devido ao trabalho cardíaco, mas também devido à retração das paredes das artérias; quando o coração está relaxado, cada seguimento das artérias se contrai funcionando como um verdadeiro

coração. Após sair dos capilares, o sangue entra nas vênulas e flui para veias cada vez maiores, que carregam o sangue até o coração.

O coração direito (conhecido como “coração fraco”, pois necessita apenas enviar o sangue até os pulmões) então bombeia o sangue, através da artéria pulmonar, para artérias menores, arteríolas e capilares pulmonares, onde é realizada a troca gasosa. Dos capilares pulmonares o sangue passa para vênulas e, a seguir, veias maiores até convergir ao coração esquerdo onde, novamente, será bombeado para a circulação sistêmica. A Figura 6.5 apresenta o sistema circulatório humano.

Através da constrição ou dilatação, as veias e artérias exercem um papel importante na distribuição do sangue dentro do organismo; esta atividade é chamada de regulação da circulação periférica. Esta regulação ocorre através de três processos: intrínseco, nervoso e humoral, atuando isolada ou conjuntamente para atender às necessidades dos tecidos em receber oxigênio, glicose, aminoácidos, ácidos graxos e outros nutrientes. Além disso, a vasoconstrição é um processo importante para prevenir a perda sangüínea quando um vaso é lesado, enquanto a constrição ou dilatação dos vasos da pele permite, respectivamente, a perda ou conservação do calor corporal.

A regulação intrínseca da circulação permite que o fluxo de sangue seja regulado de acordo com as necessidades metabólicas. Assim, uma diminuição da oferta de oxigênio aos tecidos e de nutrientes acarretará grande aumento do fluxo e, ao contrário, um aumento dessa oferta acarretará uma diminuição do fluxo.

A regulação nervosa da circulação é feita de maneira extremamente rápida através do sistema nervoso autônomo. Isto será visto ainda neste capítulo quando forem definidas as atividades do cérebro.

Por meio da regulação humoral várias substâncias atuam sobre a circulação, provocando vasoconstrição ou vasodilatação. A noradrenalina e a adrenalina exercem grande influência sobre os vasos sanguíneos. Nos vasos da musculatura esquelética, a adrenalina, em baixas concentrações, produz vaso dilatação e em altas concentrações produz vasoconstrição. Mais detalhes sobre a liberação destes hormônios e suas influências são mostrados na especificação do sistema hormonal.

6.6 Sistema Endócrino

Juntamente com o sistema nervoso, o sistema endócrino é responsável pela e a integração de todos os outros sistemas do organismo, também o endócrino está particularmente envolvido na manutenção da homeostasia, no desenvolvimento e na reprodução.

O sistema endócrino opera através de mensageiros químicos chamados hormônios. Estes normalmente são peptídeos, como o hormônio do crescimento; esteróides, como os hormônios sexuais; ou derivados da tirosina, como os hormônios da tireóide. Os hormônios são sintetizados nas glândulas endócrinas, sendo lançados na circulação em baixas concentrações, e levado às células onde exercem suas ações. Essas ações são realizadas através da modificação da atividade enzimática, a permeabilidade celular ou da síntese protéica. Ao contrário do sistema nervoso, as ações do endócrino são mais lentas, difusas e prolongadas. Entretanto, os dois sistemas são estreitamente ligados ao hipotálamo. A figura 6.6 apresenta os componentes do sistema endócrino.

A hipófise está localizada na base do cérebro e é ligada ao hipotálamo. A glândula possui uma dupla origem embrionária. Assim é possível distinguir, morfo-funcionalmente, duas porções: adeno-hipófise, anterior e neuro-hipófise, posterior.

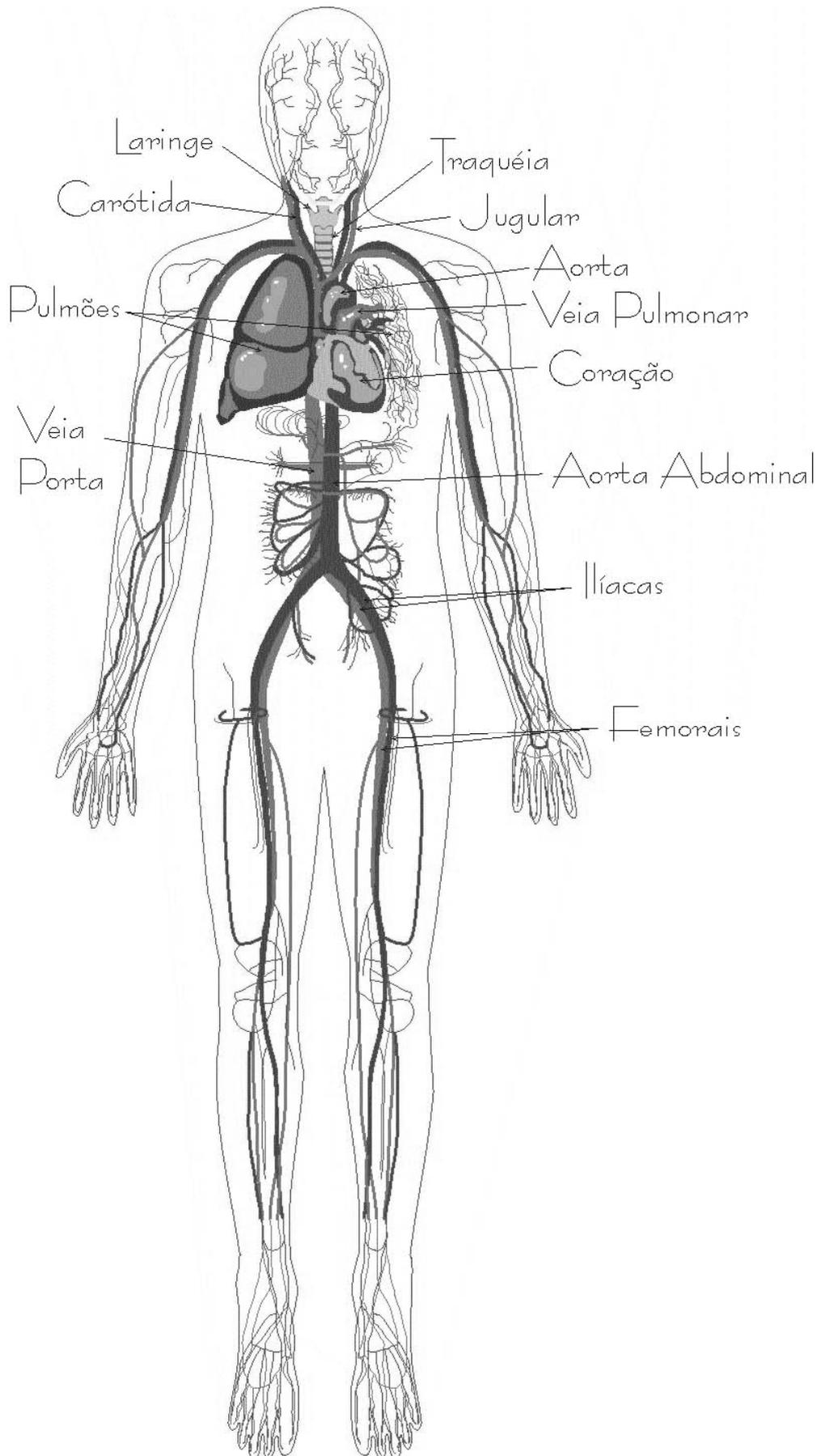


Figura 6.5 Sistema Circulatório (incluindo sistema respiratório pulmonar)

A hipófise anterior sintetiza e secreta seis hormônios, todos com nomes bastante intuitivos: *H. do crescimento*, que regula o crescimento e o metabolismo corporal; *H. adrenocorticotrópico*, que estimula o crescimento e secreção das glândulas supra-renais; *H. estimulante da tireóide*, que age sobre a glândula tireóide; *H. luteotrópico*, que estimula a lactação das glândulas mamárias; *H. folículo estimulante* e *H. luteinizante*, que estimulam o crescimento e secreção das gônadas. Já a hipófise posterior secreta dois hormônios: *H. antidiurético*, que age os rins promovendo uma maior reabsorção de água e a *ocitonina*, que tem a função de promover contrações uterinas por ocasião do parto e a ejeção do leite pelas mamas durante a amamentação.

O hipotálamo regula a adeno-hipófise através da secreção de substâncias chamadas neuro-hormônios sintetizados em núcleos específicos. Há dois grupos dessas substâncias, os denominados liberadores, que estimulam a secreção de hormônios e os inibidores, que, como o próprio nome já diz, inibem a secreção. A secreção da neuro-hipófise é controlada por sinais nervosos provenientes do hipotálamo.

A glândula tireóide produz e secreta dois tipos principais de hormônios, a *triiodotironina* (T3) e a *tiroxina* (T4). A função primária desses hormônios é a de estimular o metabolismo oxidativo, em quase todas as células, e a conseqüente produção de calor. Sob um efeito dos hormônios tireoidianos, o metabolismo corporal pode sofrer um incremento de até 100% em relação ao normal. Como ação secundária dos hormônios da tireóide, pode-se citar a regulação do crescimento e do desenvolvimento corporal.

As glândulas supra-renais são essenciais para a vida; cada uma delas é formada por dois órgãos endócrinos distintos, anatômica e embriologicamente, a medula e o córtex. A medula adrenal sintetiza as catecolaminas, *adrenalina* e *noradrenalina*, sendo a secreção da primeira preponderante. Ambas catecolaminas produzidas pela medula adrenal possuem as mesmas funções sobre os órgãos do corpo. Uma explicação mais aprofundada sobre a atividade dessas substâncias será mostrada durante a especificação do sistema nervoso autônomo.

O córtex adrenal é responsável pela produção dos corticóides, que se dividem em três categorias: os *mineralocorticóides*, que inibem ou estimulam a eliminação de sódio; os *glicocorticóides*, que possuem várias funções diferentes como inibição da produção de insulina no pâncreas, estimulação da utilização dos ácidos graxos presentes no organismo, entre outros; e os androgênios, que possuem papel importante no desenvolvimento dos órgãos sexuais durante a vida fetal.

As glândulas paratireóides secretam o paratormônio que, juntamente com a calcitonina (outro hormônio produzido pela tireóide) e a vitamina D, controlam o balanço de cálcio e fósforo do organismo. A formação dos ossos e dos dentes, no embrião e na criança, bem como a remodelagem dos ossos durante toda a vida, depende de um equilíbrio dos hormônios implicados, bem como uma boa quantidade de vitamina D.

Além de sua função na digestão dos alimentos, o pâncreas também possui uma função endócrina. Ele é considerado uma glândula mista devido a suas funções endócrinas e exócrinas. As funções do pâncreas exócrino dizem respeito à digestão e absorção de alimentos, e já foram comentadas. Neste tópico, dá-se ênfase à porção endócrina do pâncreas, que é essencial à vida, uma vez que produz hormônios com ações importantes no processo de regulação do metabolismo dos carboidratos, gorduras e proteínas.

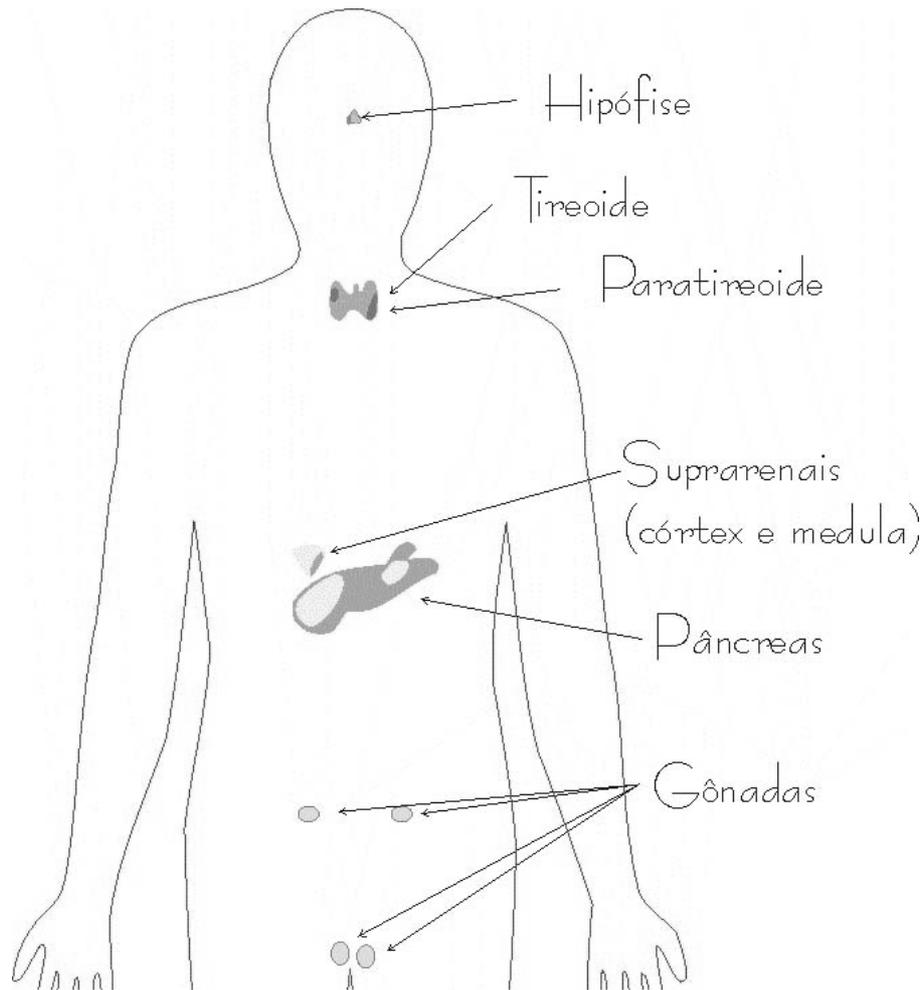


Figura 6.6 Sistema endócrino

O principal hormônio produzido pelo pâncreas é a insulina, que possui funções importantes na utilização de glicose pela maioria das células do corpo. A insulina atua, principalmente sobre o fígado, inibindo a saída de glicose e estimulando a síntese de glicogênio, já na célula muscular; estimula a captação e oxidação de glicose. A insulina é considerada um hormônio poupador de gorduras e proteínas. Trabalhando de forma contrária a insulina, existe o glucagon, que sobre o fígado estimula a degradação do glicogênio e, conseqüentemente, a formação de glicose.

As últimas glândulas a serem apresentadas são as gônadas, que no sistema reprodutor feminino são formadas pelos ovários e no masculino pelos testículos. Cabe aos ovários, juntamente com o hipotálamo e hipófise o controle menstrual da mulher. Além disso, ele secreta dois hormônios importantes: o *estrogênio*, que determina características sexuais da mulher como o crescimento do ovário e o desenvolvimento das mamas; e a *progesterona*, que permitem tornar as mamas secretoras e tem um papel importante na atividade menstrual.

Nos testículos, do sistema reprodutor masculino, são produzidos os espermatozoides e os hormônios *androgênios*. O principal desses hormônios é a *testosterona*, que na fase fetal, é responsável pela descida dos testículos para a base escrotal. Após o nascimento, a testosterona só volta a ser produzida na puberdade. Este hormônio promove o crescimento do corpo, agindo sobre a massa muscular e os ossos. Atua, também, na distribuição dos pêlos corporais, na secreção de glândulas sebáceas,

nas cordas vocais, promovendo o engrossamento da voz; também na libido e no comportamento agressivo.

6.7 Sistema Nervoso

Após falar sobre todos os principais sistemas presentes no organismo é importante comentar sobre o sistema nervoso, pois é o grande responsável pelo objetivo final do trabalho, o comportamento inteligente. Entretanto, o sistema nervoso acaba reunindo uma quantidade imensa de funções e, por isso, se torna inviável apresentar os muitos detalhes num trabalho de inteligência artificial. Por isso, este capítulo procura apresentar uma breve descrição das divisões didáticas do sistema nervoso e de alguns componentes que se tornariam particularmente importantes na construção de um agente inteligente que pretende cumprir as premissas impostas pela camada reativa da arquitetura H-CogAff.

O sistema nervoso é o grande controlador de todas as atividades desempenhadas pelos seres vivos. Seus componentes, trabalhando harmoniosamente em conjunto, são capazes de captar modificações no ambiente externo, conduzi-las internamente para centro altamente especializados e elaborar respostas no sentido de manter o ser adaptado ao ambiente em que vive. Além disso, regula a atividade de praticamente todos os órgãos e a secreção da maior parte das glândulas endócrinas, sendo o principal responsável pelo equilíbrio homeostático. A evolução filogenética do sistema nervoso dotou o ser humano de funções altamente elaboradas, como a fala e o raciocínio. A unidade básica de funcionamento do sistema nervoso é o neurônio ou a célula nervosa, cuja atividade se desenvolve através de potenciais de ação.

As estruturas que compõe o sistema nervoso estão intimamente relacionadas, funcionando como um todo. No entanto, o sistema nervoso costuma, para fins didáticos, ser dividido de acordo com três critérios: *anatômico*, *embriológico* e *funcional* (MACHADO, 1986). A real intenção era apresentar e utilizar aqui a divisão pelo critério funcional, visto que o foco do trabalho é a fisiologia dos órgãos. Mas, como já foi dito, o sistema nervoso é um todo e por isso nenhuma das três divisões é capaz de fornecer um esquema capaz de separar com clareza as regiões do cérebro com funções específicas; em algum momento alguma delas acaba pecando. A solução encontrada para especificar o sistema nervoso no MFE é um tanto controversa, pois a impossibilidade de especificar o sistema através de uma única divisão resultou no uso de uma espécie de divisão “anatômico-funcional”. Por isso, antes de tudo é apresentado aqui uma breve descrição dos critérios, anatômico e funcional, de divisão do sistema nervoso.

O critério de divisão anatômico divide o sistema nervoso em *sistema nervoso central* e *sistema nervoso periférico*. O primeiro é aquele que se localiza dentro do crânio e do canal vertebral, enquanto que o sistema nervos periférico se localiza fora dessas regiões. O *encéfalo* é a parte do sistema nervoso central que se localiza dentro do crânio neural, já a *medula* é a que se localiza dentro do canal vertebral. O encéfalo ainda se divide em *cérebro*, *cerebelo* e *tronco encefálico*. Este último ainda se divide em *mesencéfalo*, *ponte* e *bulbo*.

Já o sistema nervoso periférico se divide em *nervos*, *gânglios* e *terminações nervosas*. Nervos são cordões esbranquiçados que unem o sistema nervoso central aos órgãos periféricos. Estes nervos ainda se dividem em *espinhais* (quando se ligam ao sistema nervoso central através da medula) e *cranianos* (quando esta ligação é através do encéfalo). A primeira vista, torna-se claro o motivo pelo qual o critério anatômico tem pouco valor para o MFE, afinal ele divide o sistema nervoso, mas não apresenta o

papel de cada parte deste sistema. Ao se determinar que o centro de comando de alguma parte do corpo se localiza no cérebro, não se está contando nenhuma grande novidade à maioria das pessoas. Contudo, um estudo mais esmiuçado permite o conhecimento da função de algumas regiões anatomicamente específicas do sistema nervoso. Entretanto, isto não é realizado aqui, mas sim durante a especificação das classes; no próximo capítulo, algumas regiões anatomicamente definidas são mostradas, conforme sua necessidade no MFE. Este capítulo dá prioridade ao critério de divisão funcional.

O critério funcional determina que o sistema nervoso se divide em sistema nervoso somático e sistema nervoso visceral. Este critério é o que mais interessa para o MFE, por isso é explicado mais detalhadamente.

6.7.1 Sistema nervoso somático

O somático é também conhecido como sistema da vida de relação, pois é aquele que relaciona o organismo com o meio ambiente. Seu componente aferente conduz aos centros nervosos impulsos que se originam em receptores periféricos, informando sobre as variações do meio ambiente. Estes receptores podem ser os olhos (sistema visual), os ouvidos (sistema auditivo), a pele (sistema somestésico), entre outros. O componente eferente leva aos músculos esqueléticos o comando dos centros nervosos, promovendo a movimentação voluntária. A partir desta separação é possível identificar sistemas funcionais claramente definidos; os sistemas abaixo são utilizados no MFE e, por isso, mostrados aqui.

- **Sistema somestésico:**

A capacidade que as pessoas e animais possuem de receber informações sobre as diferentes partes do seu corpo é chamada de somestesia. A somestesia não é uma modalidade sensorial uniforme, mas sim constituída de várias submodalidades, dentre as quais, as mais importantes são as seguintes: o tato, que corresponde à percepção das características dos objetos que tocam a pele; a propriocepção, que consiste na capacidade de distinguir a posição estática e dinâmica do corpo e suas partes; a termossensibilidade, que permite perceber a temperatura dos objetos e do ar que nos envolve; a dor, que é a capacidade de identificar estímulos muito fortes, potenciais ou reais causadores de lesões nos tecidos (LENT, 2001). Cada uma dessas submodalidades apresenta uma série de particularidades neurofisiológicas que não serão comentadas aqui.

Pode-se compreender o sistema somestésico como com um conjunto seqüencial de neurônios, fibras nervosas e sinapses capazes de representar os estímulos ambientais que atingem o corpo e enviá-los até regiões cerebrais superiores (córtex somestésico) para que sejam transformados em percepção. Há receptores somestésicos em praticamente todas as partes do corpo. Curiosamente, o cérebro é uma exceção e não possui receptores somestésicos.

O córtex somestésico transforma em percepção os estímulos enviados por receptores sensoriais do corpo inteiro, para isto, o sistema nervoso utiliza uma espécie de mapa sensorial para representar no cérebro a superfície receptora. Este “mapa do corpo” no cérebro é conhecido como *somatotopia*. Praticamente todas as regiões somestésicas possuem algum tipo de representação somatotópica, às vezes, muito precisas, outras vezes, nem tanto, dependendo da função que exercem. A somatotopia tátil é a mais precisa de todas, por isso alguém é capaz de apontar com o dedo indicador o local exato da pele estimulado pela ponta de um lápis ou de um pincel. Diferente é o caso de certos tipos de dor: para indicar o local de uma dor abdominal, por exemplo, não se pode fazer muito mais que um movimento circular característico, com a mão, que

inclui vagamente a região dolorida, pois a somatotopia das vias e núcleos que representam este tipo de dor é muito vaga e imprecisa.

- **Sistema motor:**

Em resposta aos estímulos sensitivos, o córtex reage desencadeando impulsos motores, fechando assim um circuito reflexo que se inicia com a estimulação dos receptores sensoriais. Porém, o ato motor não se subordina necessariamente a este esquema, uma vez que existem movimentos que não têm sua origem no receptor, nascendo no próprio córtex por uma decisão do indivíduo. Estes são chamados de movimentos motores voluntários. O sistema motor apresenta uma estrutura de funcionamento extremamente complexa, envolvendo diversas regiões do cérebro além do córtex motor. Por não ser o foco do trabalho, não cabe aqui uma descrição detalhada deste sistema.

As partes motoras do corpo, assim como as sensitivas, também possuem representação somatotópica no córtex, estas áreas possuem uma maior ou menor representação no córtex de acordo com a delicadeza e complexidade dos movimentos que realizam, desta forma, as mãos e a face possuem uma grande representação no córtex motor, quando comparados com o punho ou o pé, por exemplo. Embora não tenha sido comentado acima, este tipo de representação também é utilizada na somatotopia das regiões somestésicas.

- **Sistema visual:**

O sistema visual tem a capacidade de transformar a luz, que é uma modalidade de energia eletromagnética, em impulsos nervosos; dois aspectos relativos à luz podem ser distinguidos pelo sistema visual, o brilho e a cor.

Na camada interna dos olhos se localiza a retina, onde estão localizados os receptores de visão. A retina pode ser pensada como uma espécie de “filme inteligente” situada dentro do olho, que otimiza a formação de imagens do mundo exterior. Ao mesmo tempo, o olho é uma câmera superautomática capaz de se posicionar na posição do objeto de interesse, localizá-lo precisamente e regula-lo à sensibilidade do filme automaticamente de acordo com a iluminação do ambiente.

As imagens projetadas na retina são, então, enviadas até as regiões visuais do cérebro, no córtex visual. O córtex visual é, na verdade, um conjunto múltiplo de diferentes áreas funcionais, cada uma encarregando-se de um aspecto da função visual, por exemplo, aspectos espaciais da visão, como a localização de objetos no espaço ou a identificação da direção de objetos em movimento; aspectos que dizem respeito ao reconhecimento de objetos, suas formas e suas cores; entre outras.

6.7.2 Sistema Nervoso Visceral

O sistema nervoso visceral é também conhecido como sistema nervoso da vida vegetativa, pois é responsável pela manutenção dos órgãos internos que atuam independentemente da vontade de cada um. O seu componente aferente conduz impulsos nervosos originado das vísceras para áreas específicas do sistema nervoso. Ao contrário, sua parte eferente leva impulsos do sistema nervoso para as vísceras, sendo chamado de sistema nervoso autônomo, que se divide em simpático e parassimpático.

De acordo com (LENT, 2001), o fisiologista W. Cannon criou duas expressões mnemônicas da língua inglesa que ilustram as diferenças funcionais básicas entre a divisão simpática e parassimpática do sistema nervoso autônomo. Segundo ele, a função simpática seria *fight or flight* (lutar ou fugir), enquanto a parassimpática seria *rest or digest* (repousar ou digerir). O primeiro trocadilho de Cannon se refere ao forte

envolvimento da divisão simpática na homeostasia das situações de emergência, nas quais o indivíduo se confronta na iminência de um ataque, por exemplo, perante o qual deverá exercer um grande esforço físico, seja para lutar ou para fugir. O segundo descreve a participação da divisão parassimpática na contínua homeostasia do dia-dia, em que o organismo realiza funções normais de repouso fisiológico, em particular as digestivas. Atualmente, esta divisão acima de tudo ilustrativa, pois as pesquisas mais recentes a respeito do assunto mostram que a divisão simpática também participa da homeostasia de repouso, bem como a divisão parassimpática da homeostasia de emergência. A maioria dos órgãos e tecidos é enervada pelas duas divisões do sistema autônomo; podem atuar de forma antagonista (a mais comum, onde a atividade de uma divisão apresenta efeito contrário a outra) ou de forma sinérgica (a atividade de ambas as divisões apresentam o mesmo efeito). Existem, no entanto, alguns órgãos que são enervados apenas por uma das divisões. A Figura 5.7 apresenta alguns exemplos do efeito de cada uma das divisões do sistema nervoso autônomo sobre os órgãos.

O sistema nervoso autônomo, através das suas divisões fornece o equilíbrio homeostático ao organismo, por exemplo: durante a refeição, os mecanorreceptores situados na parede do estômago indicam que ele está cheio. Imediatamente a divisão parassimpática aciona seus neurônios, e os efetores (fibras musculares lisas, células produtoras de ácido clorídrico, células produtoras de muco e de enzimas digestivas) entram em ação para lubrificar, dissolver, digerir e propelir adiante o bolo alimentar. Outro exemplo: quando alguém se levanta da cama subitamente, os mecanorreceptores situados nas paredes da aorta e das carótidas acusam uma tendência de queda da pressão arterial, e imediatamente acionam a divisão simpática que promove um pequeno aumento na frequência cardíaca e a vasoconstrição periférica para que a pressão se reequilibre. Durante esse processo, o sistema nervoso autônomo atua no chamado modo de controle reflexo; este tipo de modo de controle muitas vezes está situado na própria víscera.

Já o modo de comando (o segundo tipo de modo de controle do sistema nervoso autônomo) envolve ativação de regiões corticais ou subcorticais, muitas vezes voluntariamente, por exemplo: alguém pode ficar sexualmente excitado com um simples pensamento, capaz por si só de ativar a divisão parassimpática que promove a vasodilatação dos corpos cavernosos do pênis e do clitóris. A lembrança de uma emoção pode provocar taquicardia, sudorese, salivação e muitas outras reações orgânicas sem que haja qualquer ativação sensorial ou aferente.

Todo equilíbrio homeostático fornecido pelo sistema nervoso autônomo através de seus diferentes modos de controle estão diretamente ligados às motivações do organismo. Estas motivações ou estados motivacionais são impulsos internos que levam alguém a praticar certos ajustes corporais e comportamentos, como, por exemplo, o caso das sensações de calor e frio, que ajudam a regular a temperatura do corpo; da sede, que contribui para o equilíbrio hidrossalino; e da fome, que procura regular a oferta de energia e nutrientes. Outras motivações estão mais ligadas à sobrevivência, como ao sexo. E outras ainda mais ligadas ao equilíbrio psicológico do que propriamente a vida biológica; o maior exemplo é a busca do prazer. Segundo (LENT, 2001), essas são as duas forças que atuam no comportamento motivado, o prazer e a homeostasia.

O grande problema do sistema nervoso visceral é a impossibilidade de definir regiões funcionais específicas, pois ao mesmo tempo em que há um grande número de regiões do cérebro encarregadas de uma função em especial, existem regiões responsáveis por várias funções diferentes. Por isto, o sistema nervoso visceral fica definido no MFE como um conjunto de classes baseadas em regiões cerebrais anatomicamente definidas.

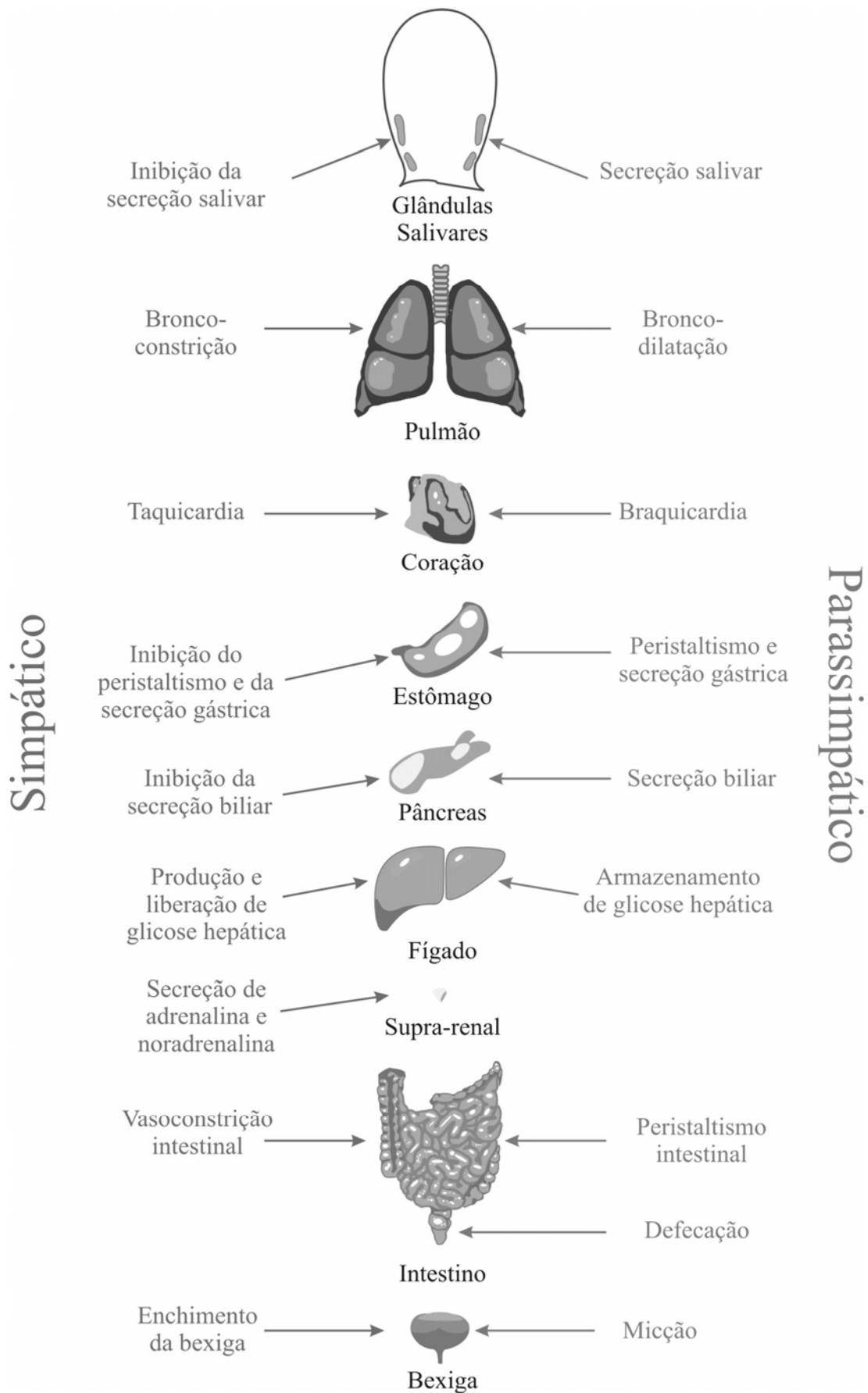


Figura 6.7 Divisões do sistema nervoso autônomo

7 MODELO FISIOLÓGICO DE EMOÇÕES

Já foi comentado no capítulo anterior que o corpo possui trilhões de células, cada uma delas especializada em desempenhar uma função específica. A reunião de um grande conjunto de células específicas forma diversos tecidos e órgãos, que, conseqüentemente, formam os sistemas de órgãos. Cada um desses sistemas desempenha funções fundamentais para a sobrevivência do organismo, mas devido a muitas abstrações necessárias à construção do modelo computável, alguns desses sistemas acabaram por perder completamente seu papel nos processos homeostáticos e, por isso não foram incluídos. Os critérios de inclusão ou exclusão foram funcionais, contudo, é inevitável um certo nível de arbitrariedade nas escolhas. O sistema linfático, por exemplo, é uma via acessória na qual os líquidos corporais fluem do espaço intersticial de volta à corrente sanguínea, evitando sua estagnação entre as células. Sua função é, portanto, complementar, pois a reabsorção do lado venoso dos capilares não é suficiente para desempenhar essa função (GUYTON; HALL, 1998). Acontece que se o modelo proposto possuir uma reabsorção totalmente eficiente do lado venoso, não sobrar líquido no espaço intersticial e, com isso, não será necessário um sistema linfático. Assim como o sistema linfático, muitos órgãos dos outros sistemas também foram excluídos, sempre em nome das inevitáveis abstrações. Os motivos para essas eventuais "remoções" serão apresentados a seguir, durante a especificação do modelo. Este capítulo começa a tratar do real objetivo do trabalho, a especificação do MFE através da definição de suas classes.

Para a definição do MFE neste capítulo é utilizada linguagem de modelagem de objetos unificada, a UML (*Unified Modeling Language*), pois esta aborda os conceitos fundamentais da orientação a objeto, como operações, atributos, relacionamentos, etc. O modo de descrever vários aspectos de modelagem pela UML é através da notação definida em seus vários tipos de diagramas; a modelagem do MFE é apresentada neste capítulo a partir de um *diagrama de classes*.

O diagrama de classes é um gráfico bidimensional de modelagem que pode conter tipos, pacotes, relacionamentos, instâncias, objetos e vínculos (conexão entre dois objetos). Um diagrama de classes denota a estrutura estática de um sistema e as classes representam elementos que são manipulados por esse sistema. O diagrama é considerado estático, pois a estrutura descrita é sempre válida em qualquer ponto do ciclo de vida do sistema (FURLAN, 1998).

No decorrer do capítulo são apresentados os sistemas e órgãos que compõem o MFE através da definição de classes, atributos, operações e diferentes conexões destas classes. Além disso, são apresentadas as justificativas para a exclusão ou inclusão dos órgãos no modelo, bem como o tipo de abstração utilizado. Durante a descrição das classes não são comentados detalhes a respeito da visibilidade do atributo e da operação ou do tipo de dado (int, boolean, char, entre outros), no entanto estes detalhes são mostrados no diagrama propriamente dito, apresentado na Figura 7.1. Por outro lado, os detalhes das associações são sempre comentados durante as suas descrições.

7.1 O combustível para que tudo funcione

O corpo não é auto-suficiente, não consegue extrair de si os elementos necessários a sua sobrevivência. Por isso precisa buscar fora (no meio onde vive) o substrato necessário para manutenção da vida. Este corpo se mantém vivo, mantendo suas células vivas e trabalhando. Para que todas as células trabalhem, realizem suas funções é necessário um elemento fundamental; a energia. Antes de começar a especificar o modelo do corpo, vale a pena falar sobre a forma de obtenção de energia para este corpo e como esta energia se apresentará no modelo. Um adequado suprimento de energia deve estar disponível para abastecer as reações químicas da célula. Isto é fornecido, principalmente, pela reação química do oxigênio com três diferentes tipos de alimentos: glicose derivada dos carboidratos, ácido graxo derivado das gorduras e aminoácido derivado das proteínas. Depois de entrar nas células, os alimentos são quebrados em moléculas menores que, a seguir, entram na mitocôndria (a usina de força da célula), onde outras enzimas removem dióxido de carbono em íons de hidrogênio em um processo chamado *ciclo do ácido cítrico* ou *ciclo de Krebs*.

O produto final das reações na mitocôndria são água e dióxido de carbono. A energia liberada é usada pela mitocôndria para sintetizar outra substância, a *adenosina trifosfato* (ATP), um produto químico extremamente reativo que pode se difundir através da célula para liberar a energia necessária a todas as atividades executadas por esta.

No modelo fisiológico de emoções, a idéia de uma célula deu lugar a um conjunto de células formando órgãos ou tecidos e por isso todas as atividades realizadas por cada célula se resumem no funcionamento do órgão ou tecido da qual ela faz parte. Portanto, tudo que interessa é a energia para fazer o órgão funcionar, representada no modelo pela ATP. De acordo com (GUYTON; HALL, 1998) a maior parte da ATP é obtida através da glicose logo, novamente em nome da abstração, o modelo se interessa apenas em obter glicose, para que junto com o oxigênio possa gerar ATP. Importante ressaltar que, embora o objetivo seja a produção de energia para as atividades do órgão, no MFE não existe um atributo “ATP”. A fórmula abaixo mostra de forma simplificada todo o processo de geração de energia:



Da reação entre oxigênio (O₂) e glicose resulta a ATP, dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O). A forma pela qual o MFE obtém o oxigênio, a glicose e elimina o dióxido de carbono e a água; será mostrado no decorrer da seção.

7.2 Superclasse Órgão

Já foi dito que o MFE é formado por um conjunto de classes relacionadas entre si. Dentre todas essas classes, sem dúvida nenhuma, a mais importante é a superclasse **Órgão**. Esta classe é fundamental, pois a partir dela estão derivadas praticamente todas as outras classes do modelo, isto é, representado no diagrama de classes da Figura 7.1 (os diferentes tons de cinza nas figuras diferenciam as classes de diferentes sistemas de órgãos) através de uma linha sólida do elemento mais específico; uma subclasse, até uma superclasse, com um triângulo vazio ao término do caminho que satisfaz o elemento mais geral. Quase todos os outros órgãos e tecidos são particularizações da classe **Órgão** e, por isto, ela possui os atributos e operações necessários para o funcionamento e sobrevivência dos órgãos; nenhuma operação ou atributo específico de cada órgão é apresentado aqui.

7.2.1 Atributos

A classe **Órgão** apresenta os seguintes atributos:

- **taxaDeConsumoGlicose**: determina quanto está sendo consumido de glicose a cada passo, isto é, a cada momento de uma simulação de computador. Este atributo é muito importante na determinação do trabalho do órgão a cada momento;
- **taxaDeConsumoO2**: determina a quantidade de O₂ (oxigênio) consumida a cada passo. Este atributo também está diretamente relacionado ao trabalho do órgão;
- **quantidadeDeO2**: representa a quantidade de O₂ armazenada dentro do órgão;
- **quantidadeDeGlicose**: representa a quantidade de glicose armazenada dentro do órgão;
- **quantidadeDeCO2**: quantidade de dióxido de carbono (CO₂) ainda não eliminado pelo órgão. Esta quantidade de CO₂ aumenta com o trabalho do órgão, pois é um dos resultados da queima de O₂ e glicose para a obtenção de energia;
- **quantidadeDeH2O**: a quantidade de H₂O armazenada no órgão, também é resultado da queima de O₂ e glicose na obtenção de energia;
- **sensação**: o atributo sensação está diretamente relacionado com a quantidade de CO₂ no órgão e com o trabalho do órgão. Esta sensação pode ser ruim, quando há uma grande quantidade de CO₂ no órgão, ou boa, quando há pouca quantidade de CO₂. A sensação ruim (com valor negativo) ocorre quando um órgão está fazendo muito esforço (realizando muito trabalho) e a quantidade de O₂ e glicose não está sendo suficiente. Com a alta atividade do órgão e o baixo fornecimento de nutrientes, este acaba acumulando uma grande quantidade de CO₂, causando a sensação ruim. Ao contrário, a sensação é boa (com valor positivo) quando o fornecimento de nutrientes é suficiente para atender às necessidades do órgão. Isto evita o acúmulo de CO₂ dentro deste.

7.2.2 Operações

Na UML, um serviço de uma classe ou o comportamento resultante de um procedimento algorítmico é denominado operação. Há uma distinção importante entre operação e método (ou função): a operação é algo invocado por um objeto (procedimento de chamada) enquanto o método é a implementação da operação. O diagrama de classes se preocupa em apresentar apenas as operações e uma descrição das atividades desta operação. As operações da classe **Órgão** são as seguintes:

- **trabalhar(consumoO2, consumoGlicose)**: esta pode ser considerada a operação mais importante do órgão. Sua função é consumir oxigênio e glicose para atender às necessidades do órgão. Quanto maior a atividade do órgão num dado momento, maior será seu consumo de oxigênio e glicose e a produção de CO₂ e H₂O. Esta operação está ligada a atividades específicas de cada órgão, por exemplo, quando a criatura está correndo, o trabalho do músculo aumenta, o mesmo acontece quando a supra-renal está produzindo adrenalina ou quando o intestino delgado está absorvendo glicose dos alimentos.
- **enviarCO2(quantidadeCO2)**: envia o CO₂ existente dentro do órgão para uma hemácia.

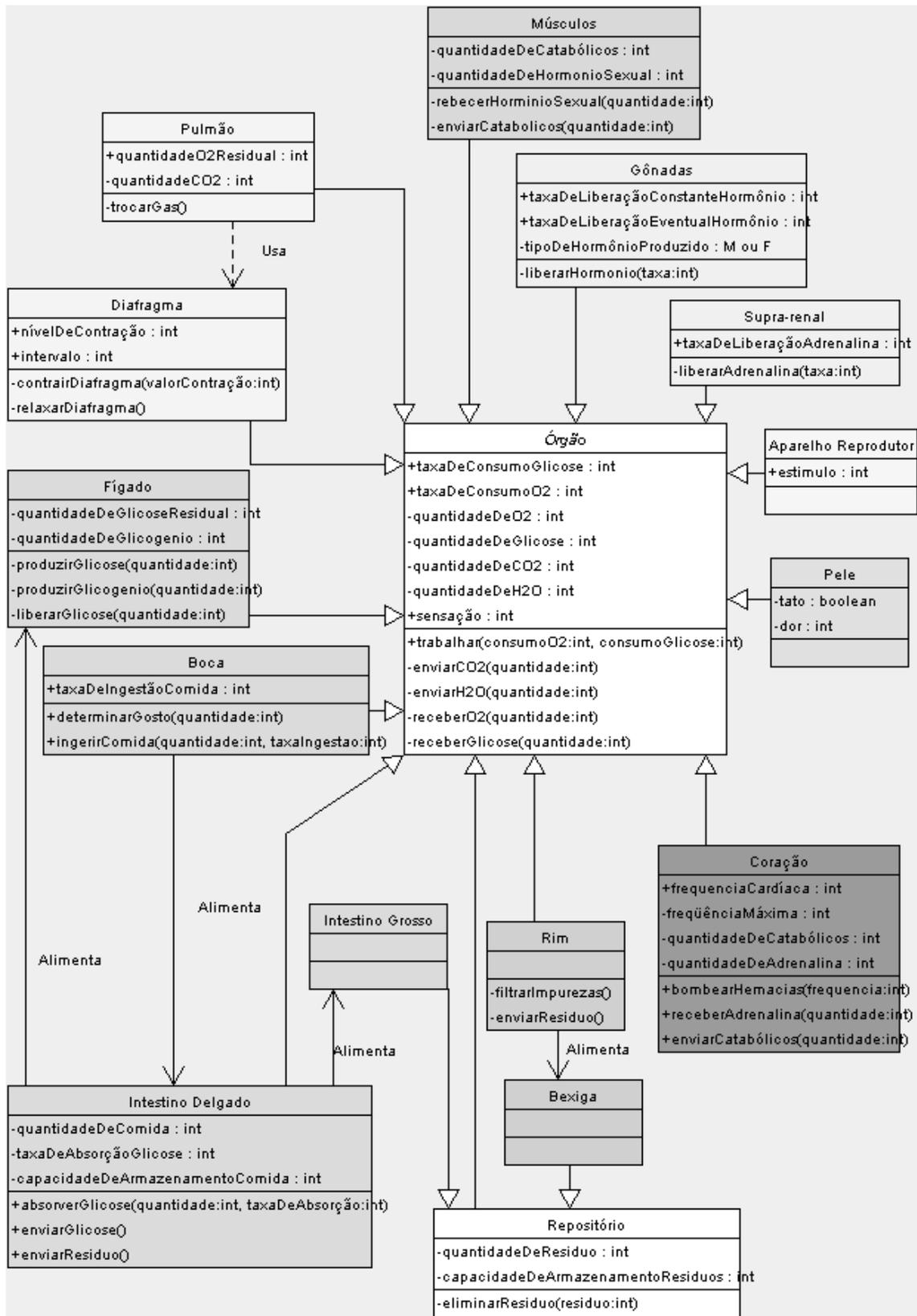


Figura 7.1 Superclasse órgão e suas subclasses (exceto sistemas circulatório e nervoso)

- **enviarH2O(quantidadeH2O)**: envia o H₂O existente dentro do órgão para uma hemácia.
- **receberO2(quantidadeO2)**: recebe O₂ de uma hemácia.
- **receberGlicose(quantidadeGlicose)**: recebe glicose de uma hemácia.

Todos os órgãos do MFE estão associados com a classe **Hipotálamo** do sistema nervoso, informando o estado atual da variável **sensação**. Mais detalhes sobre esta associação é visto logo à frente; a especificação do sistema nervoso.

7.3 Classes do Sistema Respiratório

O capítulo anterior explicou como funciona o sistema respiratório no corpo humano. Analisando os componentes deste sistema, ficaram definidas duas classes para o processo respiração no MFE: a classe **Pulmão** e a classe **Diafragma**.

7.3.1 Classe Pulmão

O pulmão, na realidade, funciona como um alvéolo, recebendo o sangue rico em gás carbônico e devolvendo um sangue com oxigênio. Como os dois pulmões realizam exatamente a mesma tarefa, não há necessidade de dois pulmões no MFE, bastando modelar um pulmão capaz de realizar todo serviço sozinho. De qualquer forma, não seria difícil a inclusão de um segundo pulmão; o problema se resolveria com apenas algumas alterações na circulação sanguínea na etapa de implementação. A classe **Pulmão** apresenta os seguintes atributos:

- **quantidadeO2Residual**: quantidade de oxigênio dentro do pulmão; este atributo é explicado de forma mais detalhada na definição da classe **Diafragma**.
- **quantidadeCO2**: quantidade de CO₂ dentro do pulmão.

A classe **Pulmão** também apresenta uma operação específica, além das operações comuns a todos os órgãos:

- **trocarGas()**: esta operação recebe CO₂ das hemácias e envia O₂.

7.3.2 Classe Diafragma

Além do pulmão, outro componente indispensável na respiração do MFE é o diafragma, pois é ele que controla a quantidade e frequência de entrada e saída de ar nos pulmões. Antes de comentar o comportamento do diafragma, é fundamental apresentar a idéia de oxigênio residual que existe nos pulmões. Um coração humano bate em média 75 vezes por minuto, fazendo com que o sangue circule por todo o corpo constantemente, mas este valor muda muito de animal para animal; o coração de um rato, por exemplo, bate em média 500 vezes em um minuto. Entretanto, uma pessoa em repouso respira cerca de uma dúzia de vezes neste mesmo período de tempo. Isto só é possível porque o pulmão guarda uma certa quantidade de oxigênio excedente, que vai sendo gradativamente distribuído entre as hemácias através dos alvéolos (representado na classe **Pulmão** pelo atributo **quantidadeO2Residual**). Quando esta quantidade de oxigênio residual chega a um limite mínimo, o diafragma é novamente contraído e esse pulmão volta a se encher de oxigênio.

A respiração é um processo, a princípio, voluntário. Qualquer um é capaz de controlar o momento em que deseja respirar ou não. Porém, isso nem sempre funciona desta maneira. Após um certo limite, o diafragma se contrai involuntariamente e a

respiração passa de voluntária para automática. É fácil se verificar isso em vítimas de afogamento, que sempre apresentam os pulmões cheios de água.

Visto isso, pode-se concluir que a classe **Diafragma** possui comportamento muito simples; contrair e relaxar. Essa contração, no entanto pode ter diferentes níveis, da mesma forma que alguém pode respirar profundamente, antes de mergulhar em uma piscina, ou suavemente, enquanto repousa vendo televisão. Mas esse controle de intensidade, assim como um controle de frequência na respiração, não é determinado pelo diafragma, ou o pulmão, mas pelo cérebro. Desta forma, a classe **Diafragma** apresenta os seguintes atributos:

- **nívelDeContração**: intensidade da contração do diafragma num dado momento, quando maior o nível de contração, maior a quantidade de ar no pulmão. Este atributo não é tratado pelo sistema nervoso do MFE. O processo de respiração involuntária é complexo e em muitos pontos ainda indefinido. A princípio, a idéia era permitir que o córtex motor se ocupasse desta alteração, controlando o diafragma. Esta é uma alternativa razoável, mas um tanto incoerente com real fisiologia do sistema respiratório, por isso não foi incluída. O atributo apresenta apenas um valor de contração padrão inalterável.
- **intervalo**: este atributo está relacionado com a frequência do diafragma, ou seja, o número de passos que o diafragma permanece contraído; quanto maior o valor do intervalo mais lenta é a respiração.

Apesar do comportamento simples, as operações da classe **Diafragma** são fundamentais para o processo de obtenção de oxigênio do modelo.

- **contrairDiafragma(valorContração)**: esta operação, como o próprio nome já diz, contrai o diafragma e, com isso, enche o pulmão de O₂.
- **relaxarDiafragma()**: através desta operação, o pulmão elimina o CO₂ acumulado da troca gasosa.

As classes **Pulmão** e **Diafragma** ainda possuem uma associação de dependência representada por uma seta tracejada (com o rótulo **Usa**) de uma classe até a outra. Isto significa que a classe cliente (**Pulmão**) é dependente de uma classe fornecedora (**Diafragma**). Isto é, a troca gasosa realizada pelo pulmão é dependente das operações de contração e relaxamento realizadas pelo diafragma. O diafragma também está associado com as classes **Núcleo Simpático** e **Núcleo Parassimpático**, responsáveis por seu controle.

7.4 Classes do Sistema Digestivo e de Absorção de Alimentos

É fácil fazer uma comparação entre o sistema digestivo e um abatedouro de gado, pois tanto o processo de absorção de alimentos e excreção dos resíduos quanto à separação do couro e da carne do boi funcionam de forma seqüencial, como uma espécie de “linha de montagem”. O sistema digestivo nada mais é do que um grande tubo com múltiplas funções que inicia na boca e termina no ânus. No MFE, o sistema digestivo tem exatamente a mesma função, mas com uma simplificação importante. A sua absorção se resume à glicose, o outro componente fundamental para a obtenção de energia para realizar o trabalho de todos os objetos do modelo. Portanto, os órgãos que fazem parte deste sistema no modelo, têm a função de receber o alimento, absorver, armazenar e distribuir na corrente sanguínea a glicose, excretando o material não aproveitado.

Um sistema digestivo tão simples não precisa de alguns órgãos que, para a maioria dos animais, são fundamentais. O primeiro órgão a ser eliminado – e também, aparentemente, o mais chocante – é o estômago. Parece estranho falar em um sistema digestivo sem o estômago, mas no MFE este sistema se preocupa mais com a absorção de alimentos do que com a digestão. Já foi citado anteriormente que a principal função de estômago é transformar o alimento em uma pasta fluida chamada *quimo*. Além disso, ele também, devido ao interior muito ácido, funciona como uma espécie de bactericida, evitando que um eventual organismo nocivo chegue vivo até o intestino. Como por enquanto o MFE não possui um sistema imunológico capaz de protegê-lo de possíveis doenças (e, por isso, nem sequer possui doenças), é muito melhor pensar que todo alimento ingerido é uma pasta rica em glicose.

Outro órgão que se torna sem função quando não há necessidade de digerir o alimento é o pâncreas. A principal função deste órgão, dentro do sistema digestivo e de absorção de alimentos, é a produção do suco pancreático, que é capaz de digerir todos os tipos alimentos. Este processo de digestão é complexo, envolvendo diversas reações químicas e, por isso não está incluído no MFE, por enquanto. Terminada as remoções, o MFE é formado pelas seguintes classes:

7.4.1 Classe Boca

A classe Boca (que atua como uma espécie de boca/língua/esôfago) além de ingerir os alimentos (enviando até o intestino delgado), envia informações para o cérebro a respeito do gosto do alimento; o fator determinante do gosto de um alimento é a sua porcentagem de glicose; alimentos ricos em glicose são considerados “gostosos”. O alimento ingerido não precisa ser mastigado nem umedecido, por isso, dentição e glândulas salivares não são necessárias. A **Boca** possui um comportamento muito simples, contando com apenas um atributo específico da subclasse:

- **taxaDeIngestãoComida**: determina quanto de comida é ingerido a cada passo.

Além deste atributo, a classe **Boca** possui duas operações:

- **determinarGosto(quantidade)**: fornece para o cérebro informações sobre a porcentagem de glicose existente na comida que está sendo ingerida;
- **ingerirComida(quantidade, taxaIngestão)**: Ingere uma quantidade específica de comida a cada passo.

7.4.2 Classe Fígado

Assim como o pâncreas, o fígado também produz uma substância que colabora muito na digestão, a bile, que é armazenada na vesícula biliar. Embora ele não atue na função de digestão do MFE, o fígado não foi excluído, mas utilizado, a princípio, como um local de armazenagem de glicose e de glicogênio. Por ser muito reativa e produzir muita energia, a molécula da glicose acaba ocupando um grande espaço. Por isso, o organismo “compacta” as moléculas de glicose em moléculas menos reativas que ocupam um espaço mais reduzido; o glicogênio. Havendo necessidade de um consumo maior de energia pelo corpo, o glicogênio é descompactado e transformado em glicose; uma criatura com muito glicogênio acumulado pode ser considerada “gorda”. Uma característica interessante do fígado no MFE é que ele funciona de forma completamente independente do sistema nervoso, não necessitando de um comando central direto para produzir glicose ou glicogênio. É certo que esta é uma imensa subutilização de um órgão da importância do fígado na vida, mas como o modelo ainda é muito simplificado, novos encargos aparecerão somente no futuro.

A classe **Fígado** apresenta os seguintes atributos:

- **quantidadeDeGlicoseResidual**: este atributo é muito similar ao atributo **quantidadeO2Residual**, da classe **Pulmão**; a glicose residual é distribuída para as hemácias;
- **quantidadeDeGlicogênio**: quantidade de glicose compactada dentro do fígado.

Além disso, a classe possui as seguintes operações:

- **produzirGlicose(quantidadeGlicogênio)**: transforma glicogênio em glicose quando há necessidade de energia;
- **produzirGlicogênio(quantidadeGlicose)**: transforma glicose em glicogênio quando há uma abundância de nutrientes e pouca necessidade de energia;
- **liberarGlicose(quantidadeGlicose)**: fornece glicose para as hemácias da corrente sanguínea.

7.4.3 Classe Intestino Delgado

O intestino delgado é um órgão indispensável no MFE, pois sua função é justamente a absorção dos alimentos; neste caso a glicose. O **Intestino Delgado** recebe da **Boca** o alimento e retira deste toda a glicose, enviando o resto para o **Intestino Grosso** e a glicose para o **Fígado**, onde será liberada na corrente sanguínea conforme a necessidade. Desta forma, a classe **Intestino Delgado** apresenta os seguintes atributos:

- **tempoFome**: este atributo informa o cérebro o período em que o intestino não está em atividade, isto é, não está absorvendo glicose dos alimentos;
- **quantidadeDeComida**: quantidade de comida dentro do intestino delgado;
- **capacidadeDeArmazenamentoComida**: quantidade máxima de comida dentro do intestino delgado.

A classe também apresenta as seguintes operações:

- **absorverGlicose(quantidade, taxaDeAbsorção)**: absorve glicose de uma quantidade de comida a uma certa taxa a cada passo;
- **enviarGlicose()**: envia glicose para o fígado;
- **enviarResiduo()**: envia resíduo para o intestino grosso.

O modelo precisa apenas de glicose. Nem mesmo de água! Não é preciso comentar que a água é fundamental para a vida de praticamente todos os animais (para não dizer todos), mas no MFE, tudo que interessa é gerar a energia para seguir vivendo. Esta energia é obtida através da reação de glicose com oxigênio, não necessitando de água.

7.4.4 Classe Intestino Grosso

O intestino grosso é a etapa final do sistema digestivo do MFE. Todo o resíduo produzido no intestino delgado é levado até ele, para que seja eventualmente expelido. No entanto, verificando a Figura 7.1, é possível notar que a classe **Intestino Grosso** não possui nenhum atributo ou operação própria já que esta classe, juntamente com a classe **Bexiga**, são subclasse de uma classe genérica chamada **Repositório** que, por sua vez é uma subclasse de **Órgão**. Isto ocorre por que as duas classes – **Intestino Grosso** e **Bexiga** – são exatamente iguais, sendo as únicas diferenças entre elas o tipo e a

quantidade de resíduo recebido. Por isso, ao invés de falar a respeito da classe **Intestino Grosso**, são apresentados aqui os atributos e operações da classe **Repositório**.

7.4.5 Classe Repositório

A classe **Repositório** possui dois atributos:

- **quantidadeDeResíduo**: quantidade de resíduo dentro do repositório num dado momento;
- **capacidadeDeArmazenamentoResíduo**: capacidade máxima de resíduo dentro do repositório.

E apresenta apenas uma operação:

- **eliminarResíduo()**: elimina o resíduo do repositório.

Existem ainda algumas associações de navegabilidade entre as classes do sistema digestivo e de absorção do MFE. Esta seta indica o tipo de relação entre uma fonte e um alvo. A **Boca**, por exemplo, **alimenta** o **Intestino Delgado** que, por sua vez, **alimenta** o **Fígado** e o **Intestino Grosso**. A boca está associada com a classe **Córtex Motor**, do sistema nervoso. Esta classe é responsável pelo controle da taxa de ingestão de comida. A classe **Intestino Delgado** está associada com a **Medula**, pois o sistema parassimpático é ativado no momento em que há comida no intestino delgado. Por fim, a classe **Repositório** está associada com os núcleos simpático e parassimpático, que controlam a sua capacidade de armazenamento.

7.5 Classes do Sistema Renal

A reação “ $O_2 + \text{glicose} \rightarrow CO_2 + H_2O + ATP$ ” gera a energia necessária para manter os órgãos do corpo ativos no MFE. Essa reação além da ATP gera CO_2 e água. O CO_2 é expelido do corpo através do sistema respiratório, mas esta água precisa ser expelida também, já que não é utilizada para nada. O hormônio na corrente sanguínea tem afinidade por receptores encontrados na estrutura da membrana celular; este contato (hormônio-receptor) fará modificações de função celular (no caso do MFE, no órgão). Depois de sua ação ele é um catabólico, substância que restou da atividade celular, que pode ser filtrado nos rins e ser eliminado.

7.5.1 Classe Rim

Assim como no sistema respiratório, uma simplificação importante no sistema urinário é a eliminação de um dos rins, já que ambos têm a mesma função. Novamente, com apenas algumas mudanças no sistema circulatório, poderia ser incluído o segundo rim, sem grandes complicações. O sangue então passa pelo rim, onde são filtrados todos os catabólicos e a água resultante na geração da energia, este resíduo (urina) segue para a bexiga, onde será armazenado e expelido. A classe Rim é muito simples e não possui nenhum atributo específico e, assim como o Fígado, não é controlado diretamente pelo sistema nervoso:

- **filtrarImpurezas()**: remove a água e os catabólicos do sangue que passa pelo rim;
- **enviarResíduo()**: idêntica a operação da classe **Intestino Delgado**, envia resíduo para a bexiga.

7.5.2 Classe Bexiga

Assim como a classe **Intestino Grosso**, a classe **Bexiga** é uma subclasse de **Repositório** e também não possui nenhum atributo ou operação em particular.

Existe ainda uma associação de navegabilidade entre as classes **Rim** e **Bexiga**, idêntica a existente entre **Intestino Delgado** e **Intestino Grosso**.

7.6 Classes do Sistema Circulatório

Como o MFE não atinge o nível celular, o seu sistema circulatório também não se divide até os capilares; a troca de substâncias é realizada entre os órgãos e o sangue e não entre as células e o sangue. Por isso cada órgão é o ponto final de uma artéria e o inicial de uma veia. O sistema circulatório do MFE é composto pelas classes **Coração**, **Vaso** e **Hemácias** (Figura 7.2), mas destas, apenas a classe **Coração** é uma subclasse de **Órgão**; as outras duas são completamente independentes e não herdam nenhum atributo ou operação de **Órgão**.

7.6.1 Classe Coração

O coração é uma bomba que circula o sangue por todo o organismo e dentro do MFE sua atividade é exatamente, fazer com que as **Hemácias** circulem através de artérias e veias. A intensidade com que essas hemácias transitam através de vasos e órgãos pode variar de acordo com a frequência cardíaca e esta frequência pode ser alterada de forma gradual ou brusca. A frequência é alterada de forma gradual quando o organismo, de uma forma geral ou especificamente algum órgão, necessita de uma maior quantidade de nutrientes. Por exemplo, quando a criatura está correndo o músculo necessita de muito O₂ e glicose para funcionar corretamente, provavelmente muito mais do que a quantidade enviada a cada passo quando a criatura está em repouso; a solução é então enviar uma quantidade maior de nutrientes.

Por outro lado, a frequência é alterada de forma brusca através de uma reação emocional, com a liberação de adrenalina, que atua diretamente sobre o coração, aumentando sua frequência. Mais detalhes sobre a liberação de adrenalina no sistema endócrino e sobre reações emocionais na próxima seção. A classe **Coração** ficou definida com os seguintes atributos:

- **frequênciaCardíaca**: a frequência determina a quantidade de hemácias bombeadas a cada passo;
- **frequênciaMáxima**: valor máximo que o atributo **frequênciaCardíaca** pode assumir;
- **quantidadeDeAdrenalina**: quantidade do hormônio adrenalina dentro do coração;
- **quantidadeDeCatabólicos**: representa a quantidade de hormônio degradado dentro do coração; hormônio que já foi utilizado, deve ser filtrado pelo rim e eliminado pela bexiga.

Além dos atributos, a classe **Coração** apresenta as seguintes operações:

- **bombearHemácias(frequência)**: bombeia hemácias a uma frequência determinada;
- **receberAdrenalina(quantidade)**: recebe adrenalina da corrente sanguínea;

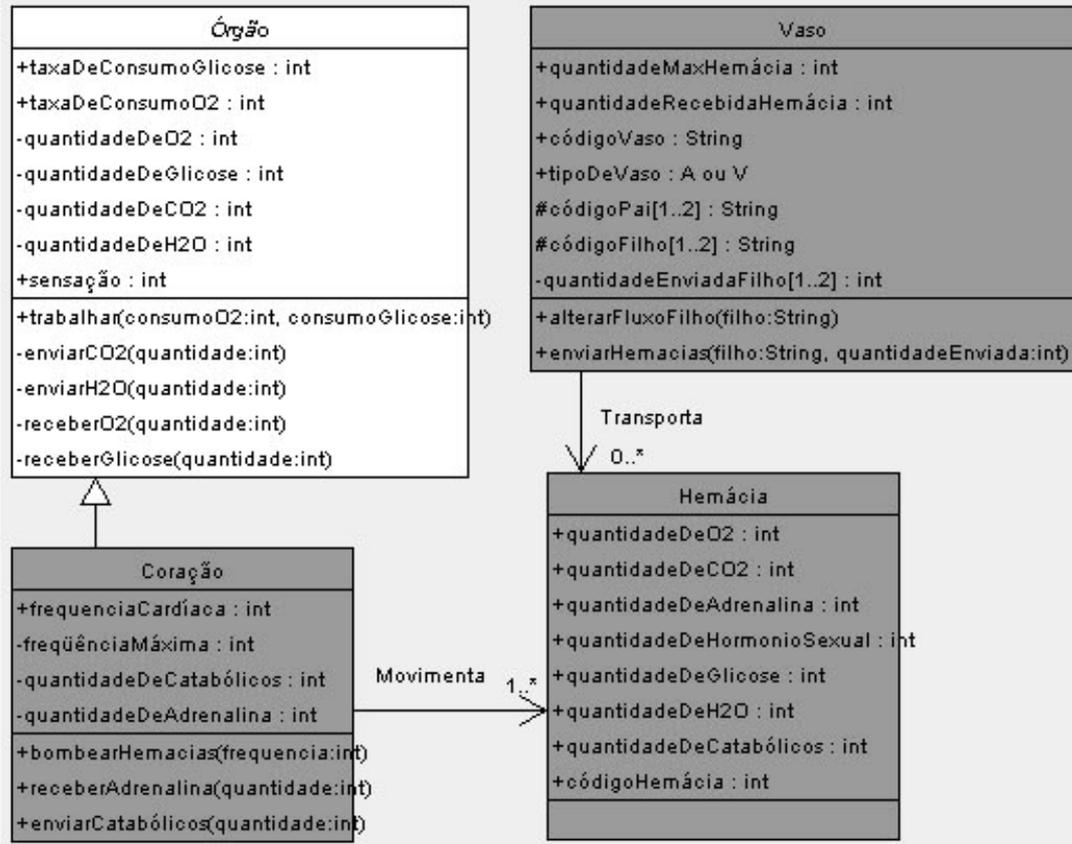


Figura 7.2 Sistema circulatório

- **enviarCatabólicos(quantidade)**: envia a adrenalina já usada e degradada para a corrente sanguínea.

7.6.2 Classe Hemácia

Um grande problema na definição do sistema circulatório no MFE é a forma de transporte de oxigênio, glicose, hormônios e etc. No sistema circulatório original, as hemácias transportam o oxigênio e o dióxido de carbono, enquanto o resto circula livre dentro do sangue, sendo absorvidos pelas células conforme a necessidade.

A proposta apresentada no MFE é a de uma espécie de unidade transportadora, também chamada de **Hemácia**, capaz de transportar tanto o oxigênio e o gás carbônico (atuando como uma hemácia real) quanto glicose, hormônios e H₂O. Cada uma dessas hemácias possui uma capacidade limitada para comportar cada uma das categorias; essa capacidade dependeria do número hemácias existentes na corrente sanguínea. A classe **Hemácia** apresenta uma grande quantidade de atributos para registrar a variedade de elementos transportados, mas nenhuma operação; sua única função é transportar elementos.

- **quantidadeDeO2**: representa a quantidade de O₂ armazenada dentro da hemácia;
- **quantidadeDeGlicose**: determina a quantidade de glicose armazenada dentro da hemácia;
- **quantidadeDeCO2**: este atributo representa a quantidade de CO₂ armazenado dentro da hemácia;

- **quantidadeDeH2O**: representa a quantidade de H₂O armazenada na hemácia;
- **quantidadeDeHormônioSexual**: a quantidade de hormônio sexual armazenado na hemácia, este hormônio pode ser de dois tipos, como será mostrado em detalhes no sistema endócrino;
- **quantidadeDeAdrenalina**: a quantidade de adrenalina armazenada na hemácia;
- **quantidadeDeCatabólicos**: determina a quantidade de hormônios degradados armazenados na hemácia;
- **códigoHemácia**: código individual que identifica cada hemácia.

7.6.3 Classe Vaso

O transporte de elementos em unidades distintas facilita muito para a quantificação de toda a corrente sanguínea, já que a capacidade vascular pode ser medida pelo número de hemácias que passam a cada pulso do coração, a vasoconstrição e vaso dilatação são definidas pela capacidade máxima de cada veia ou artéria (definido genericamente como **Vaso**) num certo momento e assim por diante. Se cada vaso for visto como uma fila com uma entrada e duas saídas, torna-se razoavelmente intuitiva toda idéia de vasoconstrição e vaso dilatação. Ao final de cada fila (artéria ou segmento de artéria) as hemácias seguem seu curso por uma das saídas da fila, havendo assim uma certa porcentagem de chance da hemácia tomar uma das saídas. A vasoconstrição ocorre quando essas porcentagens se alteram, priorizando uma saída específica e, com isso, diminuindo o fluxo de sangue na outra. Através de um processo simples como esse, é possível que o sangue se distribua de muitas formas diferentes, priorizando em alguns momentos o sistema digestivo, em outros o sistema reprodutor e assim por diante. Uma instancia da classe **Vaso** pode ser de dois tipos, artéria, ou veia e seus atributos são os seguintes:

- **quantidadeMáximaHemácia**: quantidade de hemácias comportada por um vaso;
- **quantidadeRecebidaHemácia**: este atributo representa a quantidade de hemácias recebidas pelo vaso;
- **códigoVaso**: representa o código individual de cada vaso;
- **tipoDeVaso**: identifica o tipo de vaso, artéria ou veia. Uma artéria no MFE se caracteriza por possuir um pai (outra artéria ou órgão) e dois filhos (outras artérias e/ou órgãos). Por outro lado, as veias, possuem dois pais e um filho;
- **códigoPai**: este atributo apresenta o pai do vaso quando este é uma artéria ou os pais, quando este é uma veia;
- **códigoFilho**: assim como o atributo **códigoPai**, apresenta os filhos do vaso quando este é uma artéria ou o filho, quando é uma veia;
- **quantidadeEnviadaFilho**: determina a porcentagem do total de hemácias enviadas a cada passo vai para determinado filho.

A classe **Vaso** também apresenta as seguintes operações:

- **alterarFluxoFilho(filho)**: esta operação genérica aumenta ou diminui o fluxo de hemácias para um dos filho (e, conseqüentemente, para o outro). Desta forma, o organismo pode priorizar um ou outro sistema de órgãos;

- **enviarHemácias(filho)**: envia hemácias para seu(s) filho(s).

Existem ainda algumas associações de navegabilidade no sistema circulatório, no entanto essas associações apresentam pequenas diferenças em relação as outras associações de navegabilidade mostradas até agora. A Figura 7.2 mostra que tanto a associação **movimenta** quanto a **transporta** não possuem multiplicidade 1, como em todos os casos anteriores (**Rim** → **Bexiga**, **Intestino Delgado** → **Fígado**, etc.). Nestes casos o rim, por exemplo, está associado a apenas uma bexiga e vice-versa. Já na associação **movimenta**, o coração está relacionado com uma ou mais hemácias, pois a cada passo o primeiro é capaz de movimentar uma grande quantidade dessas últimas. A associação **transporta** é relativamente parecida, pois a cada momento um vaso pode estar vazio ou transportando uma certa quantidade de hemácias. No entanto, cada hemácia não pode ser transportada por mais de um vaso ao mesmo tempo. As associações de navegabilidade do sistema circulatório com o sistema nervoso também são similares, tanto a classe **Núcleo Simpático** quanto a **Núcleo Parassimpático** controlam um ou mais vasos, além de controlarem a frequência do coração.

7.7 Classes do Sistema Endócrino

Embora de fundamental importância no controle homeostático do corpo, assim como nas manifestações somáticas das emoções, o sistema endócrino foi bastante reduzido no MFE. Hormônios responsáveis pelo crescimento, pelo aumento ou diminuição do metabolismo corporal, pela estimulação da lactação nas glândulas mamárias entre outros foram eliminados e com eles os órgãos que os produzem. Por isso, de todos os órgãos do sistema endócrino apresentados no capítulo anterior, ficaram a supra-renal e a gônada.

7.7.1 Classe Supra-Renal

Já foi dito que o sistema endócrino do MFE se reduziu a dois órgãos, além disso, o número de hormônios resultantes se resumiu a três: adrenalina, estrógeno e testosterona. A adrenalina é o hormônio produzido na supra-renal e fundamental em emoções de tipo medo, pois prepara todo o organismo para situações de luta ou fuga (mais detalhes sobre a emoção medo e suas manifestações dentro do MFE durante a especificação das emoções do modelo). A classe **Supra-Renal** apresenta apenas um atributo:

- **taxaLiberaçãoAdrenalina**: este atributo determina a quantidade de adrenalina liberada na corrente sanguínea a cada passo. Por medida de simplificação, entende-se que a supra-renal possui uma quantidade infinita de adrenalina dentro dela, não sendo necessário produzir e armazenar adrenalina.

A classe também apresenta apenas uma operação:

- **liberarAdrenalina(taxa)**: libera uma certa taxa de adrenalina a cada passo na corrente sanguínea.

7.7.2 Classe Gônada

Enquanto a classe **Supra-Renal** produz a adrenalina, que está ligada à emoção medo, a classe **Gônada** produz tanto o estrógeno quanto a testosterona, que estão ligados à atração sexual. O comportamento dos hormônios produzidos pela gônada é muito complexo e dentro do modelo servem basicamente para a identificação do sexo e

para atraírem parceiros. A classe **Gônada** ficou então definida com os seguintes atributos:

- **taxaDeLiberaçãoConstanteHormônio**: este atributo define a quantidade de hormônio liberado constantemente no organismo; este hormônio pode ser feminino (estrógeno) ou masculino (testosterona) e define o sexo da criatura;
- **taxaDeLiberaçãoEventualHormônio**: a taxa de hormônio eventual é liberada na corrente sanguínea em momentos especiais, quando a criatura deseja atrair um parceiro;
- **tipoDeHormônioProduzido**: identifica o tipo de hormônio produzido pela gônada e, conseqüentemente, o sexo. Pode ser estrógeno ou testosterona.

Além dos três atributos, a classe **Gônada** possui ainda uma operação:

- **liberarHormônio(taxa)**: esta operação libera hormônio na corrente sanguínea. Importante ressaltar que, assim como a supra-renal, a gônada não possui um limite de hormônios armazenados.

Bem como a maioria dos outros sistemas já mostrados, o sistema endócrino possui associações de navegabilidade entre suas classes e classes do sistema nervoso, representadas pelas setas com o rótulo controla, ligando as classes **Hipotálamo** e **Núcleo Simpático** às classes **Gônadas** e **Supra-Renal** (mostradas na Figura 7.1). Estas associações estão representadas pelo fato das duas glândulas (**Gônadas** e **Supra-Renal**) serem controladas, respectivamente pelas duas classes do sistema nervoso, isto é, embora liberem os hormônios produzidos, não cabe a elas determinar quando ou não estes hormônios devem ser liberados.

A utilização do estrógeno e a testosterona como determinantes do comportamento sexual pode ser considerada uma tremenda simplificação ou uma “sub-utilização” visto que este comportamento é muito mais complexo. Dentro do MFE, esta não é a primeira vez que algo tem sua importância muito simplificada; muitos fisiologistas poderiam considerar absurdo que um órgão como o fígado, responsável por mais de 2.500 atividades diferentes dentro do organismo possa ser restrito a um depósito de glicose. Certamente, um modelo como este ainda precisa ser muito refinado, o que demanda um grande esforço.

7.8 Outras Classes

Além das classes apresentadas nos sistemas acima e das classes do sistema nervoso, que serão apresentadas na próxima seção, o MFE ainda contém duas classes isoladas que não pertencem a nenhuma das classes já citadas, mas são muito importantes no modelo, as classes **Músculo**, **Pele** e **Aparelho Reprodutor**.

7.8.1 Classe Músculos

Dentro do MFE a classe **Músculo** representa todos os músculos do corpo, ou melhor, representa todo o corpo, de uma forma geral. Seu principal objetivo é representar a musculatura esquelética, que são responsáveis pela movimentação do corpo, de uma forma geral. Além de ficar responsável pela movimentação no MFE, o músculo ainda se encarrega de degradar o hormônio sexual produzido na gônada. A quantidade de hormônio degradado pelo músculo é importante no comportamento sexual e na capacidade de trabalho deste. A classe **Músculo** possui os seguintes atributos:

- **quantidadeDeHormônioSexual**: este atributo representa a quantidade de hormônio sexual presente dentro do músculo. Todo o hormônio sexual é degradado dentro do músculo e isso vai influenciar a capacidade de trabalho deste. O músculo da criatura macho – que degrada testosterona – vai apresentar uma maior capacidade de trabalho se comparado com o músculo de uma criatura fêmea. Além disso, a quantidade de hormônio sexual é muito importante no comportamento sexual, a fim de atrair companheiros do sexo oposto;
- **quantidadeDeCatabólicos**: representa os hormônios sexuais já degradados que devem ser devolvidos à corrente sanguínea para que sejam filtrados e eliminados.

Além dos atributos, a classe **Músculo** ainda apresenta as seguintes operações:

- **receberHormônioSexual(quantidade)**: esta operação retira o hormônio sexual da corrente sanguínea;
- **enviarCatabólicos(quantidade)**: devolve o hormônio degradado para a corrente sanguínea.

7.8.2 Classe Pele

No organismo, a pele é o órgão somestésico por excelência; suas capacidades sensoriais são extremamente desenvolvidas, permitindo que qualquer um seja capaz de informar com precisão a região da pele tocada por um objeto qualquer. Por este motivo, a classe **Pele** possui um conjunto maior de receptores somestésicos que os outros órgãos, representados pelos atributos **dor** e **tato**.

- **dor**: este atributo se assemelha, de certa forma, com o atributo **sensação** da classe **Órgão**. Ele fornece para o cérebro uma sensação de dor, mas ela é diferente da fornecida pelo atributo **sensação** já que não está relacionado com o trabalho do órgão, isto é, a pele não vai "sentir" dor quando acumular uma grande quantidade de CO₂ dentro dela. O atributo dor está relacionado com eventos externos, como batidas ou mordidas, isto é eventos resultantes da interação do agente do MFE com outras entidades do ambiente. O sistema nervoso possui uma enorme variedade de receptores, por exemplo, termoreceptores que informam a respeito da temperatura ou baroreceptores que informam a pressão e assim por diante. Por isso, é importante apresentar alguma variedade de sensação dentro do MFE.
- **tato**: assim como num organismo vivo, os receptores de dor e tato são diferentes no MFE. O tato serve para determinar se o agente está tocando em alguma coisa, por isso, ele é definido com do tipo boolean, já que apresenta penas dos estados: tocando ou não tocando. E não necessita de intensidade, como a dor.

7.8.3 Classe Aparelho Reprodutor

A classe em questão está diretamente ligada ao comportamento sexual do agente. A **Aparelho Reprodutor** é uma classe que poderia ser apresentada apenas como uma proposta para os trabalhos futuros, pois sua função efetiva não é utilizada de forma alguma, visto que um agente baseado no MFE não é capaz de se reproduzir. No entanto, a classe apresenta uma parcela de colaboração na manifestação fisiológica do comportamento sexual, que é definido mais à frente durante a especificação das emoções. Este é também um ponto, de certa forma, polêmico, pois a atração sexual não

é apresentada como emoção por nenhum estudioso do assunto, mas sim considerada uma *necessidade motivante* (LENT, 2001). Mas durante a especificação de sua arquitetura, Sloman classifica a excitação sexual como uma emoção primária (SLOMAN, 1998), e com o trabalho procura apresentar um modelo que se encaixe a primeira camada da arquitetura H-CogAff; este seguirá a mesma classificação. O comportamento sexual no MFE ainda é muito mal definido; um dos motivos é a limitação imposta pela neurociência, já que o comportamento é apenas parcialmente compreendido do ponto de vista neurofisiológico.

Devido a seu comportamento abreviado, a classe **Aparelho Reprodutor** apresenta apenas um atributo específico e nenhuma operação:

- **estímulo**: o valor deste atributo representa uma abstração da atração sexual de um agente por outro. O aumento do valor de **estímulo** é a manifestação fisiológica desta atração sexual.

A classe **Músculos** apresenta associação de navegabilidade com a classe **Córtex Motor**, visto que esta pode controlar um ou mais músculos do modelo. Já a classe **Pele** está associada com o **Córtex Somestésico** e a classe **Aparelho Reprodutor** com a classe **Hipotálamo**, responsável pelo comportamento sexual no MFE.

7.9 Classes do Sistema Nervoso

Assim como no capítulo anterior, o sistema nervoso foi deixado por último na definição do MFE, pois cabe ao sistema nervoso controlar, direta ou indiretamente, todos os órgãos do modelo. Em outras palavras, cabe ao sistema nervoso controlar o equilíbrio homeostático do Modelo Fisiológico de Emoções. Contudo, as classes do sistema nervoso não são subclasses de **Órgão**; não são considerados órgãos. Esta escolha foi principalmente por simplificação, visto que um dos atributos mais importantes da classe **Órgão**, **sensação**, não poderia ser aplicado ao sistema nervoso, pois o cérebro não apresenta receptores somestésicos e por isso não sente dor.

Já foi dito no capítulo anterior que o sistema nervoso somático é responsável pela vida de relação do indivíduo com o meio ambiente enquanto o sistema nervoso autônomo é o responsável por esse controle homeostático involuntário do organismo. Por este motivo, dentro do MFE, todo o controle homeostático é realizado por um grande conjunto de classes diferentes, com funções variadas dentro da atividade de manutenção da vida do agente. Todas as classes apresentadas aqui fazem uma analogia direta ao cérebro. Muitas classes apresentam um comportamento abstrato e pouco detalhado, isto ocorre devido a grande complexidade do sistema nervoso. O objetivo aqui é apresentar uma topologia para as diversas atividades delegadas ao sistema nervoso. O sistema nervoso do MFE é inicialmente separado em *Sistema Nervoso Somático* (SNS) e *Sistema Nervoso Autônomo* (SNA).

7.9.1 Sistema Nervoso Somático

Foi dito no capítulo anterior que Sistema Nervoso Somático é também conhecido como sistema da vida de relação, pois é aquele que relaciona o organismo com o meio ambiente. Toda interação do MFE com o meio externo é dada através do sistema nervoso somático e suas classes. No homem e nos animais esta interação ocorre através dos cinco sentidos (visão, audição, olfato, tato e paladar) e da ação dos vários músculos esqueléticos. No MFE, os cinco sentidos foram reduzidos a apenas dois: visão e tato. Portanto, o sistema nervoso somático do modelo possui duas classes para a percepção – chamadas **Córtex Visual** e **Córtex Somestésico** – e uma via para a ação, chamada

Córtex Motor. Além disto, o SNS do modelo apresenta uma classe que, embora não possua nenhuma atividade ou atributo (atualmente), possui uma enorme importância prática e conceitual; a classe **Palco**.

7.9.1.1 Classe Palco

A escolha do nome “palco” e não um nome “anatômico-funcional” vem da impossibilidade de se definir uma região do cérebro responsável por suas funções, ainda que se saiba que suas funções são realizadas no cérebro. Nenhuma classe dentro do MFE consumiu tanto tempo de estudo quanto esta, ainda que ela, aparentemente, não faça nada. O nome da classe vem da relação que A. Damásio faz com a idéia da consciência como algo que está sempre contando uma história ao cérebro. Este trabalho não tinha a pretensão de entrar num assunto ainda mais complexo, como é a idéia de consciência e como ela se manifesta, mas não há como falar da classe **Palco** sem relacionar com a consciência.

A primeira função da classe **Palco** veio da necessidade de integrar as informações recebidas por algumas classes e necessárias a outras. A classe atua como uma via integradora das demais classes do sistema nervoso, relacionando o SNS com o SNA. Por isso, todas as informações percebidas pelo **Córtex Somestésico**, por exemplo, são enviadas para **Palco** para serem interpretadas por outras classes. No cérebro, essas vias se localizam, em sua maioria, na região do tálamo, mas não somente lá. Contudo, se a única função da classe **Palco** fosse esta; o nome tálamo seria relativamente conveniente. Acontece que a classe ainda possui uma segunda função muito importante, justamente relacionada com a idéia de consciência. Todo o estímulo que chega até a classe **Palco** é considerado consciente para um agente do MFE; qualquer outro estímulo ou atividade que não envolva este palco ocorre de forma totalmente inconsciente e involuntária. Por exemplo, se a classe **Pele** transmitir um estímulo de dor à classe **Córtex Somestésico**, esta última transmitirá essas informações para **Palco** onde o córtex motor poderá realizar alguma ação. De qualquer maneira, este estímulo de dor interpretado pela **Medula** fará com que ela estimule o núcleo simpático, com uma extensa reação fisiológica totalmente involuntária. Informações do SNA só chegam à classe **Palco** em situações específicas, por exemplo, a classe **Hipotálamo** está constantemente medindo a quantidade de glicose das **Hemácias**, mas somente abaixo de um certo limiar de glicose é que um estímulo será enviado a **Palco**, “conscientizando” a criatura da necessidade de obter comida. O conjunto de informações que a classe Hipotálamo recebe das mais diversas classes do modelo vai de encontro ao que Damásio chama em (DAMÁSIO, 2000) de *Proto-Self*, uma espécie de “consciência primitiva” que teve sua origem no monitoramento do meio interno. Isto, no entanto, não é o foco deste trabalho e, portanto, não deve ser explorado em algumas poucas linhas e com um estudo superficial, a expressão “consciência”, por sinal, não deve de forma alguma ser interpretada aqui de forma literal. **Palco** ainda apresenta uma terceira função atribuída ao córtex parietal no cérebro que é relacionar diferentes estímulos, quando relacionada com o cérebro, mas isto só poderá ser utilizado efetivamente com a implementação de uma memória seletiva para o armazenamento das mais diversas experiências sensoriais e uma melhor definição dos “marcadores somáticos” do modelo (inclusão de temperatura, pressão, uma maior variedade de hormônios, entre outros), ou seja, a implementação da segunda camada da arquitetura H-CogAff.

A classe **Palco** não pode ser confundida com a idéia do *Homúnculo*, uma espécie de anão que assiste sozinho o teatro da mente esperando que um conjunto de informações chegue até ali para que então decida o que fazer em cada situação. As informações apenas chegam à classe **Palco**, e ali são assistidas não por apenas um Homúnculo

onipotente, mas por uma platéia de classes que podem ou não se “sensibilizar” com determinada cena. Toda a idéia do palco e suas relações são mais bem entendidas nas próximas seções com a proposta de funcionamento neuronal escolhida para o MFE.

7.9.1.2 *Classe Córtex Somestésico*

O córtex somestésico recebe informações de uma imensa variedade de receptores do corpo; são mecanorreceptores, que denunciam o deslocamento da pele no momento em que esta é tocada por um objeto qualquer, ao mesmo tempo; termorreceptores indicam se o tal objeto está quente ou frio. Outros receptores seriam ativados se a pele fosse cortada provocando dor. A própria dor pode variar, sendo, muitas vezes, aguda (quando cessa com a interrupção do estímulo) ou crônica (quando permanece mesmo depois de retirado o estímulo). A classe **Córtex Somestésico** do MFE não apresenta toda esta riqueza de detalhes, limitando-se a um pequeno conjunto de operações responsável pelas diferentes percepções:

- **perceberDor()**: esta operação identifica se houve alguma variação no atributo dor em alguma instância da classe **Pele**;
- **perceberTato()**: similar à operação acima, esta identifica se houve alguma variação no atributo tato em alguma instância da classe **Pele**.

7.9.1.3 *Classe Córtex Motor*

A classe **Córtex Motor** apresentada aqui com apenas duas operações é provavelmente a abstração mais grosseira apresentada em todo o modelo, ainda que não seja a mais mal definida. O sistema motor de homens e animais é formado por uma imensa quantidade de estruturas efectoras, ordenadoras, controladoras e planejadoras capazes de trabalhar em conjunto. O córtex motor tem participação em praticamente todas as atividades conscientes do corpo, não apenas na movimentação, mas também na fala, na visão, na respiração, etc. No MFE toda a complexidade foi resumida a uma operação simples que provavelmente precisará ser melhor definida durante a etapa de implementação.

- **ativarMúsculo()**: esta operação é acima de tudo ilustrativa, indica que cabe ao córtex motor coordenar todos os músculos do modelo. Aliás, apenas o córtex motor tem esta capacidade, por isso, um agente do MFE não possui movimento reflexo involuntário dos músculos. Esta limitação é facilmente contornável, bastando estabelecer ligações de classes como **Hipotálamo** e **Medula** com os músculos;
- **alterarTaxaDeIngestãoComida()**: operação que altera a taxa de ingestão da classe **Boca** (que por padrão é zero). O processo de ingestão é parcialmente voluntário, mas aqui é totalmente determinado pelo córtex motor.

7.9.1.4 *Classe Córtex Visual*

A capacidade visual se deve a atuação conjunta do olho e da retina, atuando com câmera e filme, respectivamente. O sistema visual possui um comportamento relativamente simples (atenção! relativamente simples quando comparado com muitos outros sistemas cerebrais) por apresentar vias ascendentes muito bem definidas até o córtex visual, no lobo occipital. Por isso, no MFE o sistema visual se resume a uma classe com apenas uma operação.

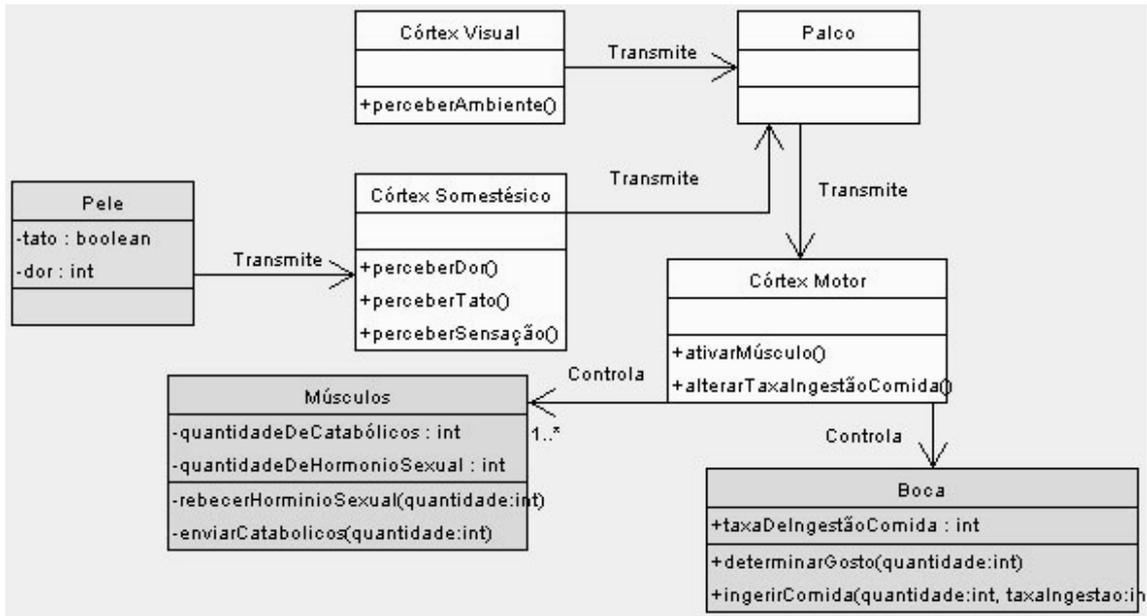


Figura 7.3 Classes do SNS e suas associações

- **perceberAmbiente()**: uma operação definida na classe **Córtex Visual**, percebe o ambiente externo onde o agente está imerso e envia estas informações a **Palco**.

Como mostra a Figura 7.3, as classes do SNS possuem um grande número de associações de navegabilidade entre si e com algumas classes do corpo.

7.9.2 Sistema Nervoso Autônomo

A especificação do sistema nervoso autônomo do MFE foi um pouco mais complicada que a do sistema somático, posto que a divisão segundo o critério funcional é absolutamente pouco precisa a muito arbitrária. Por isto o critério adotado aqui é um pouco anatômico e um pouco funcional, procurando selecionar focalizar em regiões do cérebro que apresentariam funções importantes dentro do MFE, dado o corpo já apresentado neste capítulo. O SNA ficou dividido então nas seguintes classes:

7.9.2.1 Classe Hipotálamo

O hipotálamo é a região cerebral que centraliza funções relacionadas ao prazer e homeostasia. Utiliza para isso informações neurais provenientes de diversos receptores sensoriais estrategicamente posicionados; e informações químicas provenientes de diversas substâncias circulantes, principalmente hormônios secretados pelas glândulas endócrinas. De posse dessas informações sobre o organismo, o hipotálamo ativa o sistema nervoso autônomo e o sistema endócrino, emitindo através deles comandos neurais e químicos para os diversos órgãos e tecidos realizarem os ajustes fisiológicos necessários. Além disso, ele ativa outras regiões neurais que por sua vez irão provocar comportamentos motivados: ações de busca de abrigos aquecidos, água e alimentos, atos sexuais, etc.

A classe **Hipotálamo** apresenta funções similares, ocupando-se principalmente da homeostasia no MFE, monitorando a quantidade de oxigênio e gás carbônico no sangue. O prazer é controlado pelo hipotálamo através do atributo **sensação**, presente em todos os órgãos do modelo e diretamente ligado à quantidade de CO₂ em cada órgão. Esta é uma adaptação grosseira, e com uma relação relativamente incoerente com a real fisiologia; para uma melhor caracterização do prazer é necessária a especificação de um

conjunto de hormônios para este fim específico. A má caracterização do prazer no MFE tem como consequência uma solução precária para o comportamento sexual, mas este tema será discutido na próxima seção. A classe **Hipotálamo** apresenta os seguintes atributos:

- **taxaCO2**: percentagem de CO₂ presente nas hemácias que passam pelo hipotálamo;
- **taxaGlicose**: similar ao atributo acima, percentagem de glicose presente nas hemácias que passam pelo hipotálamo.

Além dos atributos, a classe **Hipotálamo** possui as seguintes operações:

- **determinarCO2()**: através desta operação a classe **Hipotálamo** verifica se há uma grande quantidade de CO₂ na corrente, que pode ser fruto de um ritmo inadequado do pulmão;
- **determinarGlicose()**: esta operação é importante na determinação da fome, pois se há uma pequena quantidade de glicose na corrente, a criatura precisa se alimentar para repor esta deficiência;
- **estimularAparelhoReprodutor()**: aumenta o valor do atributo estímulo, da classe **Aparelho Reprodutor**. Esta operação é importante no comportamento sexual da criatura;
- **estimularGônada()**: estimula a produção de hormônio sexual, estrógeno ou testosterona (dependendo do sexo da criatura);
- **inibirGônada()**: inibe a produção de hormônio sexual; esta operação é usada normalmente para anular a operação **estimularGônada**;
- **perceberSensação()**: o atributo sensação está presente em todas as classes de órgãos do modelo, por fazer parte da superclasse **Órgão**. **Sensação** nada mais é do que uma dor resultante do excesso de CO₂ no órgão, o hipotálamo se encarrega de perceber isto em todos os órgãos do modelo.

7.9.2.2 Classe Amígdala

Todo o circuito emocional do cérebro se concentra numa região denominada como Sistema Límbico, sendo as emoções fruto da interação dos vários componentes desta região (LEDOUX, 1998). Uma das estruturas mais importantes deste circuito é a amígdala, que atua como uma espécie de “botão de disparo” das experiências emocionais, principalmente reações emocionais similares ao medo, ansiedade ou estresse. Dentro do MFE todo o Sistema Límbico foi reduzido a duas classes – **Hipotálamo** e **Amígdala** – que atuam em conjunto durante as reações emocionais. A classe **Amígdala** atua como um botão de disparo das emoções, identificando padrões sensoriais característicos e enviando à classe **Hipotálamo**, que "conscientiza" e ativa as reações fisiológicas.

- **perceberPadrão()**: através desta operação a **Amígdala** identifica padrões sensoriais capazes de provocar reações emocionais;
- **dispararEmoção()**: quando um determinado padrão é identificado, a emoção é disparada, e estas informações são transmitidas para a classe **Hipotálamo**.

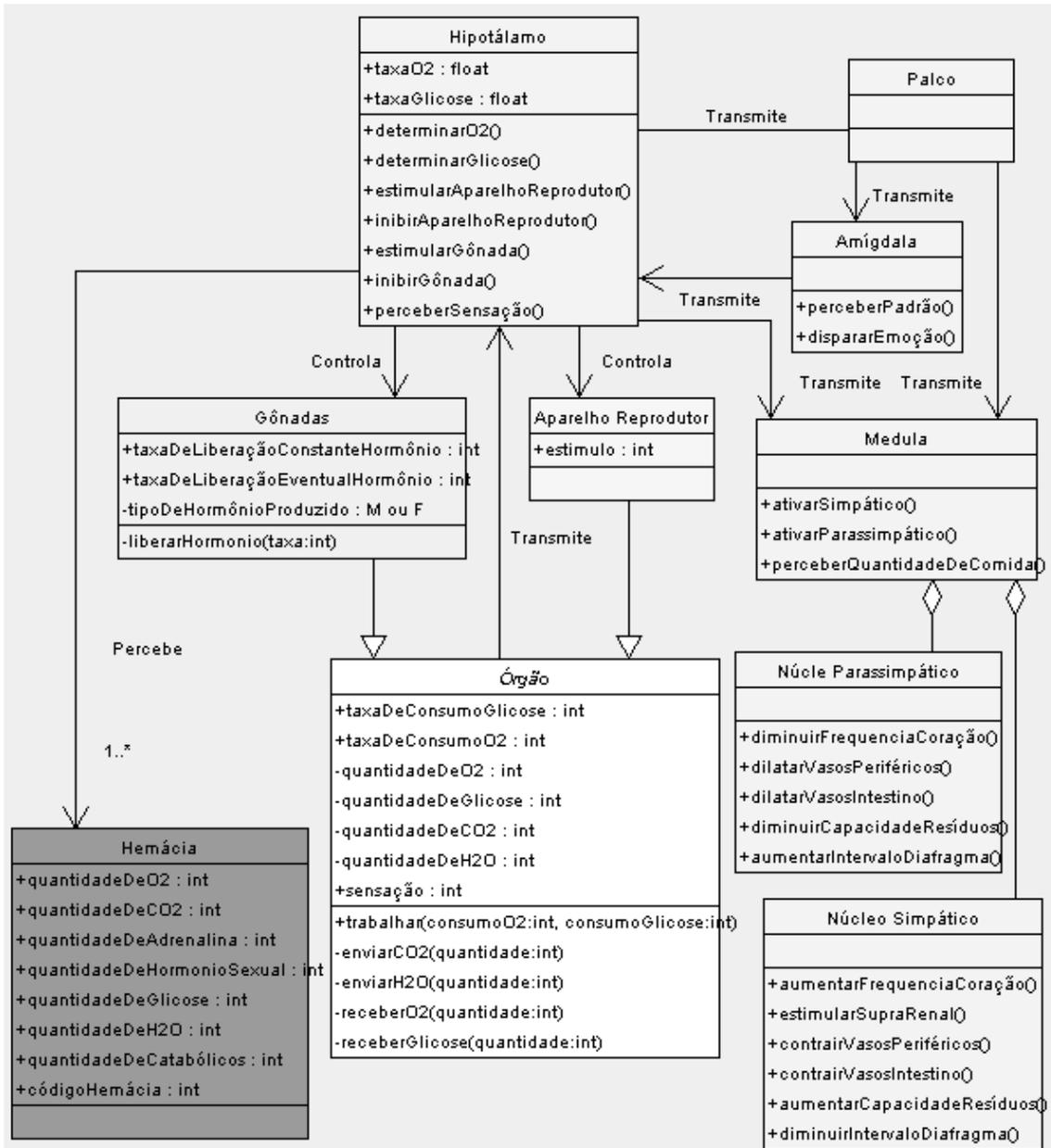


Figura 7.4 Classes do SNA e classes que apresentam associação com a classe Hipotálamo

7.9.2.3 Classe Medula

A medula concentra um imenso conjunto de centros nervosos que atuam de forma reflexa a diversos estímulos do organismo através do chamado arco reflexo. A informação é, portanto, atendida antes de chegar ao cérebro. Por isso, a medula tem uma importância fundamental na regulação simpática e parassimpática do organismo. Dentro do MFE a classe **Medula** apresenta apenas uma operação reflexa, relacionada com a classe **Intestino Delgado**. No entanto ela é a responsável por todo o controle simpático e parassimpático do modelo. Durante a especificação da classe **Medula**, surgiu a necessidade de dividi-la em duas, uma para cada categoria de reação, as classes **Núcleo Simpático** e **Núcleo Parassimpático**. Ainda que a medula ative os dois núcleos, esta não é uma operação idêntica em todas as situações, isto é, a atividade dos órgãos não vão ser inibidas ou estimuladas sempre na mesma intensidade.

- **ativarSimpático()**: ativa a classe **Núcleo Simpático**;

- **ativarParassimpático()**: ativa a classe **Núcleo Parassimpático**;
- **perceberQuantidadeDeComida()**: operação arco reflexa da medula, pois ativa o núcleo parassimpático quando existe comida no intestino delgado.

7.9.2.4 Classe Núcleo Simpático

No capítulo anterior foi dito que a divisão simpática do SNA atua em situações de emergência, por isso, no MFE o núcleo simpático é responsável por diversas operações que preparam o organismo para situações onde será necessário um grande esforço físico.

- **aumentarFrequênciaCoração()**: em situações que exigem grande esforço físico é importante um rico suprimento de oxigênio e glicose aos músculos, com o aumento da frequência do coração, há um aumento na circulação das sanguínea e uma maior quantidade de nutrientes chega aos órgãos;
- **estimularSupraRenal()**: estimula a produção de adrenalina na supra-renal. A adrenalina, quando em contato com os mais diversos órgãos causa um efeito similar ao realizado pela divisão simpática como um todo, sua função é acelerar e potencializar o efeito da atividade simpática. Por isso é muito importante em reações emocionais, quando há uma necessidade de adaptação fisiologia rápida;
- **contrairVasosPeriféricos()**: os vasos periféricos enviam sangue para a pele, algo sem necessidade em situações de luta ou fuga;
- **contrairVasosIntestino()**: o sistema digestivo perde prioridade em situações de emergência, onde a sobrevivência é o mais importante, por isso, esta operação diminui a atividade da digestão;
- **aumentarCapacidadeResíduos()**: esta operação procura diminuir a atividade dos órgãos responsáveis pela excreção de substâncias do organismo;
- **diminuirIntervaloDiafragma()**: o nome desta operação é pouco intuitivo, por isso vale uma explicação mais detalhada. A diminuição do intervalo do diafragma faz com que aumente a frequência respiratória, já que o diafragma altera seu estado (contraído/relaxado) mais rapidamente. Com isso, há um aumento na quantidade de oxigênio na corrente sanguínea.

7.9.2.5 Classe Núcleo Parassimpático

A classe **Núcleo Parassimpático** atua de forma antagônica à anterior, preparando o organismo para situações de descanso ou digestão. Apresenta, por isso, praticamente o mesmo número de operações da classe **Núcleo Simpático**, mas com efeitos completamente antagônicos.

- **diminuirFrequênciaCoração()**: não havendo necessidade de grande esforço físico, o organismo acaba não carecendo de uma grande quantidade de nutrientes em seus órgãos, por isso não é preciso uma atividade intensa do coração;
- **dilatarVasosPeriféricos()**: sem necessidade de uma grande quantidade de nutrientes nos músculos esqueléticos, a pele pode ser irrigada normalmente;
- **dilatarVasosIntestino()**: a atividade parassimpática é muito importante durante a digestão, onde o intestino delgado está trabalhando intensamente e por isso necessitando de nutrientes.

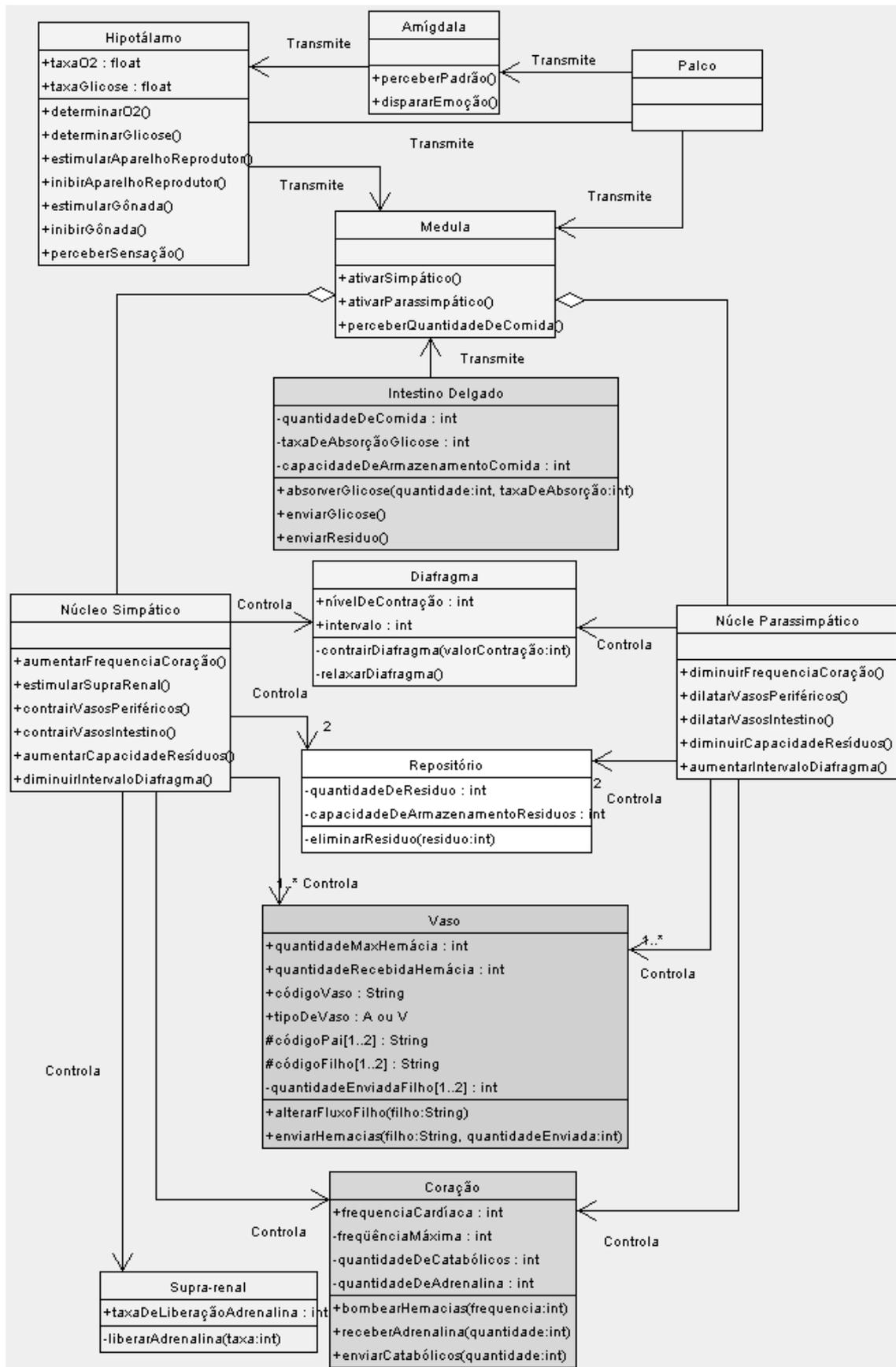


Figura 7.5 Classes do SNA e sua relação com as atividades simpáticas e parassimpáticas

- **diminuir Capacidade Resíduos()**: a diminuição da capacidade de armazenamento de resíduos das classes **Intestino Grosso** e **Bexiga** promove a excreção de substâncias.
- **aumentar Intervalo Diafragma()**: sem necessidade de uma intensa oxigenação dos órgãos, e uma frequência cardíaca mais lenta a troca de gás do pulmão pode passar a ser mais lenta.

As Figuras 7.4 e 7.5 mostram uma grande quantidade de associações de navegabilidade entre os órgãos e os componentes do SNA. Vale comentar sobre a associação **transmite** das classes **Palco** e **Hipotálamo**. Esta associação não possui uma seta de navegabilidade, pois ambas as classes transmitem informações uma para a outra. Outra associação importante é a associação de agregação que ocorre entre a classe **Medula** e as classes **Núcleo Simpático** e **Núcleo Parassimpático**, representadas por um diamante vazado. Esta associação indica que as duas últimas classes fazem parte da classe **Medula**.

7.10 Emoções

A questão da forma de categorização das emoções já foi mostrada no capítulo 3, mas até agora não se comentou a respeito da forma como estas emoções seriam tratadas no MFE. O grande desafio aqui está calcado no fato de não existir um razoável conhecimento sobre as emoções de um ponto de vista neurofisiológico. Os grandes problemas das emoções são seus fortes componentes cognitivos, que misturam sentimentos com vontades fisiológicas e juízos de valor de forma extremamente complicada. G. Edelman afirma em (EDELMAN, 1992) que as emoções podem ser vistas como o estado ou processo mental mais complexo que existe, na medida que se misturam com todos os outros processos.

As emoções, de uma forma geral, estão fortemente ligadas à experiência de cada um, por isso, a memória possui um papel fundamental. Contudo, a questão da memória traz à tona problemas relacionados a símbolos e categorização; tratar desses problemas é, sem dúvida, um desafio monumental que não cabe ser abordado aqui, mas sim num trabalho que tentasse avançar às camadas superiores da arquitetura H-CogAff ou num trabalho que buscasse avaliar as emoções sobre uma perspectiva cognitiva, onde os processos fisiológicos sejam completamente abstraídos. O modelo, como já foi dito anteriormente, procura se encaixar na primeira camada da arquitetura H-CogAff.

Na primeira camada desta arquitetura, os estados emocionais existentes são primitivos, fruto do que Sloman chama de sistema de alarme global (SLOMAN, 1998). Este sistema é capaz de detectar padrões de que requerem uma rápida reorganização dos comportamentos e estados fisiológicos, principalmente em situações de perigo iminente. Tanto Damásio (DAMÁSIO, 1996) quanto Ledoux (LEDOUX, 1998) acreditam que estes tipos de emoções já vêm “instaladas” no momento do nascimento, tendo sido preparadas pela seleção natural. Segundo eles, animais e seres humanos se encontram inatamente propensos a reagir com uma emoção de modo pré-organizado quando certas características dos estímulos, no mundo ou no próprio corpo, são detectadas individualmente ou em conjunto.

Uma criatura artificial implementada a partir do MFE é, conceitualmente, uma criatura que se encaixa na primeira camada da arquitetura H-CogAff e, por isso, uma criatura com estados emocionais muito primitivos, cuja principal função é influenciar à tomada de decisão desta agente. O desafio aqui é, portanto, determinar este grupo de estados emocionais primitivos e, principalmente, especificar as manifestações

fisiológicas desses estados dentro do modelo. O critério mais coerente a ser usado é o das emoções básicas, mostrado no capítulo 3, mas, ainda que as emoções básicas estejam presentes em homens e animais, não há uma correta definição da fisiologia do conjunto mais aceito de emoções básicas: *surpresa, tristeza, aversão, raiva, expectativa, alegria, aceitação e medo*. Outro motivo contra as emoções básicas é a idéia de rótulo. É muito difícil fugir dos rótulos, afinal eles facilitam muito a comunicação, pois transmitem bem uma idéia de emoção. O foco do MFE, entretanto, é a manifestação fisiológica das emoções, principalmente por que Ledoux demonstra em (LEDOUX, 1998) que apenas um pequeno grupo de emoções possui diferentes padrões de manifestação corporal, sendo a maioria das emoções resultado de um mesmo padrão fisiológico e diversos estados cognitivos diferentes.

Já que os estados emocionais presentes num agente do MFE devem ser muito primitivos e fruto da seleção natural, a solução ideal foi selecionar estados emocionais baseando-se em critérios evolutivos. Para isto, é necessário saber o que a biologia tem a dizer a respeito do assunto. De acordo com (DAWKINS, 1989) os seres vivos são grandes máquinas construídas para transportar e transmitir seus genes, por isso precisam sobreviver até a fase adulta, quando podem se reproduzir. Os estados emocionais teriam como função primordial garantir a sobrevivência e a reprodução dos seres vivos, promovendo, através do reforço, a extensão de um estímulo positivo (prazeroso) e a interrupção de um estímulo negativo (desagradável). Apoiado nisto, são propostos dois estados emocionais para o MFE: um negativo importante para a sobrevivência, pois procura alertar e afastar o agente de situações efetivamente fatais (algo que poderia ser rotulado como *medo*); e outro positivo que estimulasse a reprodução (embora não esteja prevista no MFE a capacidade de reprodução).

Podem parecer frustrante uma proposta de Modelo Fisiológico de Emoções apresentar apenas dois estados emocionais, principalmente por que um deles, o estado emocional positivo, se encontra muito mal definido devido à sua incrível complexidade e o limitado conhecimento que a neurociência tem sobre o assunto. No entanto, os poucos estados emocionais apresentados aqui são muito importantes na tomada de decisão e estão constantemente agindo sobre homens e animais. A idéia foi, portanto, primar pela qualidade do estado emocional e não pela quantidade.

7.10.1 Estado emocional negativo (medo)

O medo é um estado emocional muito importante por estar intimamente ligado a autopreservação. Segundo (LENT, 2001), os estímulos produtores do medo podem ser de dois tipos; os produtores de *medo incondicionado* e os produtores de *medo condicionado*. Um exemplo típico do primeiro caso são sons muito fortes e súbitos, que produzem medo em todos os animais; o medo de altura é também generalizado entre homens e animais. A escuridão, por outro lado, para os seres humanos é uma situação que produz medo incondicionado, mas esse não é o caso para a maioria dos animais. Entre estes, por sua vez, as presas respondem com reações de medo incondicionado a simples visão dos seus predadores. Outros casos de medo incondicionado são estímulos visuais grandes, não identificados que surgem de repente na parte superior do campo visual ou vultos rastejando pelo chão. Este é, a princípio o tipo de estado emocional que interessa para o MFE, pois não necessita de memória para a recordação de eventos anteriores, como é o caso da segunda categoria de estímulos produtores de medo.

Boa parte dos estímulos produtores de medo se encaixa na segunda categoria. Normalmente estes estímulos são inócuos, mas em algum momento foram associados a situações ameaçadoras e tornaram-se “avisos” de que elas podem voltar a acontecer novamente. Por exemplo, o rosto de uma pessoa que certa vez causou uma experiência

ameaçadora a alguém, o ruído de uma freada associado a um desastre iminente e assim por diante. Este é um típico medo relacionado com a segunda camada da arquitetura de Sloman.

O medo dentro do MFE está relacionado com a classe **Amígdala**, pois cabe a ela identificar uma série de padrões de estímulo produtores do medo incondicionado. Estes estímulos dependerão muito da implementação, e possivelmente estarão ligados à visão de um predador, estímulos visuais grandes ou de um formato específico. Quando um estímulo atende aos quesitos presentes na amígdala, o estado emocional é disparado e enviado para o hipotálamo, que ativa o núcleo simpático através da medula e envia a informação sobre o estado emocional novamente para a classe **Palco**, para que esta informação chegue ao córtex motor. O circuito emocional no MFE ainda é muito grosseiro, mas já fornece as bases para um futuro circuito emocional mais elaborado. O nome amígdala para a classe responsável pelo medo é baseado nos estudos apresentados em (LEDOUX, 1998); o autor atribui uma grande importância ao complexo amigdalóide (verdadeiro nome da amígdala) em reações emocionais deste tipo. Uma falha contornável é a inexistência de reações musculares involuntárias; isto necessitaria de ligações diretas entre os músculos e o hipotálamo e de um conjunto de padrões de movimento muscular pré-definidos.

7.10.2 Estado emocional positivo (desejo sexual)

O segundo estado emocional do MFE está relacionado com a reprodução, embora um agente do modelo não seja capaz efetivamente se reproduzir. A escolha deste estado emocional é um tanto polêmica, pois como já foi dito antes, o comportamento sexual é apenas parcialmente compreendido pela neurofisiologia e envolve uma grande quantidade de hormônios ligados ao prazer. O chamado desejo sexual não pode nem ser chamado de uma emoção, pois é classificado como uma *necessidade motivante*, bem como a sede ou a fome. O mais correto seria, portanto, sugerir um estado emocional ligado ao desejo sexual como um trabalho futuro. Então por que insistir num estado emocional mal classificado (não é considerado uma emoção), mal definido (não há conhecimento completo sobre o assunto) e sem utilidade (o agente não se reproduz)?

A insistência vem da grande importância que o comportamento sexual tem na tomada de decisão e no comportamento inteligente, em homens e animais. No homem principalmente, pois o lado prazeroso do sexo tornou-o independente de sua função original voltada à reprodução. O sexo certamente não é a única fonte de prazer do homem, pois os humanos são capazes de sentir prazer em outras atividades, como o comer, beber, praticar esportes, ler um livro, assistir um filme, etc. No entanto, o sexo pode ser considerado um dos mais básicos e o mais importante no estudo do comportamento inteligentes; envolve interação com outros indivíduos de uma maneira totalmente peculiar. (LENT, 2001) aponta quatro etapas de comportamento sexual na interação entre machos e fêmeas: a atração sexual entre indivíduos distantes ou desatentos através da emissão de sinais, como cheiros ou sons; a realização de comportamentos apetitivos característicos de cada espécie por meio de padrões estereotipados de movimento; a cópula e o comportamento pós-copulatório.

A existência de machos e fêmeas torna o comportamento sexual ainda mais complicado, pois os dois sexos possuem condutas sexuais totalmente distintas, particularmente difíceis de modelar para o caso das fêmeas. Dawkins mostra em (DAWKINS, 1989) enquanto os machos, de uma maneira geral, procuram copular com o maior número de fêmeas possível a fim de passar à frente seus genes, as fêmeas utilizam estratégias mais sofisticadas para a escolha do melhor parceiro. Uma enorme variedade de estratégias evolucionárias utilizadas pelas fêmeas para a escolha de

parceiros é apontada por Dawkins. O assunto é, sem dúvidas, fascinante, mas muito amplo para ser tratado neste trabalho.

As descrições acima mostram o quanto é difícil formular uma correta especificação para o desejo sexual, e muito mais para um completo comportamento sexual. Dentro MFE a classe responsável pelo desejo sexual é o hipotálamo, pois ele coordena a liberação de hormônios sexuais e o estímulo do aparelho reprodutor. A atração entre os indivíduos se baseia na quantidade de hormônio sexual em cada um, com isto, indivíduos com uma grande quantidade de testosterona ou estrógeno são considerados mais atraentes que os outros. O grande problema está em dar continuidade ao assunto, pois todas as etapas do comportamento sexual envolvem inúmeras reações fisiológicas diferentes e controle coordenado dos sistemas simpático e parassimpático. Este “estado emocional” fica, portanto, praticamente indefinido e em aberto.

8 VALIDAÇÃO

O Capítulo anterior apresenta a especificação completa do MFE, apresentando suas classes, atributos e operações para o corpo e o cérebro de um agente implementado a partir do modelo. Além disso, propõe duas emoções capazes de influenciar a tomada de decisão desta criatura. No entanto, o modelo até agora preocupou-se com a fundamentação teórica e a especificação de um diagrama de classes para o modelo de acordo com o padrão UML.

O tema “validação” tem se mostrado um dos grandes desafios no desenvolvimento de modelos de emoções para a IA. É complicado avaliar o quanto um modelo é melhor que outro, já que muitas vezes, os critérios utilizados são completamente subjetivos. Um modelo não será melhor por sentir emoções “mais rápido” ou por sentir mais emoções que outro. Comparar modelos nem sempre pode ser a melhor maneira de analisar o valor de cada um. O problema, muitas vezes, não se restringe à validade de um ou outro modelo, mas à própria validade de uma emoção, como mostra (SCHEUTZ, 2004). No capítulo três já foi dito que modelos com abordagens psicológicas são os mais indicados para a construção de modelos que buscam solucionar um problema específico, já que são capazes de chegar a resultados muito mais sofisticados que um modelo como o MFE.

Este capítulo procura fundamentar a especificação do MFE apresentada no capítulo anterior de duas maneiras: primeiro, delineando a relação concreta do modelo com a arquitetura H-CogAff; segundo, descrevendo a implementação de um cenário que utiliza algumas das classes e conceitos propostos no capítulo anterior.

8.1 Modelo Fisiológico de Emoções e Arquitetura H-CogAff

Não é novidade que o principal objetivo do MFE é apresentar um modelo que atenda às necessidades da primeira camada da arquitetura H-CogAff proposta por A. Sloman. Por isso é necessário apresentar a relação existente entre os dois trabalhos.

A escolha desta arquitetura se deu por seu alto nível de abstração. Ela não se preocupa em nenhum momento com a forma como cada camada da arquitetura deve ou não ser implementada, restringindo-se apenas a apontar alguns dispositivos considerados fundamentais para os processos realizados em cada uma das camadas. Sloman também não se preocupa se as emoções serão discretas ou contínuas, ou um misto das duas, procurando apenas separá-las em três categorias (expandindo as duas categorias propostas em (DAMÁSIO, 1996)) e relacionando essas emoções com o tipo de processamento de cada camada da arquitetura. Toda esta liberdade de regras facilita qualquer um que deseje apoiar-se na arquitetura. Ao mesmo tempo, cada uma das camadas é bastante clara em suas tarefas. A especificação de um modelo que atenda os requisitos da primeira camada da arquitetura H-CogAff é, sem dúvidas, a tarefa mais

simples, já que Sloman praticamente impõe apenas subsistemas de percepção e ação e um sistema de alarme global.

Como já foi dito antes, um agente do MFE precisa tratar de dois universos concorrentes: o ambiente externo onde o agente está inserido e o meio interno deste mesmo agente, composto pelo grande conjunto de órgãos e tecidos. O subsistema de percepção externo é composto pelas classes **Pele** e **Córtex Somestésico** para as percepções táteis e **Córtex Visual** para a visão. Já o subsistema de ações externas é formado pelas classes **Córtex Motor** e **Músculos**, ainda que, dependendo do cenário implementado, a classe **Boca** e as subclasses de **Repositório** podem alterar o ambiente externo. Por outro lado, o subsistema de percepção interna é de inteira responsabilidade da classe **Hipotálamo**, que realiza um monitoramento de todos os órgãos do modelo através do atributo sensação e da quantidade de CO₂ e glicose no sistema circulatório. Já para o subsistema de ações internas a classe **Hipotálamo** atua em conjunto com as classes **Medula**, **Núcleo Simpático** e **Núcleo Parassimpático**. O sistema de alarme global no MFE está claramente representado pelas classes **Amígdala** e **Hipotálamo**. A Figura 8.1 mostra resumidamente a relação entre os dois trabalhos. Cada um dos diagramas pode ser visto independentemente em figuras de capítulos anteriores: o diagrama é também mostrado na Figura 7.3 e representa as classes do sistema nervoso somático responsáveis pelos dispositivos de entrada e saída (*percepção e ação*), na arquitetura H-CogAff; a arquitetura em três camadas localizada logo abaixo do diagrama com as classes do sistema nervoso somático é a arquitetura H-CogAff, já mostrada de forma bem mais clara na Figura 4.3. Abaixo da arquitetura está a parte do sistema nervoso autônomo responsável pelas emoções no MFE (por isso ligado ao *sistema de alarme global* da arquitetura). Este diagrama também pode ser visto de forma mais clara na Figura 7.4. Por fim, o maior diagrama de todos, localizado na parte inferior da Figura 8.1 apresenta os órgãos que compõem o corpo do MFE, está diretamente ligado aos *processos internos* que ocorrem na camada reativa da arquitetura H-CogAff. O diagrama do corpo pode também ser visto na Figura 7.1.

Para as demais camadas da arquitetura haverá a necessidade de recursos mais sofisticados como um sistema de memória ou o chamado filtro de atenção. Sloman também prevê um recurso chamado *Ativação de Motivações* que, embora não seja capaz de ativar motivações sofisticadas, já é atendido pelo MFE, visto que todos os órgãos estão constantemente necessitando de recursos e, por esta razão, sempre gerando novas motivações ao agente, além dos estados emocionais que podem ser facilmente vistos como geradores de motivações.

Os estados emocionais no MFE também seguiram as propostas da arquitetura de Sloman, ainda que tenha encontrado os maiores desafios nesta questão. O assunto, sem dúvidas, acabou se relevando muito mais complexo do que se imaginava a princípio, principalmente devido à escassez de informações sobre a fisiologia das emoções. A escolha do desejo sexual como uma emoção positiva pode ser visto por muitos como uma decisão errônea e grosseira, em sua defesa apresentam-se dois argumentos: a dificuldade de encontrar um correto detalhamento da fisiologia de uma emoção positiva, sabe-se que elas estão diretamente ligadas com as vias de prazer do cérebro (LENT, 2001) e ativam a liberação de endorfinas (morfina produzidas pelo cérebro); o segundo argumento é a própria definição de Sloman (e Damásio) sobre emoções primárias, “ficar alerta, assustado, sexualmente excitado”. Talvez alguém conteste que existe diferença entre desejo sexual e excitação sexual, o que é verdade, no entanto, a excitação está muito mais relacionada a uma simples manifestação fisiológica enquanto o desejo se caracterizaria como uma emoção propriamente dita.

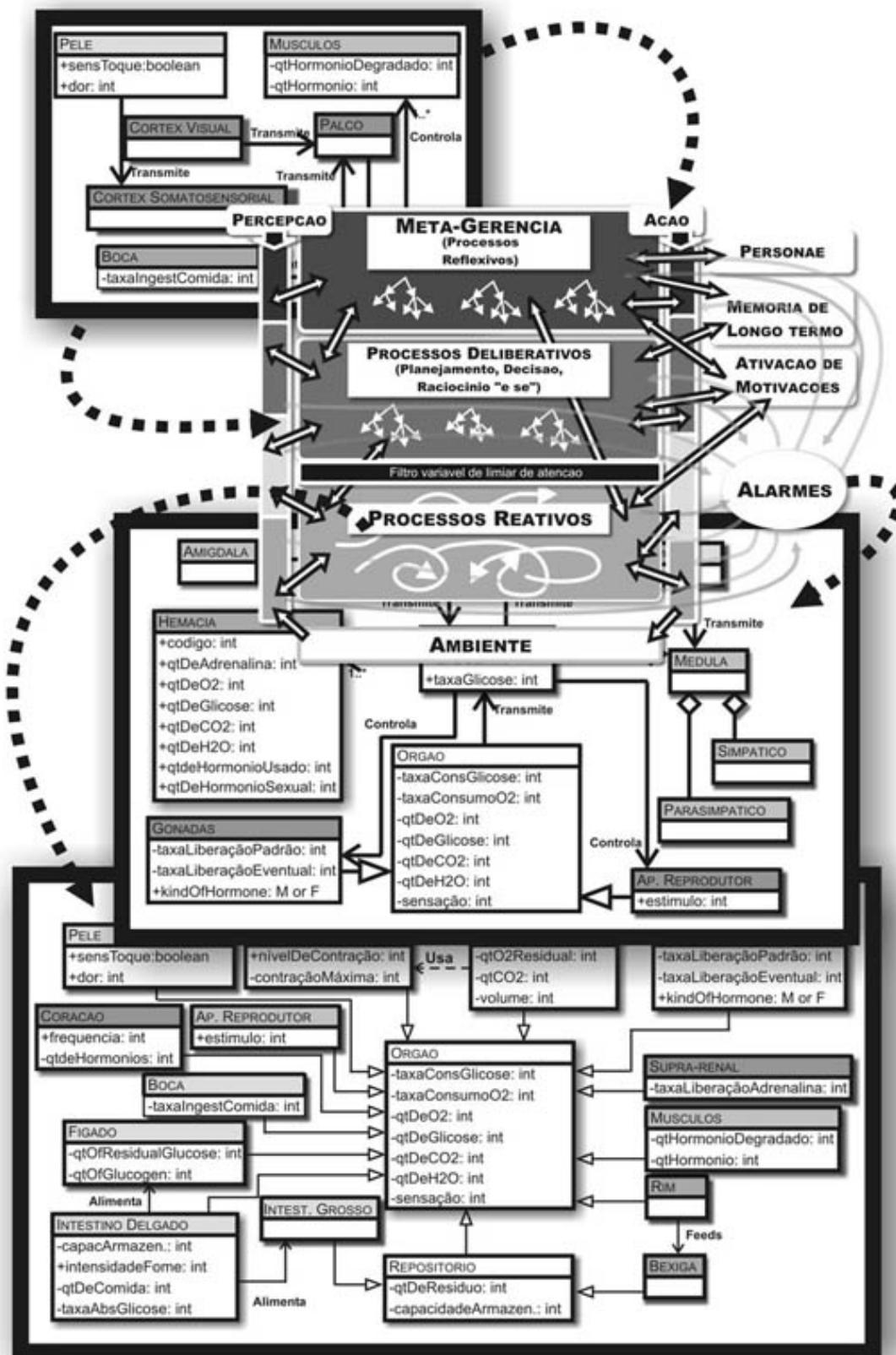


Figura 8.1 Modelo Fisiológico de Emoções e Arquitetura H-CogAff

8.2 Cenário

Quando se deseja simular no computador o comportamento inteligente de um animal artificial que se apóie numa abordagem biológica que procura modelar os mecanismos geradores dos efeitos e não os efeitos propriamente ditos, deve-se levar em consideração algumas questões importantes.

Os computadores são máquinas lógicas que, em princípio, levam a cabo qualquer procedimento que seja inequivocamente especificado por um conjunto de instruções, produzindo um resultado único para um problema determinado (EDELMAN, 1992). No entanto, o cérebro não é um computador e o mundo não se encontra especificado de forma tão inequívoca que possa funcionar como um conjunto de instruções. Isto não impede que se use o computador para simular o animal, o cérebro ou qualquer outra coisa, contanto que se siga um procedimento similar ao sugerido em (EDELMAN, 1992):

- escrever um programa que especifica as propriedades estruturais e princípios de funcionamento da entidade a ser simulada;
- simular de forma independente um mundo ou ambiente condicionado por princípios físicos conhecidos, permitindo, no entanto, a ocorrência de acontecimentos imprevisíveis;
- deixar que a entidade simulada entre em interação com o mundo simulado sem prévia transferência de informação;
- observar os acontecimentos.

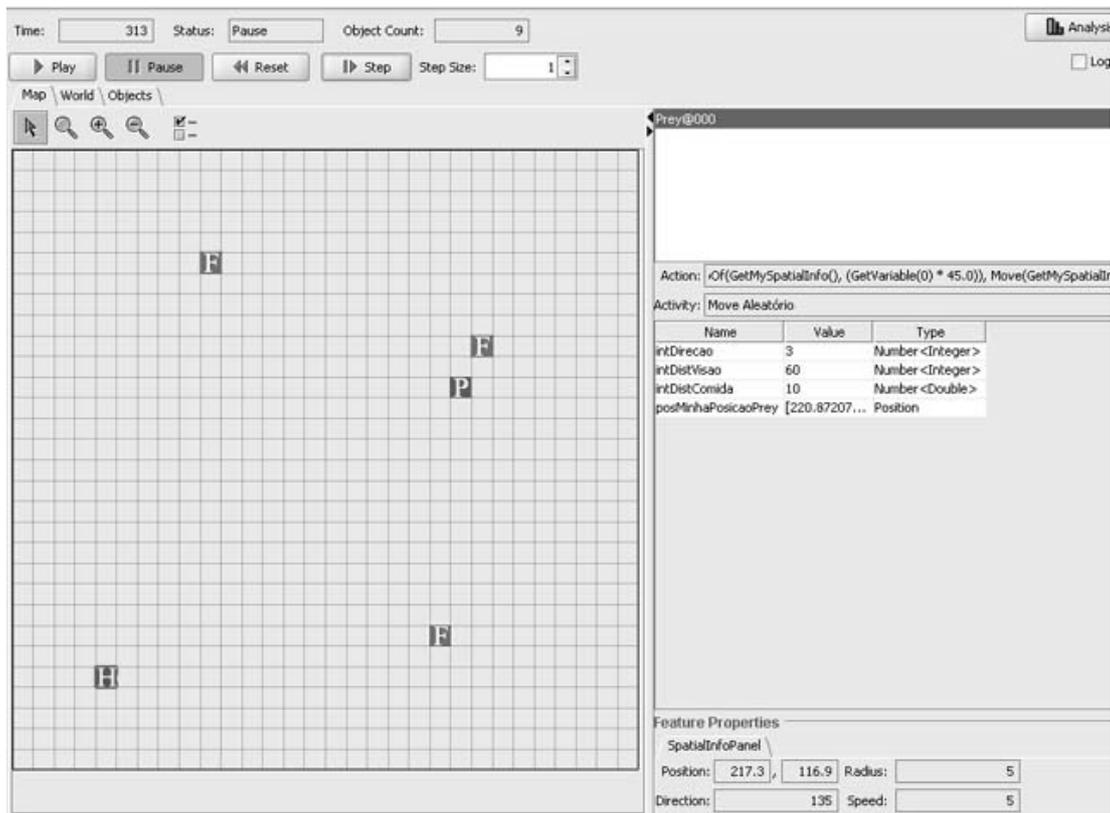


Figura 8.2 Ambiente de simulação

A simulação apresentada a seguir é muito simplificada e por isso fica muito aquém das possibilidades proporcionadas pelo MFE, já que usa poucas classes e operações. Procura apenas demonstrar a construção de um agente a partir de seus mecanismos e não efeitos. Para implementar o cenário foi utilizado o ambiente para a simulação multiagente SeSAM.

8.2.1 SeSAM

A ferramenta selecionada para a implementação da simulação foi o SeSAM. A grande vantagem no uso do SeSAM vem do fato dele fornecer um ambiente genérico para a simulação, capaz de criar situações, ambientes e agentes bastante variados e de maneira relativamente simples (SESAM, 2004).

No SeSAM a simulação do ambiente é baseada em mapas bidimensionais. Estes mapas podem ser habitados por recursos ou agentes. Ambos possuem um corpo que pode conter diferentes variáveis de estado e, no caso dos agentes, diferentes comportamentos. A Figura 8.2 mostra o ambiente de simulação implementado para esta dissertação. Os agentes estão representados por pequenos quadrados: o quadrado com a letra “P” representa o agente do MFE e o quadrado com a letra “H” representa um inimigo. Os outros quadrados com a letra “F” não são considerados agentes, mas sim recursos. Serão mostrados mais detalhes sobre os agentes na próxima seção.

Um agente no SeSAM é constituído por um corpo que contém um grupo de variáveis de estado e um comportamento que é implementado na forma de um diagrama UML. O comportamento é implementado através de grafos de atividade na definição da classe do agente em questão (Figura 8.3). Cada agente possui uma atividade atual que determina as ações que ele executa em si mesmo, ou em outros agentes/recursos, ou ainda no próprio ambiente a cada passo de simulação. As regras – representadas por setas – determinam a transição entre diferentes atividades. Cada uma das atividades do agente é implementada numa linguagem de programação própria do SeSAM. A Figura 8.3 mostra o comportamento da classe **Prey**, uma das classes que definem o agente do MFE.

Para esta simulação, a idéia de um agente composto por um corpo com variáveis e comportamentos precisou ser expandida. Ainda que o agente possua apenas um corpo, este não é formado por apenas um objeto (como ocorre regularmente no SeSAM), mas sim por um grupo de objetos. Estes outros objetos são, na realidade, outros agentes sem definições espaciais no ambiente. Portanto, na simulação, o agente do MFE é a soma de vários agentes trabalhando em conjunto.

8.2.2 Ambiente

O cenário escolhido para a implementação do MFE é similar ao Gridland de (CAÑAMERO, 1997) e o agente usado como objeto de estudo no trabalho é próximo ao Abbott, mas completamente baseado no MFE. A escolha do cenário foi motivada pelo foco similar dos dois trabalhos, isto é, a tentativa de analisar a influência das emoções no comportamento sobre perspectivas biológicas e evolutivas ao invés de partir de abordagens cognitivas mais tradicionais, como (ORTONY; CLORE; COLLINS, 1988), por exemplo.

O ambiente onde o agente do MFE estará imerso é similar ao Gridland, pois se trata de uma grade bidimensional habitada por:

- dois tipos de agentes autônomos “seres vivos” – um agente do MFE (objeto de estudo do trabalho) e um inimigo.

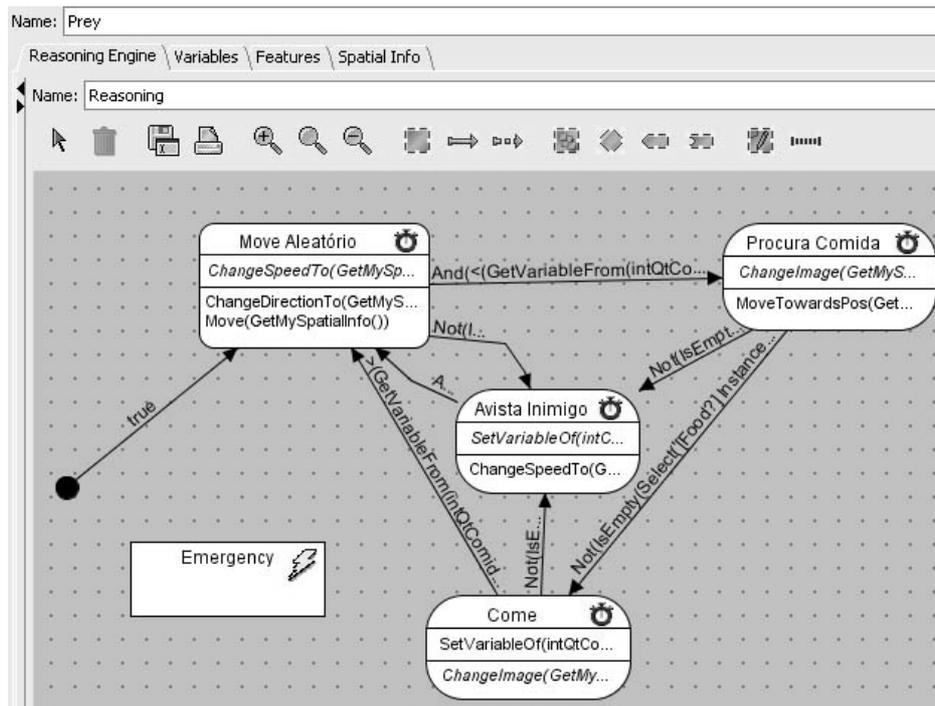


Figura 8.3 Exemplo de comportamento do agente

- fontes de comida, que podem ser consumidas pelo agente do MFE para garantir a produção de glicose.

O inimigo é um agente com estrutura simples, presente apenas para garantir uma certa dinâmica no ambiente. Por isso está limitado a movimentar-se aleatoriamente pelo grid e correr atrás do agente do MFE quando o encontra. As fontes de comida são completamente estáticas, sem nenhum tipo de atividade; servem para garantir alimento para que o agente do MFE possa produzir glicose.

8.2.3 Classes do agente

Por ser o objeto de estudo, o agente do MFE possui uma fisiologia muito mais complexa que os “inimigos”. Como já foi citado, ele não é apenas um agente, mas sim um conjunto de agentes (objetos) trabalhando paralelamente. O agente é formado por um objeto Prey (que representa o cérebro e a posição do agente no grid), um Músculo, um Intestino Delgado, um Coração e uma Supra Renal. Cada um desses objetos atua como um mecanismo específico e suas atividades acabam por interferir no comportamento dos outros objetos do agente. Estes objetos estão relacionados com as classes definidas no capítulo anterior, mas apresentam uma série de simplificações. A função de cada uma delas é apresentada a seguir.

8.2.3.1 Classe Músculo

Esta classe possui duas funções na fisiologia do agente desta simulação: consumir glicose e determinar a velocidade do agente. Quanto maior a velocidade do agente, mais glicose ele consome. Esta classe realiza apenas uma operação, **trabalhar**, e possui dois atributos:

- **intQtGlicose**: determina a quantidade de glicose disponível no músculo;

- **intTaxaDeConsumoGlicose**: este atributo está diretamente relacionado com a velocidade do agente.

8.2.3.2 Classe Intestino Delgado

Se a classe **Músculo** se preocupa em consumir glicose, a classe **Intestino Delgado** se ocupa justamente do contrário: transformar comida em glicose através da sua operação **absorver glicose**. Além disso, a classe possui os seguintes atributos:

- **intQtComidaIntestino**: informa a quantidade de comida existente dentro do intestino delgado;
- **intQtGlicoseIntestino**: similar à anterior, determina a quantidade de glicose no intestino delgado;
- **intTaxaAbsSemAdrenalina / intTaxaAbsComAdrenalina**: como o agente não possui um sistema circulatório (como o proposto no modelo) e nem núcleos simpáticos e parassimpáticos, este atributo e o próximo se encarregam de priorizar a atividade do intestino. Quando a adrenalina é liberada a atividade do intestino diminui, conseqüentemente a taxa de absorção de glicose também diminui. O contrário acontece quando não há adrenalina no sistema.

8.2.3.3 Classe Coração

No MFE original do coração está encarregado de bombear as hemácias por artérias, veias e órgãos. Como o agente desta simulação não apresenta hemácias e sistema circulatório, cabe ao coração transportar a glicose do intestino delgado até o músculo. A classe **Coração** apresenta uma operação chamada **bombear** que realiza o transporte da glicose. A classe também possui apenas um atributo chamado **intFrequenciaCardiaca**. Este atributo determina a quantidade de glicose transportada a cada passo de simulação e varia de acordo com a presença ou não de adrenalina no sistema – se há adrenalina, a frequência aumenta.

8.2.3.4 Classe Supra-renal

Cabe a classe **Supra-renal** liberar adrenalina no sistema em situações perigosas para o agente, situações que envolvem o medo. A adrenalina é muito importante na fisiologia do sistema e altera o comportamento de praticamente todas as outras classes, preparando o agente para correr do inimigo de forma rápida. Como as outras classes até agora, a **Supra-renal**, possui apenas uma operação, **liberar adrenalina**. A classe também possui dois atributos:

- **intTaxaLiberacaoAdrenalina**: determina a quantidade de adrenalina liberada a cada passo;
- **intContador**: determina o tempo (em passos) que a adrenalina é liberada no sistema.

8.2.3.5 Classe Prey

Esta classe atua com uma espécie de cérebro para o agente, ainda que o agente não use nenhuma estratégia sofisticada de inteligência. Como as outras classes do agente, **Prey** está sempre influenciando ou sendo influenciada pelos valores de atributos de outras classes. **Prey** também é a única classe com atributos espaciais do agente, em

outras palavras, é a única classe do agente que aparece no grid de simulação. A classe **Prey** apresenta as seguintes operações:

- **move aleatório:** operação padrão do agente, apenas para gastar energia, move-se no grid aleatoriamente;
- **procura comida:** quando a quantidade de comida no intestino delgado é muito baixa o agente passa a sentir necessidade de buscar mais alimento. Esta operação identifica fontes de comida e desloca o agente em direção destas fontes;
- **come:** esta operação envia comida (de uma das fontes de comida) para o intestino delgado;
- **avista inimigo:** operação relacionada com o estado emocional medo. Não importa a atividade do agente, no momento em que este avista um inimigo a supra-renal libera adrenalina, alterando toda a fisiologia do sistema e permitindo que o agente possa fugir. Através desta operação, o agente procura fugir do inimigo, mas isto só é possível com o chamado recrutamento fisiológico. Por padrão, o agente do MFE é mais lento e possui uma visão mais limitada que o inimigo. Apenas com a liberação da adrenalina e a adaptação fisiológica de todo o organismo, este agente consegue se movimentar mais rápido.

Além das quatro operações acima, o agente também possui quatro atributos:

- **intDirecao:** indica a direção para onde o agente está se movendo; para cima, para baixo, para esquerda ou para direita;
- **intDistVisao:** determina a capacidade de visão do agente. O agente é capaz de enxergar em qualquer direção num raio determinado. Na simulação, este raio é menor que o raio de visão do inimigo;
- **intDistComida:** informa a distância que o agente deve estar de uma fonte de comida para conseguir comer;
- **intMinhaPosicaoPrey:** indica a posição do agente dentro do ambiente de simulação.

8.2.4 Comportamento

Como já foi dito, o agente da simulação é extremamente simplificado, não usa estratégias de controle sofisticadas, como a sugerida no capítulo cinco. A simulação descrita aqui não tem como foco o comportamento inteligente, mas o uso de mecanismos geradores de efeitos. Particularmente, o efeito da emoção *medo* em toda a fisiologia do agente. No capítulo três, são listadas as funções dos estados emocionais. De todas as funções apresentadas lá, uma em particular interessa na simulação: a função de “*recrutamento de suporte fisiológico*”. Isto é, criar um meio fisiologicamente propício para uma determinada atividade ou comportamento. Na simulação, o agente altera o estado dos seus órgãos em função da emoção medo, criando um estado interno mais propício para lidar com situações que despertem este estado emocional.

A Simulação também procura passar a idéia de interação entre “corpo e mente”. Por exemplo, a fisiologia do corpo influencia à tomada de decisão – a falta de comida no intestino delgado faz com que o agente passe a procurar por fontes de alimento. Por outro lado, o medo altera os estados fisiológicos dos órgãos, através da adrenalina.

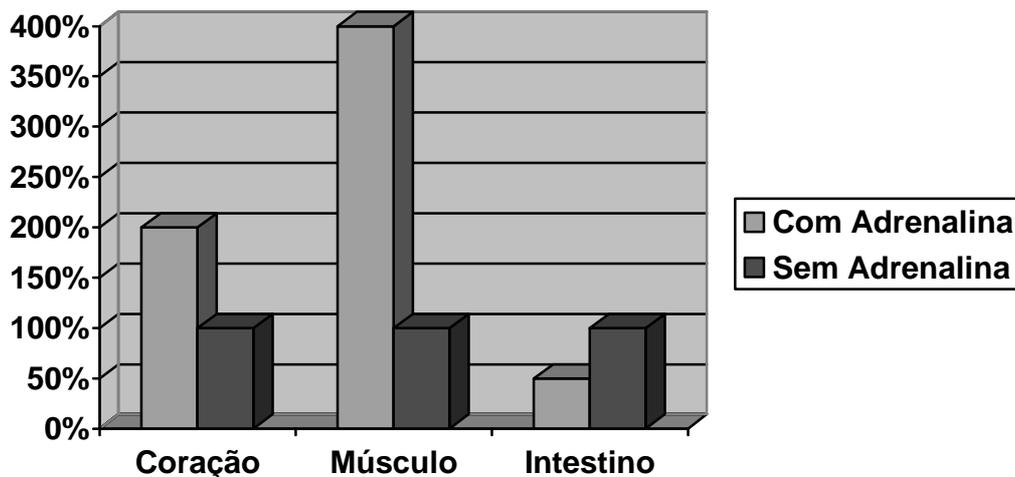


Figura 8.4 Influência da adrenalina no desempenho dos órgãos

A adrenalina é aqui a entidade diretamente responsável pelo *recrutamento de suportes fisiológicos*. Sobre a influência do hormônio, praticamente todos os órgãos (objetos) do agente sofrem alguma alteração. Com isso o estado emocional medo é reforçado por uma manifestação fisiológica completa do corpo. A Figura 8.4 mostra o estado dos órgãos do agente em situações onde a adrenalina está ou não está ativa. Pode-se perceber que, sobre o efeito da adrenalina, a atividade é mais intensa em alguns órgãos (coração, músculo), mas diminui no intestino delgado. A atividade de cada órgão foi avaliada em relação à quantidade glicose produzida (intestino delgado), transportada (coração) ou consumida (músculo). O valor padrão de uma atividade é 100%, mas com a interferência do estado emocional medo. O valor pode aumentar ou diminuir. Os valores da simulação foram escolhidos arbitrariamente e não têm nenhuma relação com a real produção, transporte ou consumo de glicose por um organismo vivo. No entanto, o comportamento dos órgãos em relação à adrenalina é similar ao comportamento de um órgão real. Esta variação nos estados fisiológicos dos órgãos afeta diretamente o desempenho (velocidade) do agente.

Podemos reparar que o desempenho dos órgãos coração e intestino delgado são complementares. Sem a influência da adrenalina (liberada em situações de perigo) o agente procura acumular recursos, por isso, o coração fornece uma pequena quantidade de glicose ao músculo, apenas o necessário para o agente se mover na menor velocidade possível. Em situações de perigo, os recursos acumulados são enviados para o músculo. A Figura 8.4 também mostra que o consumo de glicose do organismo pode ser muito maior do que o valor transportado pelo coração, isto é necessário para que, eventualmente, ocorra uma fadiga muscular. Se o transporte fosse sempre igual ao consumo, o músculo nunca “cansaria” de correr.

9 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O trabalho apresentado aqui procurou argumentar em favor de um modelo de inteligência que se apóia numa abordagem biológica e, a partir disso, propôs o Modelo Fisiológico de Emoções. Este trabalho oferece substratos necessários à construção de agentes inteligentes capazes de comportamentos mais sofisticados e similares aos dos animais através da especificação completa de um modelo inspirado na fisiologia e na neurofisiologia que fornece base para a representação de emoções. Para isso, o modelo foi então especificado através de um diagrama de classes de acordo com o padrão UML. Contudo, a maior contribuição do trabalho não foi o modelo aqui apresentado. Afinal, vários outros modelos poderiam ser desenvolvidos a partir da fisiologia. Apesar de procurar manter a coerência na especificação, fizeram-se várias vezes uso da arbitrariedade. O estômago, por exemplo, aqui foi eliminado, outros podem discordar completamente dos argumentos apresentados e considerarem o órgão importantíssimo. Isto vale para outros órgãos como o baço, o pâncreas, ou todo o sistema linfático. A maior contribuição do trabalho foi a tentativa de utilizar a biologia, a fisiologia e, principalmente, uma pequena parte de todo o conhecimento adquirido pela neurociência nos últimos tempos e aplicar isto num trabalho de inteligência artificial. A tarefa é, sem dúvidas, muito trabalhosa, mas isto não é um motivo forte para que seja simplesmente descartada.

Especificar um modelo de emoções baseado na fisiologia humana ou animal não é uma tarefa simples. Os capítulos três, cinco e seis mostram que o trabalho demanda conhecimentos em diversas áreas que, sozinhas, já possuem conteúdo bastante para consumir os anos de trabalho de qualquer um. Além disso, praticamente todas as disciplinas que servem de base para a construção de modelo apresentam um infindável número de questões sem resposta. Não é raro encontrar em livros de fisiologia e neurociência (LEDOUX, 1998; LENT, 2001; GUYTON; HALL, 1998; MACHADO, 1986) expressões como: “*os princípios que regem a atividade de A não são completamente conhecidos*” ou “*não se sabe ao certo se B tem alguma relação com o comportamento de X*”. Dado o estado atual dos conhecimentos sobre o funcionamento das estruturas cerebrais, expressões desse tipo são ainda mais comuns quando se estuda o comportamento inteligente e a fisiologia dos estados emocionais, por exemplo. Portanto, ainda que o MFE tenha sido construído com base em dados científicos, o modelo está longe de ser considerado definitivo. Foram então reservadas a este último capítulo algumas considerações sobre o MFE e sugestões de como o trabalho pode ser expandido ou aprimorado.

A primeira consideração importante é a respeito do critério funcional utilizado na especificação dos órgãos no modelo. Os órgãos do MFE foram especificados conforme sua funcionalidade e o que se leva em consideração são os efeitos dos mesmos para o agente. Em outras palavras, não se leva em consideração os mecanismos geradores dos

efeitos de cada órgão, mas apenas seus efeitos. Esta visão funcionalista – que se preocupa em obter um resultado similar ao do objeto de estudo e não se importa com os métodos – está completamente em desacordo com o real objetivo do modelo. No entanto, o objeto de estudo aqui é o agente implementado pelo MFE e não os órgãos que o compõe. Certamente, esses órgãos devem ser quebrados e esmiuçados num trabalho futuro. Além disso, outros órgãos e sistemas de órgãos devem ser incluídos, mas no momento é fundamental o uso de abstrações. O capítulo sete mostra que os argumentos para isso tornam-se bastante óbvios quando se analisa a quantidade de células do corpo. A situação se torna ainda pior quando é levado em consideração o sistema nervoso, composto por 10^{11} células e 10^{15} conexões.

Os problemas apontados acima acabam levando ao uso da filosofia funcionalista para o desenvolvimento de modelos de emoções. No entanto, o capítulo três já comenta a impossibilidade de se atingir uma inteligência verdadeira a partir de uma perspectiva funcionalista como a dos modelos baseados em teorias psicológicas. Por isso, uma segunda consideração importante sobre o MFE é a de que ele claramente adota uma filosofia reducionista, procurando dividir todo o complexo comportamento do corpo numa porção de pequenas tarefas independentes; no caso os órgãos deste corpo, como foi mostrado em detalhes no capítulo sete. O reducionismo adotado no MFE pode ser alvo de muitas críticas, mas aponta uma alternativa a quem deseja estudar a inteligência propriamente dita (a IA forte citada no capítulo três). Mesmo que o modelo não aponte uma resposta definitiva (e certamente não aponta), que ele ao menos indique um caminho a ser explorado e discutido, não apenas na inteligência artificial, mas na ciência cognitiva de uma forma geral (como propõe o capítulo dois). Não existe uma definição consensual para a inteligência, portanto, a solução definitiva para a inteligência artificial não repousa sobre uma ou outra teoria, mas sobre todas elas ao mesmo tempo. As palavras de (PEROTTO, 2002) traduzem muito bem esta condição peculiar da IA: “*A inteligência artificial é o campo de uma série de discursos, e este é o jogo dinâmico que lhe dá significado*”.

De volta ao MFE, após se estudar a fisiologia do corpo humano foi inevitável não pensar nele como um complexo sistema distribuído, pois muitos processos ocorrem simultaneamente e boa parte deles não possui nenhuma intervenção do “usuário”, da mente que comanda aquele corpo. Alias, boa parte da fisiologia do corpo é completamente reativa e trabalha de forma independente. A simulação apresentada no capítulo oito procura passar a idéia de um sistema distribuído com vários órgãos funcionando em paralelo, mas ainda está longe de oferecer um resultado convincente. O desenvolvimento de uma simulação mais completa e detalhada é, sem dúvidas, a melhor maneira de comprovar e aprimorar o MFE. Como afirma G. Edelman em (EDELMAN, 1992), “*A esperança e a convicção têm tanta importância na ciência como em qualquer outra área; a diferença é que na ciência têm que dar lugar à experimentação*”.

O MFE pode ser visto como um primeiro passo na construção de um agente inteligente apoiado na biologia. Por isso, o trabalho ainda ser expandido de inúmeras maneiras, por exemplo: os estados emocionais do agente devem ser melhor definidos conforme a neurociência se aprimore mais sobre o assunto; outras questões externas ao agente – como a construção de um cenário utilizando a abordagem biológica – também devem ser consideradas; como já foi dito, cada órgão pode ser especificado de forma ainda mais detalhada, possivelmente desmembrados em outros órgãos ou em células.

REFERÊNCIAS

BAR-ON, R.; TRANEL, D.; DENBURG, N.; BECHARA, A. Exploring the Neurological Substrate of Emotional and Social Intelligence. **Brain**, [S.l.], v.126, p.1790-1800, 2003.

CAÑAMERO, D. A Hormonal model of emotions for behavior control. In: EUROPEAN CONFERENCE ON ARTIFICIAL LIFE, ECAL, 4., 1997. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1997.

COSTA, A. **Needs and the Functional Foundation of Agent Autonomy**. Disponível em: <<http://www.inf.ufrgs.br/~afmoreira/wfaac/>>. Acesso em: agosto de 2003.

DAMÁSIO, A. **O erro de Descartes: emoção, razão e o cérebro humano**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

DAMÁSIO, A. **O Mistério da Consciência**. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

DAWKINS, R. **O Gene Egoísta**. São Paulo: Gradiva, 1989.

DREYFUS, H. **What Computers Can't Do**. [S.l.]: MIT Press, 1972.

EDELMAN, G. **Biologia da Consciência: as raízes do pensamento**. Lisboa: Instituto Piaget, 1992.

EDELMAN, G.; TONOMI, G. **A Universe of Consciousness: How Matter Becomes Imagination**. [S.l.]: Basic Books, 2000.

EKMAN, P.; DAVIDSON, R. **The Nature of Emotion: fundamental questions**. [S.l.]: Oxford University Press, 1994.

FELLOUS, J. From Human Emotions to Robot Emotions. In: ARCHITECTURES FOR MODELING EMOTIONS: CROSS-DISCIPLINARY FOUNDATIONS, AAAI SPRING SYMPOSIUM, 2004. **Papers**. Menlo Park, CA: AAAI, 2004.

FONER, L. Are we having fun yet? Using social agents in social domains. In: DAUTENHAHN, K. (Ed.). **Human cognition and social agent technology**. Amsterdam: John Benjamin's Publishing Company, 1998. p.324-348. (Advances in consciousness research, 19).

FURLAN, J. **Modelagem de Objetos através da UML**. São Paulo: Makron Books, 1998.

GRAND, S.; CLIFF, D.; MALHOTRA, A. Creatures: artificial life autonomous software agents for home entertainment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS, 1, 1997. **Proceedings...** [S.l.]. New York: ACM Press, 1997.

GRATCH, J.; MARSELLA, S. Tears and Fears: Modeling Emotions and Emotional Behaviors in Synthetic Agents, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS, 5, 2001, Montreal. **Proceedings...** New York: ACM, 2001.

GUYTON, A.; HALL, J. **Textbook of Medical Physiology**. Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1998.

HAREL, D. A Grand Challenge for Computing: Full Reactive Modeling of a Multi-Cellular Animal In: UK WORKSHOP ON GRAND CHALLENGES IN COMPUTING RESEARCH, 2002. **Papers**. [S.l.: s.n], 2002.

HERNÁNDEZ, D.; DÉNIZ, O.; LORENZO, J.; HERNÁNDEZ, M. BDIE: a BDI like Architecture with Emotional Capabilities. In: ARCHITECTURES FOR MODELING EMOTIONS: CROSS-DISCIPLINARY FOUNDATIONS, AAAI SPRING SYMPOSIUM, 2004. **Papers**. Menlo Park, CA: AAAI, 2004.

HUDLICKA, E. Two Sides of Appraisal: Implementing Appraisal and Its Consequences within a Cognitive Architecture. In: ARCHITECTURES FOR MODELING EMOTIONS: CROSS-DISCIPLINARY FOUNDATIONS, AAAI SPRING SYMPOSIUM, 2004. **Papers**. Menlo Park, CA: AAAI, 2004.

JENNINGS, N.; SYCARA, K.; WOOLDRIDGE, M. A road map of agents research and development. In: Autonomous Agents and Multiagents Systems, cap.1, pág.7-38. Dordrecht, Holanda, Kluwer Academic Publisher, 1998.

KAPOOR, A.; MOTA, S.; PICARD, R. Towards a Learning Companion that Recognizes Affect. In: PROCEEDINGS OF EMOTIONAL AND INTELLIGENT II: THE TANGLED KNOT OF SOCIAL COGNITION, AAAI FALL SYMPOSIUM, 2001. **Papers**. [S.l.]: AAAI, 2001.

LEDOUX, J. **O cérebro emocional: os misteriosos alicerces da vida emocional**. Rio de Janeiro: Objetiva, 1998.

LENT, R. **Cem Bilhões de Neurônios: conceitos fundamentais de neurociência**. São Paulo: Atheneu, 2001.

MACHADO, A. **Neuroanatomia Funcional**. Atheneu, 1986.

MATURANA, H.; VARELA, F. **De máquinas e seres vivos: autopoiese – a organização do vivo**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

MCCORDUCK, P. **Machines Who Think**. San Francisco: W. H. Freeman, 1979.

MENDAO, M. Hormonally Moderated Neural Control. In: ARCHITECTURES FOR MODELING EMOTIONS: CROSS-DISCIPLINARY FOUNDATIONS, AAAI SPRING SYMPOSIUM, 2004. **Papers**. Menlo Park, CA: AAAI, 2004.

MOLL, J.; OLIVEIRA-SOUSA, R.; ESLINGER, P. *Morals and the Human Brain: a Working Model*. **NeuroReport**, [S.l.], n.14, p.299-305, 2003.

NERB, J. *From Desire Coherence and Belief Coherence to Emotions: A Constraint Satisfaction Model*. In: ARCHITECTURES FOR MODELING EMOTIONS: CROSS-DISCIPLINARY FOUNDATIONS, AAAI SPRING SYMPOSIUM, 2004. **Papers**. Menlo Park, CA: AAAI, 2004.

ORTONY, A.; CLORE, G.; COLLINS, A. **The cognitive structure of emotions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

PEROTTO, F. **O que é Inteligência Artificial**: traços preliminares para uma nova resposta. 2001. 77f. Projeto de Diplomação (Bacharelado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.

PICARD, R. **Affective Computing**. Cambridge: MIT Press, 1997.

PICARD, R. *Towards Computers that Recognize and Respond to User Emotions*. **IBM Systems Journal**, New York, v.39, p.705-719, 2001.

REEKE, G.; SPORNS, O.; EDELMAN, G. *Synthetic Neural Modeling: The “Darwin” Series of Recognition Automata*. In **Proceedings of the IEEE**, New York, v.78, n.9, 1990.

SCHEUTZ, M. *How to Determine the Utility of Emotions*. In: ARCHITECTURES FOR MODELING EMOTIONS: CROSS-DISCIPLINARY FOUNDATIONS, AAAI SPRING SYMPOSIUM, 2004. **Papers**. Menlo Park, CA: AAAI, 2004.

SEARLE, J. **Intencionalidade**. São Paulo: Martins Fontes, 1980.

SEARLE, J. **Redescoberta da Mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1992.

SENGERS, P. *Do the Thing Right: an architecture for action-expression*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMOUS AGENTS, 2, 1998. **Proceedings...** [S.l.]. New York: ACM Press, 1998.

SESAM. **Multi-Agent Simlation Environment**. Disponível em: <www.simsesam.de>. Acesso em: maio 2004.

SIMON, H.; KAPLAN, C. *Foundations of Cognitive Science*. In: POSNER, M. (Ed.), **Foundations of Cognitive Science**. [S.l.]: MIT Press, 1989. p.1-47.

SLOMAN, A. *Architectural requirements for human-like agents both natural and artificial*. In: DAUTENHAHN, K. (Ed.). **Human cognition and social agent technology**. Amsterdam: John Benjamin's Publishing Company, 1998. p.177-198. (Advances in consciousness research, 19).

SLOMAN, A. *Beyond Shallow Models of Emotion*. **Cognitive Processing**, [S.l.]: v.2, n.1, p.177-198, 2001.

SLOMAN, A. What Are Emotions Theories About? In: ARCHITECTURES FOR MODELING EMOTIONS: CROSS-DISCIPLINARY FOUNDATIONS, AAAI SPRING SYMPOSIUM, 2004. **Papers**. Menlo Park, CA: AAAI, 2004.

SMITH, C.; KIRBY, L. Consequences Require Antecedents: Toward a process model of emotion elicitation. In: FORGAS, J. (Ed.). **Feeling and Thinking: The Role of Affect in Social Cognition**. New York: Cambridge University Press, 2001. p.83-106.

SMITH, C. A Functional Perspective on Emotion Elicitation: Some Considerations for the Development of Emotional Architectures. In: ARCHITECTURES FOR MODELING EMOTIONS: CROSS-DISCIPLINARY FOUNDATIONS, AAAI SPRING SYMPOSIUM, 2004. **Papers**. Menlo Park, CA: AAAI, 2004.

DE SOUSA, R. **Stanford Encyclopedia of Philosophy**: Emotions. Disponível em: <<http://plato.stanford.edu/entries/emotion>>. Acesso em: março 2003.

STEELS, L. Cooperation between distributed agents through self organization. IN DEMAZEAU, Y.; MÜLLER, J. (Ed.). **Decentralized AI: Proceedings of the First European Workshop on Modeling Autonomous Agents in a Multi-Agent World**. [S.l.]: Elsevier Science Publishers, 1990.

TURING, A. Computing Machinery and Intelligence. **Mind**, [S.l.], n.59, p.433-460, 1950.

VELÁSQUEZ, J. Modeling Emotions and Other Motivations in Synthetic Agents. In: INNOVATIVE APPLICATIONS OF AI, 14., 1997. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1997.

VELÁSQUEZ, J. Modeling Emotion-Based Decision-Making. In: EMOTIONAL AND INTELLIGENT: THE TANGLE KNOT OF COGNITION, AAAI FALL SYMPOSIUM, **Papers**. Menlo Park, CA: AAAI, 1998.

VENTURA, R.; PINTO-FERREIRA, C. Generating and Refining Casual Models for an Emotion-based Agent. In: ARCHITECTURES FOR MODELING EMOTIONS: CROSS-DISCIPLINARY FOUNDATIONS, AAAI SPRING SYMPOSIUM, 2004. **Papers**. Menlo Park, CA: AAAI, 2004.

WEINZENBAUM, J. ELIZA: A Computer Program for the Study of Natural Language Communication Between Man and Machine. **Communications of the AMC**, New York, v.26, n.1, 1966.