



Universidade de Brasília – UnB
Faculdade de Educação – FE
Programa de Pós-graduação em Educação
Mestrado em Educação

**Modelos Tridimensionais em Biologia e Aprendizagem Significativa na
Educação de Jovens e Adultos (EJA) no Ensino Médio**

Frederico Coelho Krause

Brasília-DF

Abril 2012



Universidade de Brasília

Frederico Coelho Krause

Modelos Tridimensionais em Biologia e Aprendizagem Significativa na Educação de Jovens e Adultos (EJA) no Ensino Médio

Dissertação apresentada à Faculdade de Educação (FE) da Universidade de Brasília (UnB), como requisito para obtenção do título de Mestre em Educação pela Universidade de Brasília na área de concentração Educação e Comunicação, sob orientação do Prof. Dr. Lúcio França Teles.

Brasília-DF

Abril 2012

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília. Acervo 999620.

K91m Krause, Frederico Coelho.
Modelos tridimensionais em biologia e aprendizagem significativa na Educação de Jovens e Adultos (EJA) no Ensino Médio / Frederico Coelho Krause. -- 2012. xiii, 186 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Educação, 2012.
Inclui bibliografia.
Orientação: Lúcio França Teles.

1. Educação de adultos. 2. Educação do adolescente. 3. Livros didáticos - Imagem tridimensional. 4. Aprendizagem - Biologia. 5. Material didático. I. Teles, Lúcio França. II. Título.

CDU 37.04-053.6/.8



Universidade de Brasília

Frederico Coelho Krause

Modelos Tridimensionais em Biologia e Aprendizagem Significativa na Educação de Jovens e Adultos (EJA) no Ensino Médio

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Lúcio França Teles
Universidade de Brasília - Faculdade de Educação
Orientador

Prof^a. Dr^a. Maria Helena da Silva Carneiro
Universidade de Brasília - Faculdade de Educação
Examinadora

Prof^a. Dr^a. Maria Luiza Gastal
Universidade de Brasília - Instituto de Ciências Biológicas
Examinadora externa

Prof. Dr. Renato Hilário
Universidade de Brasília – Faculdade de Educação
Examinador suplente

RESUMO

As imagens bidimensionais (2D) do livro didático têm se mostrado insuficientes para promover a *aprendizagem significativa*. Tendo isso em vista, propomos uma abordagem baseada no uso conjunto de modelos tridimensionais reais (3DR) e virtuais (3DV), por permitirem, respectivamente: a percepção direta multi-sensorial de símbolos, e a visualização de processos dinâmicos. Nosso objetivo foi investigar quais características desses modelos, e de seu uso concomitante, permitem ou não, a alunos de ensino médio na modalidade EJA do Centro de Ensino Médio 3(CEM3) - Ceilândia, construir representações mentais mais consistentes com os modelos científicos. Com esse intuito, desenvolvemos um modelo 3DV do sistema digestório e uma interface interativa que o conectasse ao 3DR. Em seguida, fizemos um estudo comparativo das representações mentais de oito alunos, antes e após as atividades em sala. Utilizamos como técnica e instrumentos de pesquisa a observação participante, representações pictóricas e entrevistas individuais, registradas em áudio e vídeo. A análise das representações prévias indicou grande ocorrência de imagens mentais e representações proposicionais para os órgãos do sistema digestório, que incluíam: trajetórias distintas para alimentos sólidos e líquidos, ordem invertida para estômago e intestinos, fígado e vesícula biliar como partes do trato digestório, dentre outras inconsistências. Após as atividades, observamos mudanças significativas tanto no que diz respeito aos tipos de representação utilizados, com maior ocorrência de modelos mentais, como quanto à correlação com o modelo científico do trato digestório e seus órgãos anexos, que foi superior para a maioria dos aspectos. As características que mais influenciaram as representações mentais dos alunos foram: *indicação de volume e sobreposição de elementos, fragmentação de um mesmo órgão, e indicação discreta de conexões entre órgãos*, predominantes no Modelo 3DR; *enquadramento da cena e mudanças de ângulo de câmera, uso de transparência, velocidade da animação e volume de partículas, e movimento não relacionado ao fenômeno representado*, específicas do Modelo 3DV; *seqüência e controle de animações, atribuição e controle de ações a partir do Modelo 3DR, e correlação entre elementos dos modelos*, específicas do uso concomitante; *aumento da motivação, possibilidade de utilização em grupo, e níveis de complexidade e interpretação*, comuns a todos. Nossos resultados apontam para as potencialidades dos modelos 3DR e 3DV como auxílio no processo de aprendizagem significativa, desde que seu planejamento e elaboração seja criterioso e reflita sua forma de utilização, isolada ou concomitante.

Palavras-chave: Aprendizagem Significativa; Modelos Mentais; Representações Mentais; Modelos Tridimensionais; Educação de Jovens e Adultos.

ABSTRACT

Two-dimensional images (2D) of text books have shown to be insufficient to promote *meaningful learning*. We propose an approach based on the combined use of real and virtual three-dimensional models (3DR and 3DV), which promote, respectively: direct multi-sensory perception of symbols, and visualization of dynamic processes. Our goal was to study which characteristics of these models, and their simultaneous use, favored or not, the construction of mental models consistent with the scientific model, by high school students in youths' and adults' education. With that purpose, we have developed a 3DV model of the digestive system and an interactive interface to connect it to the 3DR model. Following that, we have conducted a comparative study of the mental representations of eight students, before and after classroom activities. Participant observation, pictorial representations and interviews, recorded in audio and video, were used to record data. The analysis of previous mental representations indicated the occurrence of mental images and propositional representations for digestive system's organs, which included: distinct paths for solid and liquid food, inverted order of stomach and intestines, liver and gallbladder as part of the digestive tract, among other inconsistencies. After the activities, we have noticed significant changes in types of representations, with greater occurrence of mental models, as well as in their correlation to scientific models, which was higher for the majority of aspects. The characteristics which have influenced the most their mental representations were: *volume indication and overlapping elements, fragmentation of a single organ, and discrete indication of connections among organs*, predominant in the 3DR Model; *framing the scene and changing camera viewpoints, use of transparency, speed of animation and particles volume, and non-related movement to the represented phenomenon*, specific of the 3DV Model; *sequence and control of animation, attribution and control of actions from the 3DR Model, and correlation among models elements*, specific of the simultaneous use; *increase of motivation, possibility of group usage, and levels of complexity and interpretation*, common to all. Our results indicate that 3DR and 3DV models are potentially useful in the process of meaningful learning, as long as their planning and elaboration be judicious and reflect its form of utilization, separate or simultaneous.

Keywords: Meaningful Learning; Mental Models; Mental Representations; Three-Dimensional Models; Youths' and Adults' Educations.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Espaço-design.....	24
FIGURA 2 - Modelo anatômico humano confeccionado em resina plástica	30
FIGURA 3 - Imagens obtidas no programa de criação e edição de imagens Photoshop versão CS4, a partir de um caminho criado com a ferramenta vetorial linha (line tool)..	39
FIGURA 4 - Detalhes do modelo 3DR.....	64
FIGURA 5 - Imagens do <i>Visible Human Project</i> (VHP) e <i>Server</i>	67
FIGURA 6 - Etapa de modelagem no Maya 2009.....	68
FIGURA 7 - Modelos 3DV de órgãos do sistema digestório no software Maya 2009, após aplicadas as respectivas texturas	69
FIGURA 8 - Sequência de imagens de vídeo do pâncreas.....	71
FIGURA 9 - Interface física	73
FIGURA 10 - Posicionamento dos botões e aplicação dos modelos.....	78
FIGURA 11 - Disposição utilizada para a segunda etapa da entrevista final.....	80
FIGURA 12 - Desenho 1 - Alexandra	82
FIGURA 13 - Desenho 1 - Carlos	83
FIGURA 14 - Desenho 1 - Fernando.....	85
FIGURA 15 - Desenho 1 - Raissa	86
FIGURA 16 - Desenho 1 - Ricardo	87
FIGURA 17 - Desenho 1 - Simone.....	88
FIGURA 18 - Desenho 1 - Sofia	89
FIGURA 19 - Desenho 1 - Tereza	90
FIGURA 20 - Desenho 2 - Alexandra	122
FIGURA 21 - Desenho 2 - Carlos	123
FIGURA 22 - Desenho 2 - Fernando.....	125
FIGURA 23 - Desenho 2 - Raissa	126
FIGURA 24 - Desenho 2 - Ricardo	128
FIGURA 25 - Desenho 2 - Simone.....	129
FIGURA 26 - Desenho 2 - Sofia	130
FIGURA 27 - Desenho 2 - Tereza	131

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Tipos de representações mentais iniciais utilizadas para explicar o sistema digestório (Alexandra, Carlos, Fernando e Raissa)	92
QUADRO 2 - Tipos de representações mentais iniciais utilizadas para explicar o sistema digestório (Ricardo, Simone, Sofia e Tereza).....	93
QUADRO 3 - Tipos de representações mentais finais utilizadas para explicar o sistema digestório (Alexandra, Carlos, Fernando e Raissa)	133
QUADRO 4 - Tipos de representações mentais finais utilizadas para explicar o sistema digestório (Ricardo, Simone, Sofia e Tereza).....	134

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

2D – Bidimensional

3D – Tridimensional

3DR – Tridimensional Real

3DV – Tridimensional Virtual

CEB – Câmara de Educação Básica

CEM3 – Centro de Ensino Médio 3 (Ceilândia)

CG – Computação Gráfica

CNE – Conselho Nacional de Educação

DF – Distrito Federal

EJA – Educação de Jovens e Adultos

EPFL – Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

LDBE – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

NLM – U. S. National Library of Medicine

VHP – Visible Human Project

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	ix
INTRODUÇÃO	14
1 REFERENCIAL TEÓRICO	19
1.1 A EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS (EJA) NO ENSINO MÉDIO.....	19
1.2 MODELOS E MODOS DE REPRESENTAÇÃO	21
1.2.1 Modo verbal.....	25
1.2.2 Modo visual	26
1.2.3 Modo concreto	27
1.3 MODELOS TRIDIMENSIONAIS REAIS (3DR).....	28
1.3.1 Modelos 3DR e o ensino de biologia.....	28
1.3.2 Modelo 3DR utilizado no estudo	29
1.4 MODELOS TRIDIMENSIONAIS VIRTUAIS (3DV).....	31
1.4.1 Traduzindo a realidade tridimensional em representação artística.....	32
1.4.2 O sentido da visão e a interpretação de imagens como cenas tridimensionais.....	33
1.4.3 Como softwares de computação gráfica simulam a tridimensionalidade.....	37
1.4.4 Modelos 3DV e o ensino de biologia.....	40
1.5 CRIANDO MODELOS 3DV E ANIMAÇÕES	41
1.5.1 Softwares disponíveis para criação de modelos 3DV e animações.	41
1.5.2 Etapas envolvidas na criação de modelos 3DV	42
1.6 MODELOS E OUTRAS REPRESENTAÇÕES MENTAIS (JOHNSON-LAIRD)..	43
1.7 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	45
1.8 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, MODELOS MENTAIS E O ENSINO DE CIÊNCIAS	49
1.8.1 Modelos de ensino em ciências: algumas limitações.....	51
1.9 O SISTEMA DIGESTÓRIO	52
1.9.1 Sistema digestório e concepções dos alunos.....	53

2 OBJETIVOS	55
2.1 OBJETIVO GERAL	55
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	55
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	56
3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA	56
3.2 TÉCNICA E INSTRUMENTOS UTILIZADOS	57
3.2.1 Observação participante.....	57
3.2.2 Representações pictóricas	58
3.2.3 Entrevistas individuais	59
3.3 DESCRIÇÃO DO CONTEXTO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	60
3.4 ETAPAS ANTERIORES À PESQUISA	62
3.4.1 Avaliação preliminar do Modelo 3DR da escola.....	62
3.4.2 Criação dos modelos 3DV	65
3.4.3 Criação da interface interativa	72
3.5 ETAPAS DA PESQUISA	74
3.5.1 Diagnóstico dos subsunçores disponíveis na estrutura cognitiva dos alunos	74
3.5.2 Planejamento da instrução	76
3.5.3 Atividades em sala com uso dos modelos	77
3.5.4 Avaliação dos resultados	79
4 REPRESENTAÇÕES MENTAIS PRÉVIAS DOS ALUNOS SOBRE O SISTEMA DIGESTÓRIO	81
4.1 APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS DESENHOS INICIAIS	81
4.1.1 Alexandra, 2º H - Desenho 1	81
4.1.2 Carlos, 2º H - Desenho 1	82
4.1.3 Fernando, 2º H - Desenho 1	84
4.1.4 Raissa, 2º H - Desenho 1	84
4.1.5 Ricardo, 2º H - Desenho 1	85
4.1.6 Simone, 2º H - Desenho 1	87
4.1.7 Sofia, 2º H - Desenho 1	89
4.1.8 Tereza, 2º G - Desenho 1	90
4.2 ANÁLISE DOS DESENHOS E ENTREVISTAS INICIAIS	91
4.2.1 Faringe, laringe e esôfago	91
4.2.2 Estômago	101
4.2.3 Intestinos (delgado e grosso).	108
4.2.4 Fígado, pâncreas e vesícula biliar	113

4.2.5 Glândulas salivares	117
5 REPRESENTAÇÕES MENTAIS DOS ALUNOS SOBRE O SISTEMA DIGESTÓRIO APÓS AS ATIVIDADES EM SALA.....	121
5.1 APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS DESENHOS FINAIS.....	121
5.1.1 Alexandra, 2º H - Desenho 2	121
5.1.2 Carlos, 2º H - Desenho 2	123
5.1.3 Fernando, 2º H - Desenho 2.....	124
5.1.4 Raissa, 2º H - Desenho 2	125
5.1.5 Ricardo, 2º H - Desenho 2	127
5.1.6 Simone, 2º H - Desenho 2.....	127
5.1.7 Sofia, 2º H - Desenho 2	129
5.1.8 Tereza, 2º G - Desenho 2.....	130
5.2 ANÁLISE DOS DESENHOS E ENTREVISTAS FINAIS	132
5.2.1 Faringe, laringe e esôfago.....	135
5.2.2 Estômago	141
5.2.3 Intestinos (delgado e grosso)	143
5.2.4 Fígado, pâncreas e vesícula biliar.....	148
5.2.5 Glândulas salivares.	153
6 CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS 3D E SUAS RELAÇÕES COM AS REPRESENTAÇÕES MENTAIS DOS ALUNOS	155
6.1 PREDOMINANTES NO MODELO 3DR	156
6.1.1 Indicação de volume e sobreposição de elementos	156
6.1.2 Fragmentação de um mesmo órgão	159
6.1.3 Indicação discreta de conexões entre órgãos	160
6.2 ESPECÍFICAS DO MODELO 3DV	161
6.2.1 Enquadramento da cena e mudanças de ângulo de câmera	162
6.2.2 Uso de transparência.....	162
6.2.3 Velocidade da animação e volume de partículas	163
6.2.4 Movimento não relacionado ao fenômeno representado	163
6.3 ESPECÍFICAS DO USO CONCOMITANTE DE MODELOS 3DR E 3DV.....	164
6.3.1 Sequência e controle das animações.....	164
6.3.2 Atribuição e controle de ações a partir do Modelo 3DR	165
6.3.3 Correlação entre elementos dos modelos.....	166
6.4 COMUNS A MODELOS 3DR E 3DV	168
6.4.1 Aumento da motivação	168
6.4.2 Possibilidade de utilização em grupo.....	170

6.4.3 Níveis de complexidade e interpretação	171
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	172
REFERÊNCIAS	174
APÊNDICE A - MAPA CONCEITUAL SISTEMA DIGESTÓRIO	179
APÊNDICE B - LOCALIZAÇÃO DE REGIÕES NO PRÓPRIO CORPO 1.....	180
APÊNDICE C - LOCALIZAÇÃO DE REGIÕES NO PRÓPRIO CORPO 2	183
ANEXO A - SÍMBOLOS USADOS NA TRANSCRIÇÃO DE TRECHOS DAS ENTREVISTAS E DIÁLOGOS	186

INTRODUÇÃO

As ciências, e em especial o ensino de ciências, se baseiam em grande parte na elaboração e apresentação de modelos, classificados de acordo com seu status ontológico em - *mentais; expressos; consensuais; científicos; históricos; curriculares; de ensino; híbridos; e pedagógicos*. Modelos expressos podem ser entendidos como aqueles acessíveis a outros indivíduos por meio de um ou mais modos de representação - concreto, verbal, matemático, visual, e gestual - e possuem correlação com os modelos mentais (particulares e pessoais) dos indivíduos que os representam (GILBERT; BOULTER; ELMER, 2000). Incluem aqueles externados por texto, discurso falado, desenhos, protótipos, e imagens bi (2D) e tridimensionais (3D) geradas por computação gráfica (CG). Podem ser utilizados com duas finalidades distintas e intimamente ligadas: (a) acessar de forma indireta as representações mentais (modelos mentais, representações proposicionais e imagens) dos estudantes - analisando os modelos expressos produzidos por eles; e (b) influenciar a formação dessas representações - com *modelos de ensino* - para que sejam consistentes com os modelos científicos atuais, promovendo a aprendizagem significativa (AUSUBEL, 2000).

Desde a propositura da teoria dos modelos mentais por Johnson-Laird (1983), diversas investigações no ensino de ciências têm sido conduzidas a partir desse referencial, com vistas a lançar luz sobre o processo de ensino-aprendizagem de conhecimentos científicos e seus instrumentos. Nessa linha de pesquisa encontramos trabalhos abrangendo alunos do nível fundamental ao pós-universitário, sobre uma variedade de temas, dentre os quais: formato da terra - ensino fundamental (VOSNIADOU, 1992); biologia molecular - ensino médio (TAUCEDA; DEL PINO, 2010); biologia celular - pré-universitário (PALMERO, 2003; PALMERO; ACOSTA; MOREIRA, 2001); mecânica clássica - universitário (MOREIRA; LAGRECA, 1998); e eletromagnetismo - universitário (MOREIRA; KREY, 2006) e pós-universitário (GRECA; MOREIRA, 1996). Não foram encontrados estudos que abordassem a Educação de Jovens e Adultos (EJA) a partir desse referencial, constituindo este, portanto, um campo de investigação pouco explorado, que pode fornecer informação aos educadores sobre: as representações mentais desse público; como os materiais didáticos as influenciam; bem como sobre as metodologias mais adequadas para estudá-las.

De acordo com David Ausubel (*op. cit.*) para que ocorra uma *aprendizagem significativa*, o sujeito deve relacionar o material novo, potencialmente significativo, a idéias relevantes em sua estrutura cognitiva, que funcionam como "âncoras" para os novos conhecimentos - os

chamados *subsunçores*¹. Esse é um processo complexo, que resulta em modificações de ambas informação recente e idéias prévias, requerendo um conjunto de elementos capazes de predispor o aluno à aprendizagem significativa (*meaningful learning set*).

A teoria de Johnson-Laird oferece uma explicação para esse processo: o sujeito constrói modelos mentais - primeiro passo para uma aprendizagem significativa - e de forma recursiva os modifica, tantas vezes quanto necessário. O papel dos subsunçores aqui é fundamental, uma vez que os modelos mentais são construídos a partir de elementos da estrutura cognitiva do sujeito e daquilo que ele percebe da situação (MOREIRA, 2006).

O planejamento do ensino deve partir, portanto, das idéias prévias dos alunos, que podem ser consistentes com os *modelos científicos* (consensuais e utilizados nas fronteiras da ciência), ou não. Estas idéias podem direcionar a atuação do professor para certos assuntos, aumentando a relevância do tema para o aluno, que se vê incluído no processo de construção do conhecimento, favorecendo o trabalho coletivo em sala de aula (OLIVEIRA, 2005).

Diferentes metodologias têm sido utilizadas para acessar, de forma indireta, as representações mentais de alunos e professores no ensino de ciências, antes e/ou depois das atividades em sala. Nos estudos citados anteriormente, foram utilizados um ou mais instrumentos de coleta de dados, combinados nas formas de: desenhos (TAUCEDA; DEL PINO, 2010); desenhos e entrevistas (VOSNIADOU, 1992); questionários em grupo e observações de campo (MOREIRA; KREY, 2006); testes, entrevistas e observações de campo (GRECA; MOREIRA, 1996); desenhos, entrevistas e observações de campo, testes, e mapas conceituais (MOREIRA; LAGRECA, 1998); desenhos, entrevistas, testes, mapas conceituais, questionários individuais e interpretação de um similar de célula (PALMERO, 2003; PALMERO; ACOSTA; MOREIRA, 2001). Em nosso estudo, demos especial atenção à utilização de desenhos - devido à liberdade que oferecem para expressão de idéias - associados a entrevistas individuais e observação participante.

Quanto aos recursos didáticos utilizados no ensino de biologia, Palmero (*op. cit.*), e Tauceda e Del Pino (*op. cit.*) concluíram que o livro - e em particular as imagens nele contidas - foram entraves à construção de modelos mentais pelos alunos. Dentre os fatores destacados para seu insucesso estão: grande abstração dos símbolos utilizados; falta de um enfoque funcional; e descontextualização e fragmentação das estruturas representadas.

Essas observações indicam que as imagens do livro podem não estar atendendo aos requisitos necessários para que um material seja potencialmente significativo: possuir um

¹ *Subsumers* no original (AUSUBEL, 2000).

significado lógico - relação não-arbitrária e não-literal com qualquer estrutura cognitiva relevante e apropriada; e se relacionar a *idéias-âncora* na estrutura cognitiva do indivíduo (AUSUBEL, 2000). Quando não há compreensão dos símbolos utilizados no ensino devido a sua grande abstração, não é possível significá-los logicamente. A falta de um enfoque funcional, e a descontextualização e fragmentação das estruturas representadas, por sua vez, dificultam o entendimento de sua relevância para o sujeito, não favorecendo correlações com as idéias âncora - *subsunçores* - do aluno.

Os estudantes têm dificuldade em correlacionar estruturas e funções, tanto em escala microscópica quanto em escala macroscópica. Em biologia celular, os alunos apresentam dificuldade para visualizar a célula em três dimensões, localizar organelas e associá-las a suas funções, o que pode ser agravado pela falta de materiais didáticos adequados - figuras bidimensionais do livro-didático (OLIVEIRA, 2005). No estudo de anatomia, por sua vez, os alunos dependem em muito de suas imaginações para compreender as relações espaciais entre as estruturas, uma vez que os atlas estão limitados ao espaço 2D (EL-KHALILI, 2005).

Este fato pode estar contribuindo para que conceitos divergentes do modelo científico, em anatomia e fisiologia do sistema digestório (na divisão clássica dos organismos em sistemas), persistam ao longo da vida acadêmica. Dentre as incongruências mais significativas e generalizadas observadas em indivíduos do ensino fundamental ao superior estão aquelas relacionadas aos: órgãos constituintes do sistema digestório; ordem e posição relativa dos mesmos; locais de ocorrência de secreções enzimáticas do fígado e pâncreas; e relações com o sistema excretor (BANET; NUÑEZ, 1988).

O assunto assume grande relevância considerando-se sua relação com a nutrição e os distúrbios a ela relacionados, como obesidade, que pode vir acompanhada de hipertensão arterial, doença cardíaca, osteoartrite, diabetes tipo 2 e alguns tipos de câncer (ABRANTES; LAMOUNIER; COLOSIMO, 2002). Em visita inicial ao Centro de Ensino Médio 3 (CEM3) - Ceilândia, e em conversa com Rômulo, professor de biologia das turmas com as quais realizamos nossa pesquisa, verificamos que este era um dos temas ao qual se atribuída especial importância no segundo ano. Elegemos, por conseguinte, o sistema digestório como principal tema abordado neste estudo.

Acreditamos que modelos tridimensionais reais (3DR), como bonecos anatômicos e protótipos, por permitirem a percepção direta multi-sensorial de símbolos aliada à sua possibilidade de utilização colaborativa e interativa (MAUREL; BERTACCHINI, 2008), podem ser aliados importantes na compreensão, sobretudo, da anatomia do sistema digestório.

Utilizamos em nosso estudo o modelo anatômico do qual o CEM3 dispunha, que incluía os principais órgãos do sistema digestório.

Para o estudo da fisiologia, contudo, modelos estáticos como o citado são particularmente problemáticos dada a dinamicidade dos processos a ela relacionados, necessitando do professor a exposição verbal de idéias de forma muito bem articulada, e do aluno grande capacidade de entendimento e abstração.

Modelos tridimensionais virtuais (3DV) gerados por computação gráfica (CG) expressos em modo visual podem contribuir nesse sentido e têm sido utilizados com resultados positivos no ensino de anatomia, morfologia e fisiologia (EL-KHALILI, 2005; MONTEIRO *et. al.*, 2006; NICHOLSON *et. al.*, 2006). Como uma abordagem baseada nesses modelos possibilita a construção de modelos mentais pelos alunos, contudo, é pouco descrita na literatura, constituindo objeto de investigação para a educação, a psicologia cognitiva, e o desenvolvimento de *softwares* educativos.

É certo que a comunicação visual também está sujeita a dificuldades de transmissão de significados, porém, nos parece razoável que, ao menos para alguns aspectos visuais da realidade tridimensional, este tipo de comunicação seja mais eficiente que a verbal. Propomos, portanto, a utilização concomitante de modelos 3DR e 3DV por meio de uma interface com botões instalados no primeiro que remetam ao segundo, desenvolvida a partir da reconfiguração de um dispositivo de entrada padrão - teclado de computador.

Levantamos a possibilidade de que a utilização de uma abordagem diferenciada - com modelos 3DR e 3DV - tenha uma influência positiva no fator motivacional, aumentando a *pré-disposição do sujeito para aprender*, que, segundo Moreira (2006), é um dos principais fatores limitantes para uma aprendizagem significativa.

O autor suscita algumas questões pertinentes para nossa discussão sobre a mediação do computador na aprendizagem significativa, a serem respondidas com o apoio de futuras pesquisas (*ibid.*, p.11):

Serão então diferentes as representações mentais que estarão sendo construídas pelo aluno? Será estimulada a aprendizagem significativa? Haverá mais aprendizagem mecânica, visto que muito da interação do aluno, ou de qualquer pessoa, com o computador é do tipo ensaio-e erro?

O objetivo do presente trabalho foi investigar quais características do uso concomitante de modelos tridimensionais reais (3DR) e virtuais (3DV) gerados por computação gráfica (CG), de anatomia e fisiologia do sistema digestório, permitem ou não, aos alunos de ensino

médio na modalidade EJA, construírem representações mentais mais consistentes com os modelos científicos.

Com esse intuito, desenvolvemos um modelo 3DV do sistema digestório humano e uma interface que o remetesse ao modelo 3DR do CEM3. Após um estudo das representações mentais prévias dos alunos - baseado em suas representações pictóricas sobre o tema e entrevistas individuais - o modelo 3DV foi modificado e aplicado conjuntamente com o modelo 3DR em duas turmas do segundo ano dessa escola.

A aplicação dos modelos se deu dentro do contexto da disciplina de Biologia. Ao final das atividades em sala, estudamos as representações mentais dos alunos com metodologia semelhante à utilizada na fase inicial da pesquisa, acrescentando uma segunda entrevista individual com foco na utilização dos modelos. Os resultados foram comparados àqueles obtidos inicialmente, bem como às observações feitas ao longo da pesquisa.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Fundamentamos nossa pesquisa na *Educação de Jovens e Adultos*; nos *Modelos Tridimensionais Reais e Virtuais*, e seus modos de representação; na *Teoria dos Modelos Mentais* de Johnson-Laird (1983); e na *Aprendizagem Significativa* de Ausubel (2000). Nosso intuito neste capítulo é apresentar e discutir as bases conceituais que nortearam nossa investigação.

1.1 A EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS (EJA) NO ENSINO MÉDIO

De acordo com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBE), lei nº 9394/96, seção V, que trata da Educação de Jovens e Adultos, art. 37 (BRASIL, 1996):

A educação de jovens e adultos será destinada àqueles que não tiveram acesso ou continuidade de estudos no ensino fundamental e médio na idade própria.

§ 1º. Os sistemas de ensino assegurarão gratuitamente aos jovens e aos adultos, que não puderam efetuar os estudos na idade regular, oportunidades educacionais apropriadas, consideradas as características do alunado, seus interesses, condições de vida e de trabalho, mediante cursos e exames.

A EJA se destina, portanto, àqueles que não concluíram o ensino fundamental e médio em idade própria tendo, no caso deste último, a maioria como pré-requisito de acordo com a resolução CNE/CEB nº 3, de 15 de Junho de 2010. Esta resolução estabelece as Diretrizes Operacionais para a Educação de Jovens e Adultos nos aspectos relativos à duração dos cursos e idade mínima para ingresso nos cursos de EJA; idade mínima e certificação nos exames de EJA; e Educação de Jovens e Adultos desenvolvida por meio da Educação a Distância (*id.*, 2010). De acordo com o Art. 6º da referida resolução:

Observado o disposto no artigo 4º, inciso VII, da Lei nº 9.394/96, a idade mínima para matrícula em cursos de EJA de Ensino Médio e inscrição e realização de exames de conclusão de EJA do Ensino Médio é 18 (dezoito) anos completos.

A especificidade desse público é reconhecida pela resolução CNE/CEB nº 1, de 5 de Julho de 2000, que estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação de Jovens e Adultos (*id.*, 2000), em seu Art. 5, que trata dos componentes curriculares:

Parágrafo único. Como modalidade destas etapas da Educação Básica, a identidade própria da Educação de Jovens e Adultos considerará as situações, os perfis dos estudantes, as faixas etárias e se pautará pelos princípios de equidade, diferença e proporcionalidade na apropriação e contextualização das diretrizes curriculares nacionais e na proposição de um modelo pedagógico próprio, de modo a assegurar:

I - quanto à equidade, a distribuição específica dos componentes curriculares a fim de propiciar um patamar igualitário de formação e restabelecer a igualdade de direitos e de oportunidades face ao direito à educação;

II- quanto à diferença, a identificação e o reconhecimento da alteridade própria e inseparável dos jovens e dos adultos em seu processo formativo, da valorização do mérito de cada qual e do desenvolvimento de seus conhecimentos e valores;

III - quanto à proporcionalidade, a disposição e alocação adequadas dos componentes curriculares face às necessidades próprias da Educação de Jovens e Adultos com espaços e tempos nos quais as práticas pedagógicas assegurem aos seus estudantes identidade formativa comum aos demais participantes da escolarização básica.

Para que possam aplicar os conhecimentos da Biologia em sua vida cotidiana, é necessário que formem modelos mentais consistentes com a realidade. O material didático deve, portanto, favorecer a construção desses modelos com vistas a uma aprendizagem significativa, que em muito depende dos conhecimentos prévios dos estudantes. Essa necessidade é reconhecida pela resolução CNE/CEB nº 2/12, que estabelece as diretrizes curriculares nacionais para o ensino médio, em seu Art. 16, inciso III, ao afirmar que o projeto político-pedagógico deve considerar "a aprendizagem como processo de apropriação significativa dos conhecimentos, superando a aprendizagem limitada à memorização" (*id.*, 2012)

Partimos do pressuposto de que os sujeitos em EJA, dada à sua maior trajetória de vida, possuem experiências prévias e conhecimentos distintos daqueles de uma criança ou adolescente. Essa diferença deve ser levada em consideração quando se pretende trabalhar algum assunto em biologia, particularmente aqueles relacionados ao corpo humano:

A visão de mundo de uma pessoa que retorna aos estudos depois de adulta, após um tempo afastada da escola, ou mesmo daquela que inicia sua trajetória escolar nessa fase da vida, é bastante peculiar. Protagonistas de histórias reais e ricos em experiências vividas, os alunos jovens e adultos configuram tipos humanos diversos. São homens e mulheres que chegam à escola com crenças e valores já constituídos [...] Os adultos possuem mais experiência que os adolescentes e podem ter acumulado uma maior quantidade de conhecimentos [...] (*id.*, 2006, p. 4-5).

Ao tratarmos de digestão e processos a ela relacionados, portanto, é fundamental estar ciente daquilo que nosso público conhece. Ao estudarmos as representações prévias dos alunos, buscamos compreender o modelo mental que estes têm do mundo, o que inclui conhecimentos formais e não-formais.

1.2 MODELOS E MODOS DE REPRESENTAÇÃO

O termo modelo tem sido utilizado em áreas diversas como a psicologia cognitiva, educação, filosofia, design gráfico, matemática, engenharia e biologia, recebendo definições distintas de acordo com o enfoque dado ao tema.

Gilbert e Boulter definem o termo baseados em acepções da palavra encontradas na literatura, como se segue (2000, p. vii, tradução nossa):

Um modelo tem sido considerado 'a representação de uma idéia, objeto, evento, processo, ou sistema'. Modelagem mental é definida como a atividade empreendida por indivíduos, seja sozinhos ou dentro de um grupo. Os resultados dessa atividade podem ser expressos no domínio público por meio da ação, discurso, escrita ou outra forma simbólica. Aqueles modelos expressos, como os definimos, que ganham aceitação social à medida que são testados pela comunidade de cientistas profissionais possuem papel central na condução tanto da pesquisa quanto do desenvolvimento, tornando-se modelos consensuais. Enquanto aqueles modelos consensuais que estão atualmente em uso nas fronteiras da ciência podem ser denominados modelos científicos, aqueles produzidos dentro de um contexto histórico específico podem ser chamados de modelos históricos. Modelos curriculares são aquelas versões de modelos consensuais que são incluídos no currículo de ciências. Modelos de ensino são aqueles desenvolvidos para auxiliar no entendimento de modelos curriculares e, portanto, o fenômeno que representam. Modelos híbridos são aqueles formados para propósitos de ensino, mesclando-se características de vários modelos consensuais

distintos em um campo de investigação. Um modelo de pedagogia é aquele utilizado por um professor no planejamento e provisão da educação científica nas salas de aula e laboratórios².

Em nosso estudo demos especial atenção aos conceitos de: *modelos mentais* - com ênfase na teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983), tratada em tópico específico; *modelos expressos* - não necessariamente consensuais; e *modelos consensuais* - incluindo os *científicos, curriculares, e de ensino*.

Justi (2010) - baseada nas idéias de Gilbert, Boulter e Elmer (2000) - discorre sobre aspectos característicos de um modelo, dentre eles: (a) um modelo é uma representação parcial, abstração, não necessariamente semelhante ao objeto, sistema ou idéia representada (b) modelos podem representar além de objetos (visualizados ou não no cotidiano), processos e idéias; (c) são construídos pela mente humana; (d) seus objetivos específicos podem incluir a simplificação de entidades complexas, facilitar a comunicação de idéias, e permitir a visualização de entidades abstratas; (e) podem ser modificados quando nosso conhecimento sobre a realidade é alterado, quando percebemos a inadequação de explicações e/ou previsões feitas a partir do modelo, ou quando novas formas de representação são disponibilizadas.

Modelos expressos, como o próprio nome sugere, são expressões de modelos mentais, embora essa relação seja complexa, uma vez que o ato de expressar um modelo mental altera o próprio modelo. Modos de representação são o meio pelo qual tais modelos são externados para o domínio público, sendo significativos os seguintes: *modo concreto* - uso de materiais físicos como metais e isopor; *modo verbal* - uso de analogias e metáforas no discurso; *modo matemático* - expressões matemáticas como equações; *modo visual* - uso de formas gráfico-pictóricas; e *modo gestual* - ações, como movimentos do corpo. A expressão *modelos simbólicos* inclui o visual, o verbal e o matemático (GILBERT; BOULTER; ELMER, *ibid.*).

Ao assinalarem uma categoria para formas gráfico-pictóricas de representação, os autores parecem priorizar modos que sensibilizam a visão, em detrimento dos demais sentidos. Tal fato é compreensível dada a importância da exploração visual em nossa espécie, refletida na

² "A model has been taken to be 'a representation of an idea, object, event, process, or system'. Mental modelling is defined as an activity undertaken by individuals, whether alone or within a group. The results of that activity can be expressed in the public domain through action, speech, writing or other symbolic form. Those expressed models, as we term them, which gain social acceptance following testing by the community of professional scientists play a central role in the conduct of both research and development, becoming consensus models. Whilst those consensus models which are currently in use at the frontiers of science may be termed scientific models, those produced in specific historical contexts may be called historical models. Curricular models are those versions of consensus models which are included in science curricula. Teaching models are those developed to assist in the understanding of curricular models and hence the phenomena that they represent. Hybrid models are those formed for teaching purposes by merging the characteristics of several distinct consensus models in a field of enquiry. A model of pedagogy is that used by a teacher in the planning and provision of science education in classrooms and laboratories" (GILBERT; BOULTER, 2000, p. vii).

aprendizagem, resolução de problemas, e inovação, o que explica porque comumente nos referimos a ela para expressar entendimento (SHARPE; LUMSDEN; WOOLRIDGE, 2008).

"O verbo visualizar possui dois significados: a evocação de uma imagem no olho da mente"³ (*ibid.*, p. 6, tradução nossa) - associada às *imagens mentais*, nos termos de Johnson-Laird (1983), descrita em capítulo posterior; "e - mais importante para a ciência - tornar visível ao olho"⁴ (*ibid.*, p. 6, tradução nossa). As visualizações variam de acordo com seu "nível de interpretação" e "nível de complexidade", que podem constituir os dois eixos de um "espaço-design" concebido, como na Figura 1A.

A expressão tornar "visível ao olho" não requer necessariamente que um fenômeno seja presenciado diretamente (alguns não sendo mesmo passíveis de serem diretamente visualizados), basta que sejam representados externamente sensibilizando a visão - o que abarca os modos: *verbal*, *visual*, *matemático* e *concreto*, em maior ou menor grau.

Com relação à audição, destacamos que embora o modo verbal possa sensibilizá-la por meio da fala, a representação nesse modo prioriza o texto e a simbologia das palavras. Uma representação sonora como a sirene de uma ambulância, por exemplo - que pode externar tanto aspectos simbólicos, indicando "atenção", quanto aspectos espaciais, como a distância da ambulância - não estaria contemplada no modo verbal.

Complementarmente a esse modo, sugerimos a concepção de um *modo sonoro*, que caracterizaria o uso de sons como forma de representação. Um exemplo ilustrativo desse modo de representação é as gravações que simulam o som ambiente de forma tridimensional, por meio de um algoritmo que apresenta a cada ouvido (utilizando-se fones) sons em tempos e intensidades levemente diferentes (som binaural), dando ao ouvinte a impressão de que cada som provém de um local específico no espaço tridimensional. Um exemplo de gravação desse tipo é o "*virtual barber shop*", em português "barbearia virtual", na qual sons de uma barbearia são simulados em 3D⁵.

De maneira análoga, podemos conceber modos: *olfato-gustativo*, representação por meio de cheiros e gostos; e *háptico*, representação por meio de estímulos ao tato predominantemente, como é o caso de luvas de realidade virtual que estimulam mecanicamente a mão em resposta ao "toque" de alguma entidade virtual. Todos (sonoro,

³ "The verb visualize has two meanings: the conjuring up of an image in the mind's eye [...]" (SHARPE; LUMSDEN; WOOLRIDGE, 2008, p.6).

⁴ "[...] and - more importantly for science - to make visible to the eye" (*ibid.*, 2008, p. 6), clara referência a um modelo de ciência empírico que valoriza o papel dos sentidos na "aquisição" de conhecimento..

⁵ A gravação está disponível no endereço eletrônico: <http://www.qsound.com/demos/virtualbarbershop_long.htm>, acesso em: 22 mai. 2011.

olfato-gustativo e háptico) seriam igualmente contempláveis pela expressão *modelos simbólicos*.

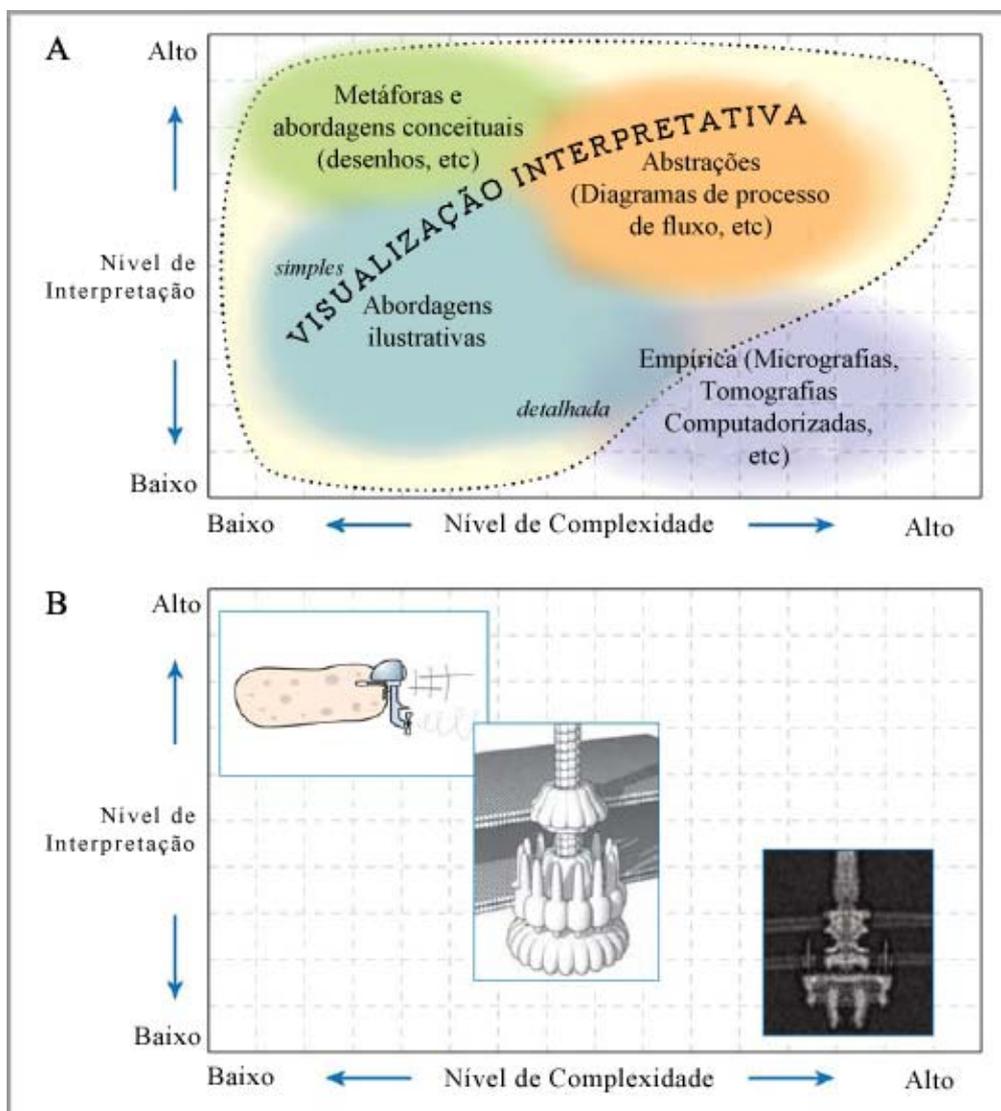


Figura 1. Espaço-design. (A) uma potencial visualização do "espaço-design". (B) três representações do flagelo da bactéria e suas respectivas posições no espaço-design proposto (SHARPE; LUMSDEN; WOOLRIDGE, 2008, p. 7, com modificações).

Os modelos expressos não raro demandam a utilização de mais de um modo de representação para melhor explicar um fenômeno. É o caso da utilização concomitante de: gráficos e descrições verbais, animações aliadas a narrações verbais, dentre outros. Nos referimos a estes casos como *modos mistos*, que podem ter prevalência de um ou outro modo de representação (GILBERT; BOULTER, 2000).

Gilbert e Boulter (*ibid.*) distinguem outros atributos das representações que permitem classificá-las em: *qualitativas* ou *quantitativas* - quanto à relação com a quantificação e precisão, sendo secundário no primeiro caso; *estáticas* ou *dinâmicas* - quanto ao comportamento ao longo do tempo, marcadamente com animações no segundo caso; *determinísticas* ou *estocásticas* - quanto a reprodutibilidade do comportamento da representação, estando a segunda, ao contrário da primeira, sujeita a variabilidade.

Os modelos 3DR e 3DV utilizados neste estudo apresentam tanto características quantitativas, como preocupação com a escala e posição dos órgãos, quanto qualitativas, como cores vibrantes para facilitar entendimento. No caso do primeiro, temos um modelo estático e no segundo um modelo dinâmico determinístico.

A seguir fazemos algumas considerações acerca dos modos de representação em ensino de ciências que julgamos essenciais ao nosso estudo.

1.2.1 Modo verbal

Problemas na comunicação de significados são inerentes a todos os modos de representação. De acordo com Bell e Freyberg (1998, p.61, tradução nossa):

Quando um professor fala à classe, faz um esquema no quadro, explica um mural ou pede a um aluno que leia em voz alta um texto, seu pensamento (ou o do autor do texto) não é automaticamente transferido para a mente do aluno. Cada um dos indivíduos presentes na aula forma suas idéias a partir de diversos estímulos, incluindo as palavras específicas lidas ou ouvidas, que estão nesse ambiente concreto de aprendizagem⁶.

Nesse contexto, o modo verbal tem sido amplamente estudado. Os autores chamam atenção para os distintos significados que as palavras podem ter para diferentes pessoas e grupos de pessoas, e apontam alguns dos problemas mais comuns verificados no contexto do ensino de ciências:

⁶ "Cuando un profesor habla a la clase, hace un esquema en la pizarra, explica un mural o pide a un alumno que lea en alto un texto, su pensamiento (o el del autor del texto) no queda automáticamente transferido a la mente del alumno. Cada uno de los individuos presentes en el aula forma sus propias ideas a partir de diversos estímulos, incluyendo las palabras específicas leídas u oídas, que hay en ese entorno concreto de aprendizaje" (BELL; FREYBERG, 1998, p. 61).

Os alunos desconhecem o discurso do professor - professor utiliza palavras com as quais os alunos estão pouco familiarizados ou que suscitam experiências, imagens e episódios do passado, que pouco têm a ver com a teoria explicada;

Maior preocupação com palavras "científicas" que com conceitos - alunos apenas reproduzem termos científicos para corresponder à demanda do professor.

Professores ignoram a fala dos alunos - pouca interação com os alunos e seus discursos.

Incompatibilidade de significados não identificada - significados distintos atribuídos por alunos e professores a diferentes termos, sem que as partes tomem consciência dessa incompatibilidade.

Incompatibilidade de significados identificada - significados distintos atribuídos por alunos e professores a diferentes termos, sendo que uma, ou ambas as partes, tomam consciência dessa incompatibilidade, mas nada fazem para resolvê-la.

Consideramos que os problemas apresentados, mais que características inerentes a esse modo de representação, são o reflexo de uma dinâmica em sala de aula que não favorece diálogos entre - professor/aluno; aluno/aluno; e ciência/cotidiano.

Entendemos, contudo, que outros modos de representação podem auxiliar no processo de comunicação/adequação dos significados, seja funcionando como exemplos não verbais - como figuras e animações - seja facilitando alterações na dinâmica das relações em sala (interação em grupo com modelos 3D, por exemplo).

1.2.2 Modo visual

Dentre os modos de representação que sensibilizam a visão, o *modo visual* é aquele que em maior grau depende deste sentido. Representações gráfico-pictóricas podem ser mapeamentos diretos de fenômenos perceptíveis (macro e microfotografias, por exemplo), ou possuir maior caráter interpretativo, se valendo de analogias e metáforas (desenhos, esquemas, dentre outros), como os apresentados na Figura 1B.

A alta simplificação e analogização das imagens situadas à esquerda e acima no espaço-design são justificadas para facilitar o entendimento ou transmitir uma impressão global da estrutura ou processo. Por outro lado, as imagens situadas à direita e abaixo - normalmente derivadas de um método de obtenção de imagens dito direto, como fotomicrografias, ou

obtidas de correlações imediatas com dados, como a tomografia computadorizada - apresentam alto nível de complexidade e baixo nível de interpretação. Na escolha da representação a ser utilizada, que pode variar desde desenhos no quadro-negro a simulações geradas em supercomputadores, deve-se levar em conta os propósitos da imagem e a audiência a que se destina (SHARPE; LUMSDEN; WOOLRIDGE, 2008).

Nem todas as estruturas e fenômenos biológicos podem ser observados diretamente, em tempo real, seja porque ocorrem em escalas microscópicas - nas quais as distâncias são muito pequenas, os tempos muito curtos, e os eventos muito incomuns (*op. cit.*) - seja porque ocorrem dentro de compartimentos, como órgãos, cuja visualização implica dificuldades metodológicas.

Desse modo, embora estruturas macroscópicas, como um coração, possam ser vistas em funcionamento a olho nu - em cirurgias cardíacas, por exemplo - nem sempre se dispõe de meios para tal, ou as implicações dos procedimentos que possibilitam visualizá-las são tantas que isso não é conveniente.

A forma de representação mais adequada para as imagens depende, além dos propósitos e da audiência aos quais se destinam, dos recursos e instrumentos de observação disponíveis, da conveniência e da oportunidade para visualização das entidades/processos que representa. Todos esses aspectos são igualmente aplicáveis ao *modo concreto* de representação.

Uma das formas de se obter representações gráfico-pictóricas, estáticas ou sequenciais (animações), é a Computação Gráfica (CG). Conforme apontado por Amon (2010, p. 203), estruturas e processos biológicos são especialmente adequados para representações que utilizam CG porque todos ocorrem no espaço.

Nesse contexto, destacamos os Modelos Tridimensionais Virtuais (Modelos 3DV) gerados por CG - que simulam aspectos visuais do espaço tridimensional - como meio para tornar estruturas e processos biológicos "visíveis ao olho", permitindo a seus interatores evocar imagens compatíveis com os modelos consensuais atuais em seus "olhos da mente".

1.2.3 Modo concreto

O *modo concreto* de representação, assim como o *visual*, se baseia fortemente no sentido da visão, com a particularidade de poder sensibilizar outros sentidos no momento da interação do sujeito com ele.

Quando da interação com uma representação expressa nesse modo, pistas não-visuais podem sensibilizar tanto o sistema háptico - textura ao toque, volume, posição relativa de elementos que o constituem; quanto o sistema auditivo - é comum que o toque de algum objeto emita sons que permitam ao interator obter pistas a respeito dos materiais utilizados, distâncias, etc. Olfato e paladar também podem ser sensibilizados, embora utilizados com esse propósito em menor frequência.

Destacamos a diferença entre os *modos háptico e auditivo* de classificação, anteriormente sugeridos, e os estímulos aos sistemas *háptico e auditivo* que resultam da interação do sujeito com a representação em *modo concreto*. No segundo caso a representação resulta da interação do usuário com os objetos reais dispostos em formatos/maneiras específicas que caracterizam a representação. No primeiro isso não ocorre, sendo a representação dependente dos padrões de estímulos em si (luvas de realidade virtual com *feed-back* háptico, som binaural, etc).

1.3. MODELOS TRIDIMENSIONAIS REAIS (3DR)

Aos *modelos expressos*, externados no domínio público por um *modo concreto* de representação em três dimensões, daremos a denominação de *modelos tridimensionais reais*, ou *modelos 3DR*.

Modelos 3DR permitirão a percepção direta multi-sensorial de símbolos, aliviando algumas tarefas cognitivas envolvidas na aprendizagem e facilitando a comunicação de idéias. Sua utilização pode se dar de modo colaborativo e interativo, promovendo o estreitamento de relações interpessoais na expressão de conhecimento, comunicação de resultados, construção de cenários, etc (MAUREL; BERTACCHINI, 2008).

1.3.1 Modelos 3DR e o ensino de biologia

Uma das mais antigas aplicações de modelos 3DR está relacionada ao ensino de anatomia humana nas áreas da medicina, cirurgia, obstetrícia e belas artes. Ao longo dos séculos, técnicas sofisticadas para sua manufatura foram desenvolvidas, incluindo a utilização de

materiais como cera, madeira, marfim, papelão, bronze, tecido, gesso, borracha e plástico (OLRY, 2000).

Além de aspectos relativos à forma e posição relativa de órgãos e tecidos, alguns modelos possibilitam certa mobilidade e plasticidade, que permitem uma aproximação às suas funções, como é o caso de um modelo de língua feito em material viscoelástico por Hirayama (2010), para o ensino das ciências da fala. Outros, embora rígidos ou semi-rígidos - como os construídos por Nogueira *et. al.* (2008) com garrafas PET - permitem a ocorrência de processos dinâmicos análogos aos que ocorrem no corpo humano (no caso, o caminho percorrido pela água da ingestão à excreção).

Em biologia celular, encontramos referência à utilização de modelos 3DR para o ensino, seja os apresentando de forma acabada, seja os construindo com os alunos (AMARAL; COSTA, 2010; ORLANDO *et. al.*, 2009). Imagens microscópicas de células, obtidas em microscópios eletrônicos de transmissão, têm sido utilizadas como referência para construção desses modelos em apresentações em museus (modelos gigantes, em escala correta), ou no contexto escolar (ARAÚJO-JORGE *et. al.*, 2004).

1.3.2 Modelo 3DR utilizado no estudo

O modelo utilizado neste estudo (Figura 2) é confeccionado em resina plástica emborrachada, e de acordo com o fabricante é composto por:

Cabeça (2 partes) com cavidade nasal; parte craniana exposta lateral; metade do cérebro com cerebelo, artérias e veias; globo ocular, epiglote, esôfago; cartilagem tireóide, glândula tireóide; traquéia, costela, esterno, diafragma; glândula mamaria pulmões (2 partes); coração (2 partes), fígado com vesícula biliar; estômago (2 partes), intestinos; metade de um rim, ureter, bexiga; ceco, órgão genital masculino e feminino intercambiáveis (ANATOMIC, 2011).

Além das estruturas acima são indicadas no modelo: língua, pâncreas e glândulas salivares. Para nosso estudo, são particularmente importantes aquelas que compõem o sistema digestório - na divisão clássica do corpo humano em órgãos e sistemas - incluindo: cavidade bucal, dentes, língua, glândulas salivares, epiglote, esôfago, estômago, fígado, vesícula biliar, pâncreas, intestino delgado, e intestino grosso. A presença dos órgãos dos demais sistemas

serve, dentre outros propósitos, a dirimir dúvidas a respeito de suas inter-relações com o sistema digestório.

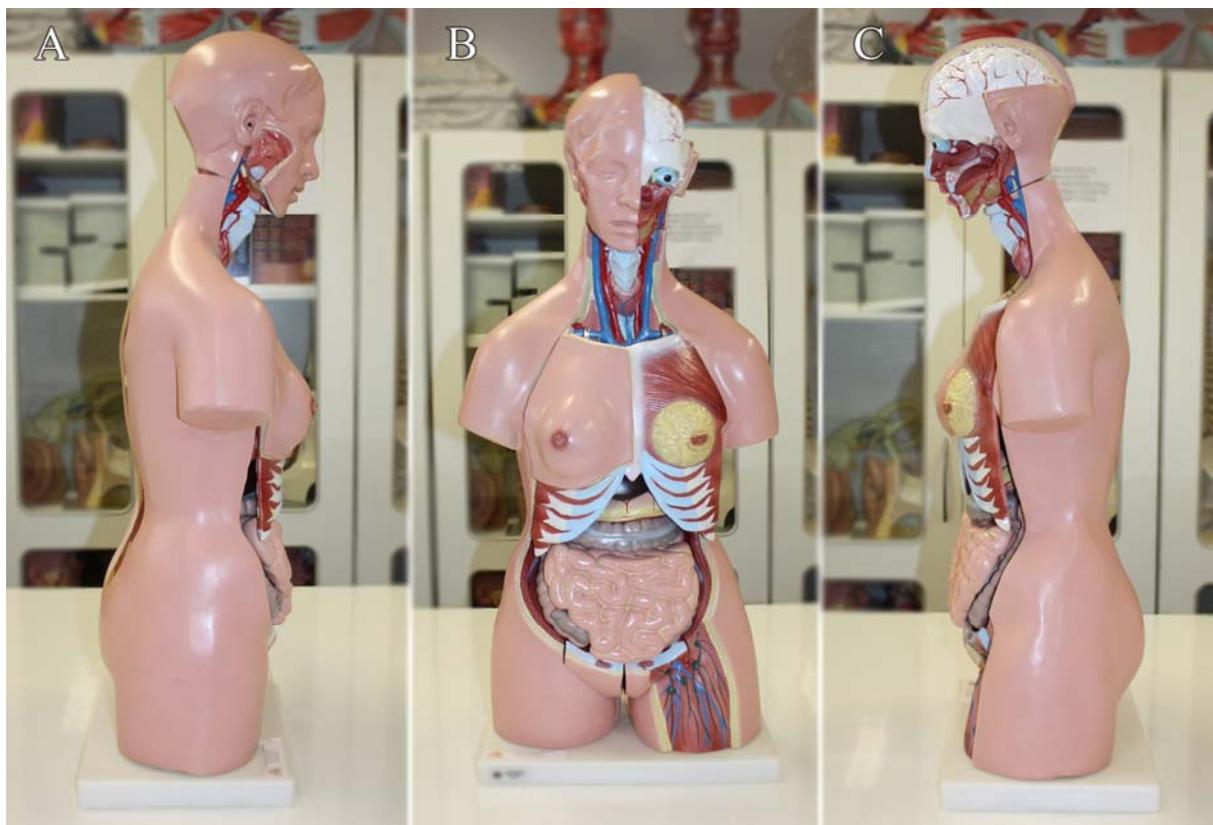


Figura 2. Modelo anatômico humano confeccionado em resina plástica. (A), (B) e (C) correspondem às vistas: lateral direita, frontal e lateral esquerda, respectivamente.

O modelo é rígido e opaco - características dos materiais utilizados em sua confecção; predominantemente maciço - órgãos tipicamente ocos estão preenchidos, embora indiquem o aspecto tubular com concavidades discretas; e estático - não evidencia os processos dinâmicos que ocorrem no interior do corpo humano.

Mostra-se, portanto, insuficiente para demonstrar o ato da mastigação, deglutição e digestão. O caminho percorrido pelo alimento não é evidente, exigindo grande nível de abstração por parte dos alunos para acompanhar a explicação do professor, ou aquela contida em livros e manuais.

Com vistas a suprir suas limitações, optamos por fazer uso concomitante de animações geradas a partir de modelos tridimensionais virtuais (3DV) do sistema digestório, conectando ao modelo 3DR botões que permitissem certo grau de interação com os modelos virtuais.

1.4 MODELOS TRIDIMENSIONAIS VIRTUAIS (3DV)

Entendemos por modelo tridimensional virtual, ou modelo 3DV, um *modelo expresso descrito matematicamente por três coordenadas cartesianas, representado por meio de simulação de aspectos perceptivos da realidade tridimensional, nos modos: visual, sonoro, olfato-gustativo e/ou háptico*. Discutiremos a seguir cada um dos aspectos dessa definição, e suas implicações para o presente trabalho.

Como modelo expresso, trata-se de um modelo mental representado. Constitui uma abstração de seu criador/desenvolvedor, podendo ter sido influenciado tanto por aspectos de sua personalidade, como pelos fatores culturais e sociais nos quais esse está imerso. Os modelos 3D aqui utilizados não são exceção à regra, embora procuremos basear sua estrutura conceitual nos modelos consensuais científicos e curriculares. Ressaltamos, porém, que tal influência não é privilégio dos modelos 3DV, estando presente em todo e qualquer modelo expresso utilizado no ensino.

Outra relação que merece destaque é aquela entre os modelos mentais do desenvolvedor e os modelos expressos pela máquina (computador). Assim como as tecnologias computacionais condicionam a arte e são condicionadas por ela (VENTURELLI; TELES), os *softwares* condicionam os modelos expressos produzidos em seus ambientes simulados. Ao se modelar uma estrutura ou organela em um *software* de modelagem e animação 3D, as possíveis produções que dali surjam estão condicionadas pelas características intrínsecas do mesmo.

Utilizamos a expressão virtual para distingui-los dos reais, que utilizam algum modo concreto de representação. Destacamos, porém, que real e virtual não são conceitos necessariamente antagônicos. Pierre Lévy (1996) ao discorrer sobre uma das modalidades de virtualização, afirma que (p.21):

Quando uma pessoa, uma coletividade, um ato, uma informação se virtualizam, eles se tornam "não-presentes", se desterritorializam. Uma espécie de desengate os separa do espaço físico ou geográfico ordinários e da temporalidade do relógio e do calendário. É verdade que não são totalmente independentes do espaço-tempo de referência, uma vez que devem sempre se inserir em suportes físicos e se atualizar aqui ou alhures, agora ou mais tarde. No entanto, a virtualização lhes fez tomar a tangente. Recortam o espaço-tempo clássico apenas aqui e ali, escapando a seus lugares comuns "realistas" [...].

Entendemos a virtualidade do modelo 3DV como a desterritorialização das características que lhe conferem sua tridimensionalidade. Curvas, reflexos, transparências e movimentos são atualizados em um suporte físico (tela do computador) momento no qual pode ser percebido por quem interage com ele.

Quanto à visualização de objetos virtuais, Milgram (1994, p.7) afirma que:

Para que um objeto real seja visualizado, ele pode tanto ser observado diretamente ou ele pode ser amostrado e então re-sintetizado via algum dispositivo de exibição. Para que um objeto virtual seja visualizado, ele deve ser simulado, uma vez que em essência ele não existe. Isso implica o uso de algum tipo de descrição, ou modelo, do objeto [...]7.

O termo *essência* é particularmente problemático e suscita questões metafísicas que fogem aos nossos propósitos. Optamos neste trabalho por nos atermos à concepção de Pierre Lévy para virtual e à de Milgram para a forma de visualização de objetos dessa natureza, que requer *necessariamente* alguma simulação.

A tridimensionalidade perceptiva de modelos virtuais pode ser alcançada pela interpretação de uma série de pistas sensoriais: sonoras, visuais (visão tridimensional), olfato-gustativas e hápticas. No caso dos modelos utilizados neste trabalho, utilizaremos apenas pistas visuais, predominantemente pistas pictóricas e de alteração de movimento (*motion parallax*) - resultado do efeito de 'foco' da câmera virtual em determinada cena - descritas em detalhes em 1.4.2.

Utilizamos em nosso modelo predominantemente o sentido da visão para passarmos a sensação de tridimensionalidade da cena - modo visual de representação do modelo (formas gráfico pictóricas) - que foram complementados com explicações verbais durante a aplicação (modo verbal).

1.4.1 Traduzindo a realidade tridimensional em representação artística

Registros de imagens em perspectiva, que tentam simular vistas de um objeto em três dimensões, datam de períodos tão remotos quanto o 1º século D.C., a exemplo de afrescos

⁷ "In order for a real object to be viewed, it can either be observed directly or it can be sampled and then resynthesised via some display device. In order for a virtual object to be viewed, it must be simulated, since in essence it does not exist. This entails use of some sort of a description, or model, of the object [...]" (MILGRAM, 1994, p. 7).

encontrados em Pompéia, Itália. Foi apenas a partir do período da Renascença (séculos XIV ao XVI), contudo, que este efeito se disseminou com o uso consciente de técnicas que consideravam os processos físicos e geométricos de captura de imagens 3D em um quadro bidimensional. O efeito de perspectiva simples baseia-se na relação entre a distância de um objeto e seu tamanho aparente, sendo que quanto maior a distância de um objeto de seu observador, menor a aparência do mesmo (BLUNDELL, 2008).

Técnicas de representação em perspectiva de uma cena tridimensional, acopladas ao uso eficiente de cor e sombreamento, podem ser utilizadas pelo pintor para gerar imagens foto-realistas de cenas 3D em um quadro 2D (*ibid.*). De modo semelhante, técnicas de Computação Gráfica são utilizadas para gerar imagens que, quando projetados em um dispositivo de saída bidimensional, como a tela de um computador, dão foto-realismo a cenas concebidas pelo artista ou decorrentes do processamento automático do programa, sem controle humano direto (ainda que em última instância pudessem ser previstas pelas equações que regem o programa).

Essas técnicas capazes de gerar a "ilusão" da tridimensionalidade (temos a impressão de ver algo em 3D que na realidade se encontra em um meio 2D, como um quadro ou tela de computador) possuem correlação direta com as faculdades do sentido da visão em humanos, e dos processos envolvidos em sua sensibilização e interpretação.

1.4.2 O sentido da visão e a interpretação de imagens como cenas tridimensionais

A tridimensionalidade de objetos representados em uma cena gerada por computador depende de nossa interpretação de uma pluralidade de pistas de profundidade contidas nessas imagens. De acordo com Blundell (*ibid.*), essas pistas podem ser agrupadas em três categorias principais: pictóricas; oculomotoras e binoculares. No caso de cenas 3D representadas em uma tela 2D, como é o caso de imagens estáticas geradas por CG apresentadas em monitor plano tradicional, pistas oculomotoras e binoculares estão ausentes (podendo em determinadas condições apenas serem simuladas e numa dimensão reduzida). Nesses casos, pistas pictóricas são as únicas responsáveis pelo efeito de tridimensionalidade observado, e são essas pistas as mais utilizadas nos modelos 3D virtuais presentes nesse trabalho. Descrevemos a seguir algumas *pistas pictóricas*, de acordo com o autor (*ibid.*):

Oclusão - pista observada quando um objeto, por estar à frente do outro, obscurece nossa visão do objeto que está à maior distância. Parte ou a totalidade do objeto que está atrás,

portanto, não é observado. Para que seja efetiva (reflita a posição relativa dos objetos), é necessário que o observador suponha o formato e completude do objeto que enxerga parcialmente.

Altura no campo visual - relacionada à posição da linha do horizonte, normalmente a posição no campo visual onde o céu e a superfície do planeta se encontram. Como regra geral, objetos localizados próximos da linha aparentam estar mais distantes do observador. Para objetos localizados acima dessa linha, portanto, quanto mais distantes estiverem, mais baixo eles estarão no campo visual do observador. Para objetos localizados abaixo da linha, por sua vez, quanto mais distantes estiverem, mais altos estarão no campo visual do observador.

Perspectiva aérea - observada quando objetos distantes parecem estar menos definidos ou adquirem uma tonalidade azulada devido à difração e refração da luz por partículas de água ou poeira. Quanto mais distantes os objetos, mais forte será esse efeito.

Tamanho familiar - diz respeito à familiaridade que temos com o tamanho dos objetos que observamos regularmente. Devido à perspectiva linear, intuímos que quanto menor o objeto aparece no campo visual, mais distante ele está de nós. Como conhecemos, por experiência, seu tamanho, somos capazes de prever sua distância absoluta e a relativa.

Sombras e sombreamento - duas formas de sombra podem ser identificadas: a primeira se distribui ao longo da superfície do objeto, podendo conter mudanças abruptas ou sutis de luminosidade, e dá informações acerca do formato do mesmo; a segunda forma diz respeito ao bloqueio da luz pelo objeto formando em um anteparo uma área escura, que reflete uma silhueta distorcida do objeto, fornecendo informações acerca de seu formato (embora mais imprecisas que no primeiro caso) e da distância do objeto ao anteparo. Ambas fornecem pistas sobre a localização da fonte de luz.

Reflexão difusa ou difusão (Lei de Lambert) - um refletor perfeitamente difuso é aquele que reflete a luz em direções randômicas, de maneira uniforme. De acordo com a lei de Lambert, para uma fonte de luz pontual, a quantidade de luz incidente em determinada região iluminada de uma superfície decai na razão quadrada inversa da distância entre a fonte de luz e a superfície. Em termos gerais, quanto mais distante o objeto da fonte de luz pontual, menor será a quantidade de luz que este recebe e, conseqüentemente, menor será quantidade de luz refletida por ele. Menor brilho, portanto, este aparentará ter.

Reflexão especular - a reflexão a partir de superfícies lisas resulta em uma direcionalidade angular do raio incidente, normalmente referida como *reflexão especular*, e tem como exemplo último a superfície de um espelho perfeito. No caso de um espelho perfeito, o ângulo dos raios refletidos, com relação à reta normal da superfície, é exatamente

igual ao ângulo incidente. Para os demais casos, superfícies lisas que não são espelhos perfeitos, nem todos os raios serão refletidos exatamente nesse ângulo, criando, para determinado observador, regiões muito iluminadas - que refletem a luz em ângulos próximos ao ângulo de incidência, e regiões menos iluminadas - que refletem a luz com alguma variação de angulação.

Textura - (a) Percepção do espaço 3D: à medida que a distância aumenta, os elementos componentes da textura dos objetos gradualmente se tornam menores e mais adensados no campo visual do observador, na medida da perspectiva linear. (b) Percepção do formato: tanto mudanças graduais quanto abruptas no gradiente da textura dão pistas sobre a orientação e formato dos objetos em uma cena.

Perspectiva linear - a perspectiva linear baseia-se no fato de objetos distantes do observador parecerem menores que objetos localizados em sua proximidade. Isto ocorre devido à distância entre o sistema focal do olho e a retina (onde estão localizadas as células fotoreceptoras) ser relativamente constante, enquanto os ângulos de incidência da luz advinda do objeto observado variam de acordo com seu tamanho e a distância do mesmo com relação ao olho do observador. Desta forma, para se representar objetos 3D em uma tela 2D (que pode ser tanto um quadro quanto uma tela plana de computador), assume-se uma posição arbitrária para o observador, e faz-se a projeção da posição e tamanho que as imagens de objetos 3D observados daquele ponto teriam no plano delimitado pela tela. Cabe ressaltar, contudo, que os seres humanos possuem a habilidade de se adaptar a, ou talvez ignorar, vistas de objetos em perspectivas incorretas. É o que ocorre, por exemplo, quando assistimos a um filme de um ângulo diferente da posição central para a qual a perspectiva projetada na tela foi prevista.

Blundell (*ibid.*, p. 233-243) descreve outras modalidades de pistas que contribuem para nossa visão tridimensional, e são elas as oculomotoras e as binoculares:

Pistas oculomotoras - dizem respeito aos efeitos de acomodação - ajuste da distância focal do cristalino para assegurar que o objeto em nosso campo visual, para o qual direcionamos nossa atenção seja focalizado na retina; e convergência - orientação dos olhos (direito e esquerdo) para que seus eixos visuais se encontrem em um ponto de fixação comum, projetando na fóvea a área de interesse dentro do campo visual. Por meio de triangulação entre as distâncias entre os olhos e seu grau de convergência, seria possível estimar, até certo ponto, a distância de um componente foco de nossa atenção. Em um dispositivo de saída convencional, como um monitor de computador, não há esse efeito, uma vez que as imagens se encontram à mesma distância (do olho à tela), mantendo a convergência e a acomodação sincronizadas.

Pistas binoculares - derivam do fato de os olhos humanos, por estarem distantes na face, perceberem o mundo de um ângulo distinto, captando imagens díspares de uma mesma cena (visão binocular). O sistema visual possui a habilidade de processar e tirar proveito dessas pistas, que podem ser divididas em duas modalidades: estereoscopia - *binocular parallax* - e alterações de movimento - *motion parallax*. No primeiro caso (visão estereoscópica), as imagens projetadas na retina de cada olho, que contêm pequenas diferenças horizontais e verticais, são interpretadas pelo cérebro como uma única imagem tridimensional. O fenômeno da estereoscopia ocorre apenas em regiões do campo visual que se sobrepõem nas duas imagens (olho direito e esquerdo). Nas regiões periféricas do campo visual, não há correlação entre as imagens de cada olho e, portanto, nessas regiões a visão é monocular. O segundo caso ocorre quando modificamos nosso ponto de vista (alterando a posição de nossa cabeça, por exemplo). Quando procedemos dessa forma, os objetos em nosso campo visual parecem possuir um movimento relativo entre si. No caso de movimentarmos a cabeça para a direita, por exemplo, objetos que estejam atrás de nosso ponto focal (convergência entre os olhos), aparentam se movimentar igualmente para a direita, enquanto objetos localizados à frente de nosso ponto focal parecem se movimentar relativamente para a esquerda.

Decorre daí, que para se conseguir o efeito da estereoscopia em qualquer representação artística, é necessário que esta sensibilize cada olho de forma distinta e na proporção da distância entre eles. Um quadro tradicional, por exemplo, não é capaz de gerar esse efeito - embora passe a noção de profundidade, sombra, etc (pistas pictóricas) - porque ambos os olhos vêem a mesma imagem já planificada. Um quadro desse tipo poderia representar apenas a visão de um olho, ou seja, a partir de um único ponto.

As alterações de movimento (*motion parallax*) podem ser simuladas em animações geradas por CG, criando-se um ponto focal de uma "câmera virtual" - que simula as vistas de um observador que estivesse localizado no espaço virtual no ponto onde ela se encontra. Dessa forma, os movimento relativos dos objetos virtuais obedecem ao movimento da câmera e ao posicionamento do foco da mesma. Há que se diferenciar esse efeito do observado em um ambiente real pelo fato de o desenvolvedor/artista, e não o observador, escolher o ponto focal da câmera, e por tratar-se de um único ponto de vista (monocular) - a não ser que se trate de um ambiente sofisticado de realidade virtual no qual haja algum sistema de rastreamento binocular com cálculo estimado do ponto focal e ajustes simultâneos da cena.

O efeito de "animação" conseguido em CG tem como princípio fundamental uma técnica, há muito descrita no cinema, de expor o observador à imagens sequenciais de determinado movimento mostradas em rápida sucessão, o que impede que o cérebro as registre como

imagens separadas. O fenacístoscópio, inventado em 1832 pelo físico belga Joseph-Antoine, já demonstrava esse fenômeno, e consistia de um disco com várias figuras desenhadas que quando girado criava a ilusão de movimento (VENTURELLI; TELES).

As pistas utilizadas nos modelos tridimensionais virtuais presentes neste trabalho são as **pictóricas**, e até certa extensão - possibilitada pela simulação descrita anteriormente - de alteração de movimento (*motion parallax*).

1.4.3 Como *softwares* de computação gráfica simulam a tridimensionalidade

De modo geral, os programas de CG utilizam o sistema cartesiano de coordenadas - um mapa geométrico criado por Rene Descartes - para criar modelos e executar animações, em uma área virtual que constitui seu espaço tridimensional. Esse espaço é definido em três eixos (x, y e z) - representando altura, largura e profundidade - que formam uma grade numérica na qual qualquer ponto é definido por suas coordenadas (DERAKHSHANI, 2009).

Diferentes quadros de referência de coordenadas podem ser utilizados para localizar pontos na cena, incluindo: coordenadas locais ou de modelagem (utilizadas para "construir" objetos em seu próprio sistema de coordenadas); e coordenadas globais (utilizadas como referência para posicionar objetos na cena). Por fim, as coordenadas globais da cena são traduzidas em coordenadas de algum dispositivo ou tela na qual esta será apresentada. Dessa forma, o *software* é capaz de projetar em uma tela 2D - com duas coordenadas - vistas de uma cena virtual em 3D - com três coordenadas. Os atributos dos objetos virtuais, por sua vez, descrevem como um objeto deverá ser projetado na tela no que diz respeito a especificações de intensidade e cor, estilo de linhas e texto, preenchimentos de áreas, dentre outros (HERAN; BAKER, 1996).

Descrever detalhadamente as funções matemáticas e processos envolvidos na tradução de coordenadas e atributos de uma cena virtual para um dispositivo de saída fogem aos objetivos do presente trabalho. Para efeito de ilustração, descrevemos resumidamente as etapas de apresentação de uma linha (2D) em um dispositivo digital.

Cada ponto em uma tela de computador recebe a denominação de pixel e constitui a menor porção responsável pela formação da imagem. Para apresentar uma reta nesse tipo de dispositivo, portanto, é necessário que esta seja descrita por meio de pontos ajustáveis aos pixels da tela. Com base na equação que descreve uma reta, pontos contidos na mesma são

calculados e plotados na tela em posições aproximadas, com valores inteiros. Para um ponto de coordenadas 10.48 para o *eixo x* e 20.51 para o *eixo y*, por exemplo, teremos um pixel correspondente na posição 10 e 21, respectivamente. Este efeito causa um aspecto "pixelado" (Figura 3), principalmente em dispositivos de baixa resolução, o que pode ser amenizado ajustando-se as intensidades dos pixels (*ibid.*, p. 85). O ajuste da intensidade e coloração de cada pixel depende tanto das propriedades dos monitores quanto da quantidade de informação codificada em cada pixel da imagem.

Há duas diferentes maneiras pelas quais os programas codificam imagens para que sejam apresentadas em uma tela. A primeira utiliza um mapeamento de bits (não vetorial), ou seja, armazena informações quanto à posição e cor de cada pixel (na tela) ou ponto (no papel de impressão), para exibir uma imagem, que é formada como um mosaico. A resolução, ou nível de detalhe, em uma imagem desse tipo, é definida pelo número de pixels por unidade de comprimento nas direções vertical e horizontal. A segunda maneira utiliza algoritmos matemáticos ou funções geométricas para plotar pontos que definem áreas, volumes e formas. As imagens codificadas dessa maneira recebem o nome de imagens vetoriais. Por fim, embora sejam codificadas em formas de vetores, essas imagens precisam ser convertidas em imagens mapeadas por bits (*rasterization*) para serem apresentadas em monitores, uma vez que esses dispositivos só trabalham com imagens nesses formatos. Em programas vetoriais de animação, portanto, a informação referente à movimentação dos objetos é armazenada como mudanças na posição de geometrias e na matemática que define formas e volumes, e não como uma sequência de imagens. Para que visualizemos essa animação, contudo, esta deve ser apresentada como uma sequência de imagens mapeadas por bits (DERAKSHANI, 2009).

Softwares de modelagem e animação 3D buscam simular a realidade 3D em uma tela 2D, portanto, por meio de cálculos matemáticos que projetam nesta última uma aproximação visual da cena que se quer representar. Permitem a criação e manipulação de modelos tridimensionais virtuais (descritos detalhadamente no tópico 1.4) que simulam determinadas propriedades de objetos tridimensionais reais, em especial a interação desses com a luz. Uma vez criado um cenário composto por modelos 3D virtuais, é possível "movimentar" e "modificar" os objetos virtuais componentes dessas cenas - simulando ações de ou sobre objetos do mundo real - bem como a visualização da cena de perspectivas diferentes - simulando a movimentação do observador em torno do objeto representado.

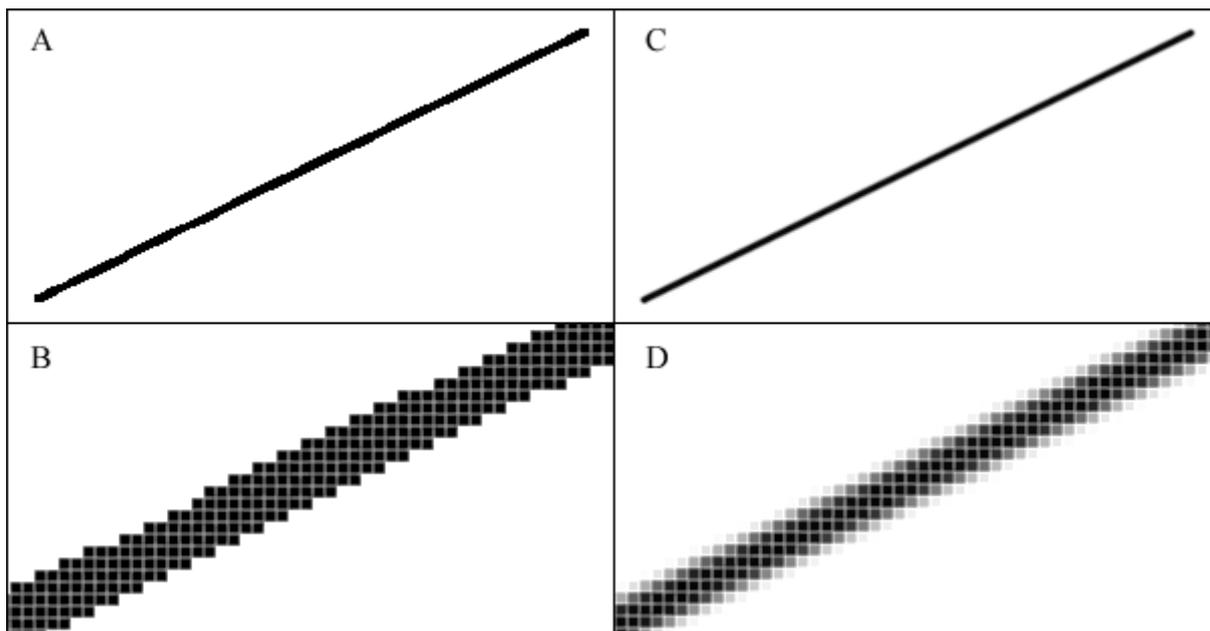


Figura 3. Imagens obtidas no programa de criação e edição de imagens Photoshop versão CS4, a partir de um *caminho* criado com a ferramenta vetorial *linha* (*line tool*). (A) reta obtida preenchendo-se o caminho com a ferramenta *lápiz* (não vetorial), tamanho 3 pixels. Notar as "quebras" na linha. (B) ampliação em 600% da figura A evidenciando o aspecto pixelado. (C) reta obtida preenchendo-se o caminho com a ferramenta *pincel* (não vetorial), tamanho 3 pixels. (D) ampliação em 600% da figura B evidenciando o efeito de suavização, típico da ferramenta *pincel*, obtido pelo ajuste da intensidade dos pixels, indo de um cinza claro até o preto.

De acordo com a Autodesk Maya Press (2007, p. 16):

O que torna o 3D uma ferramenta tão útil é a forma como ela simula os objetos reais. A forma como os objetos aparecem em perspectiva, a forma como uma superfície se curva e se retorce, ou a forma como uma luz ilumina o espaço - todos esses efeitos 3D complexos podem agora ser recriados em um computador. As imagens digitais resultantes podem então ser integradas a outros tipos de mídia utilizando-se técnicas familiares de composição e edição⁸.

É importante destacar que tais softwares não representam fielmente os objetos do mundo real. O princípio fundamental desses programas é simular algumas propriedades da realidade que podem ser descritas matematicamente, como a aceleração de corpos, a reflexão e refração

⁸ "What makes 3D such a useful tool is the way it simulates real objects. The way objects appear in perspective, the way a surface bends and twists, or the way a light illuminates a space - all of these complex 3D effects can now be recreated on the computer. The resulting digital images can then be integrated into other media types using familiar compositing and editing techniques" (AUTODESK MAYA PRESS, 2007, p. 16).

da luz, dentre outros que, por possuírem alguma correspondência com o mundo real, tornam os eventos representados cognoscíveis.

Nada impede, contudo, que sejam concebidos cenários não observáveis cotidianamente como objetos que estão fora de nossa percepção visual - simulação microscópica de estruturas de organismos vivos - e percepção de objetos que fogem de nossa realidade tridimensional - como a origem do universo (VENTURELLI; TELES).

1.4.4 Modelos 3DV e o ensino de biologia

Encontramos uma variedade de estudos relacionando modelos 3DV à aprendizagem, sobretudo em tópicos relacionadas à anatomia, morfologia e fisiologia humanas.

Em anatomia destacamos os trabalhos de: Nicholson *et. al.* (2006), com um Modelo 3DV interativo do ouvido interno e médio obtido por ressonância magnética do ouvido de um cadáver, para evidenciar estruturas, encontrando resultados positivos na aprendizagem; Monteiro *et. al.* (2006), com modelos em Realidade Virtual de estruturas tridimensionais do corpo humano acompanhado de descrições textuais das estruturas; e El-Khalili (2005), com modelos e animações 3D do sistema digestório humano, que embora simples, evidenciavam além dos aspectos anatômicos, aspectos fisiológicos do sistema digestório - movimentos peristálticos no esôfago e movimentos digestivos no estômago.

Na área da morfogênese, destacamos a utilização de animações geradas a partir de modelos 3DV criados com base em dados obtidos por ressonância magnética microscópica, para ilustrar o desenvolvimento de embriões humanos ao longo do tempo (YAMADA, 2006).

Em Kondo, Kijama e Takahashi (2007) encontramos um sistema para aumentar a interatividade com modelos 3DV anatômicos, composto por uma tela de projeção em forma de corpo humano. Quando a posição dessa tela é modificada, a projeção acompanha essa modificação fazendo os ajustes necessários pela "tecnologia de projeção de formas livres" (*Free Form Projection Technology*). Os autores buscam uma aproximação entre as possibilidades de um modelo 3DV - que permite visualizações dinâmicas com recursos para manipulação de imagens; e um modelo 3DR - que pode ser movimentado diretamente pelo observador.

Também buscamos uma aproximação que possa suprir as limitações de um e de outro, por meio da interface interativa entre o modelo 3DR anatômico e as animações geradas a partir de modelos 3DV.

1.5 CRIANDO MODELOS 3DV E ANIMAÇÕES

Descreveremos a seguir os principais *softwares* disponíveis para elaboração de modelos 3DV e seu processo de criação.

1.5.1 Softwares disponíveis para criação de modelos 3DV e animações.

Alguns dos *softwares* 3D mais utilizados no mercado são: Maya, 3D Studio Max, SoftImage, Formz, Cinema 4D e LightWave. Dentre os citados, o Maya é um dos mais indicados para criação de arte digital, estando entre os mais flexíveis e com uma das maiores bases de usuários (PARDEW; SEEGMILLER, 2005). É largamente utilizado em transmissões televisivas, criação de filmes de longa e curta duração, efeitos especiais, jogos interativos, visualizações na internet e outros campos que se valem de ferramentas para criação de conteúdo digital como: belas artes, arquitetura, design, educação e pesquisa científica (AUTODESK MAYA PRESS, 2007).

O Maya trabalha com imagens vetoriais e sua interface é composta de um cenário com três coordenadas cartesianas (eixos x, y e z), um plano central em forma de grade que serve como referência na cena e pode ser visto de quatro ângulos distintos (em perspectiva ou vistas ortogonais), e uma série de menus e sub-menus contendo ferramentas, acessados por meio do mouse ou teclado.

O processo de criação em 3D no Maya se assemelha muito com os de fotografia e filmagem em um cenário de ação real. Uma vez modelados e posicionados os objetos na cena, atribuídas texturas, definidos seus movimentos e trajetórias, bem como posicionadas luzes e câmeras virtuais, a ação pode ser "fotografada" ou "gravada", renderizando-se imagens 2D das vistas das câmeras, que quando colocadas em sequência fornecem a idéia de ação contínua (DERAKHSHANI, 2009). O *software* também é capaz de simular aspectos

dinâmicos como gravidade, viscosidade, dentre outros matematicamente representáveis em um universo newtoniano.

Outro *software* que tem recebido crescente atenção, sobretudo nas etapas de modelagem e texturização, é o ZBrush, desenvolvido pela empresa americana Pixologic. A principal diferença na forma de modelar do Maya, sobretudo na modelagem por polígonos, quando comparado a esse programa, é que no primeiro as formas são determinadas por um controle mais rigoroso dos vértices, arestas e faces dos polígonos, enquanto no segundo esta etapa é feita predominantemente com ferramentas que simulam ações de escultura e pintura.

O ZBrush permite esculpir até um bilhão de polígonos (PIXOLOGIC, 2011), número muito superior ao que o Maya permite sem que haja uma queda acentuada na velocidade de processamento das ações no programa. Isso permite a criação de níveis de detalhe que, antes de o programa ser lançado, eram inatingíveis. Os modelos criados com o Maya podem ser exportados para o ZBrush e vice-versa, em formato ".obj", o que permite seu refinamento de detalhes (PATNODE, 2008).

Devido à sua ampla gama de ferramentas e aplicações, flexibilidade, interface amigável e intuitiva, ampla base de usuários, bem como à qualidade gráfica das imagens geradas por ele, elegemos o Maya como o principal *software* utilizado para modelagem e animação dos Modelos 3DV utilizados nesse trabalho.

1.5.2 Etapas envolvidas na criação de modelos 3DV

As criações por CG de Modelos 3DV e animações obedecem normalmente às seguintes etapas principais, descritas por Derakhshani (2009) e apresentadas aqui de forma sintética:

Modelagem - normalmente a etapa inicial. Consiste na criação de objetos na cena por uma série de técnicas, entre as quais: modelagem de Polígonos; modelagem com NURBS - *Non-Uniform Rational B-Splines* (criados basicamente conectando-se curvas); e uma terceira que combina elementos das duas primeiras - modelagem por subdivisão de superfícies. Uma das formas mais comuns de trabalhar essas técnicas é partindo de formas primitivas como planos, esferas, quadrados, cones, e cilindros, fazendo-se modificações nos mesmos - adicionando-se e modificando vértices, por exemplo - até que se atinja o formato desejado.

Texturização - processo de se aplicar cores e textura a um objeto para torná-lo renderizável.

Animação (não como resultado final, mas como fase intermediária) - após a criação dos objetos e personagens, atribuem-se a eles movimentos, criando-se e vinculando-se "armaduras" ou "esqueletos" - instâncias que quando movimentadas modificam o objeto ao qual estão atreladas - ou movimentando-se os objetos livremente e atribuindo a eles posições ao longo de uma "linha do tempo".

Iluminação - os programas de CG baseiam toda a simulação do ambiente 3D por meio de variações na luz, portanto, a iluminação é uma etapa essencial em CG. Ela afeta imensamente o grau de fidedignidade do resultado final. Para "iluminar" a cena, são posicionadas "fontes de luz", e manipulados seus atributos, para que os objetos sejam iluminados conforme desejado.

Renderização - nesta etapa, o computador faz todas as computações necessárias para gerar uma imagem 2D final da cena. O tempo de renderização depende da quantidade de geometria utilizada na cena, do número de luzes, tamanho das texturas e a qualidade e tamanho da imagem que se quer gerar.

1.6 MODELOS E OUTRAS REPRESENTAÇÕES MENTAIS (JOHNSON-LAIRD)

Para Johnson-Laird (1983, p.156, tradução nossa), os seres humanos "não apreendem o mundo diretamente; eles possuem apenas uma representação interna dele, porque a percepção é a construção de um modelo do mundo"⁹. Tais representações não refletem diretamente a realidade, mas a imitam, sendo, portanto, mais simples que as entidades com as quais se relacionam. O autor argumenta que há, ao menos, três tipos principais de representações mentais - modelos mentais, representações proposicionais¹⁰ e imagens, que se inter-relacionam.

Modelos mentais são análogos estruturais do estado das coisas no mundo - como o percebemos ou concebemos. Sua estrutura analógica pode variar consideravelmente, indo desde um grau mínimo de analogia – utilização de unidades separadas como equivalentes a indivíduos, por exemplo – até modelos espaciais multidimensionais e dinâmicos, representando sequências de eventos (*ibid.*). Há que se ressaltar que os modelos mentais não

⁹ "Human beings, of course, do not apprehend the world directly; they possess only an internal representation of it, because perception is the construction of a model of the world" (JOHNSON-LAIRD, 1983, P. 156).

¹⁰ Embora haja semelhança entre o termo aqui empregado - *representações proposicionais* - e aqueles utilizados por Ausubel para tipificar a aprendizagem significativa por recepção - tipo *representacional* e *proposicional* - os contextos e significados a que se referem são sensivelmente distintos, como se verifica pelas definições apresentadas neste capítulo.

encerram representações imagéticas *a priori* (o que os confundiria com as imagens, formas particulares de representação mental), mas podem ser utilizados para construí-las, ou seja, não é necessário “visualizar na mente” determinado estado de coisas no mundo, para que se possa atuar nele por meio de um modelo mental.

As *imagens*, por sua vez, são representações visuais de uma cena ou objeto, passíveis de serem rotacionadas, suprimidas por tarefas visuais concorrentes, utilizadas para representar informação espacial, resolver problemas, ou ainda como auxílio à memória. Do ponto de vista da organização mental, imagens podem ser entendidas como estruturas de alto nível (que encontram correlação com a linguagem de programação de alto nível em computadores), que podem ser trabalhadas diretamente, sem a necessidade de detalhar sua representação última no cérebro (*ibid.*).

Uma característica importante dos modelos e imagens mentais é a sua alta especificidade. Johnson-Laird (*ibid.*) argumenta que só seria possível formar a imagem de um exemplar específico de cada objeto e não de um objeto “geral” que abrangesse sua classe como um todo. No caso de um triângulo, por exemplo, só seríamos capazes de imaginar um triângulo específico por vez (isósceles, escaleno, etc) e não de um triângulo que contemplasse todo o conjunto dos triângulos. Apesar de sua especificidade, nada impede que um modelo específico seja utilizado para representar uma classe geral de objetos, servindo nesses casos como uma mera amostra de uma classe maior.

Representações proposicionais, por sua vez, são representações mentais de proposições verbalmente expressáveis (*ibid.*). Ressalta-se que tais proposições não necessitam estar expressas verbalmente, basta que haja a possibilidade de fazê-lo. Isso decorre do fato de as representações proposicionais serem trabalhadas em uma “linguagem da mente”, não diretamente acessível por introspecção ou observação externa, mas com correlação com a linguagem natural.

Por serem proposições, podem ser verdadeiras ou falsas de acordo com o estado das coisas no mundo. Uma proposição do tipo: "o objeto A está à direita de B", por exemplo, será verdadeira sempre que esta relação tiver correspondência no mundo, seja este real ou imaginário. De acordo com Johnson-Laird (*ibid.*, p. 156, tradução nossa), "proposições podem também se referir a mundos imaginários ou hipotéticos [...] seres humanos podem

evidentemente construir modelos mentais por atos de imaginação e relacionar proposições a tais modelos"¹¹.

Ao contrário das imagens e modelos mentais, as representações proposicionais não possuem grande especificidade, podendo uma única representação proposicional satisfazer uma infinidade de possíveis estados de coisas no mundo. Uma representação proposicional do tipo "ao lado de", por exemplo, satisfaz situações na qual determinado objeto esteja tanto à direita quanto à esquerda de outro. Por outro lado, para que uma imagem ou modelo mental fosse capaz de satisfazer a ambas situações ("à direita de" e "à esquerda de"), seria necessário considerar, dentre a infinidade de possibilidades, ao menos duas imagens ou modelos mentais, um para cada situação hipotética. Nas palavras de Johnson-Laird (*ibid.*, p. 158, tradução nossa), "uma imagem vale mais que mil palavras, mas uma proposição vale uma infinidade de imagens"¹².

No ensino, os *modelos mentais* são construídos pelos alunos quando estes são apresentados a novos conhecimentos e se predispõem a aprender. Essa construção depende de representações internas prévias, relativamente estáveis, que podem modificar-se recursivamente frente às novas informações. Há um claro paralelo entre essa relação e a idéia de *subsunção* de Ausubel, podendo a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (*ibid.*) ser enxergada como uma visão cognitivista contemporânea da estrutura desses conhecimentos prévios (MOREIRA, 2006, p. 10).

1.7 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

David Ausubel (2000) diferencia *aprendizagem mecânica* de *aprendizagem significativa* ao argumentar que a primeira propicia a formação de relações com a estrutura cognitiva do sujeito de forma arbitrária e literal, sem promover a aquisição de significado; enquanto a segunda depende de "relacionar material novo, potencialmente significativo a idéias

¹¹ "Propositions can also refer to imaginary or hypothetical worlds [...] Human beings can evidently construct mental models by acts of imagination and can relate propositions to such models" (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 156).

¹² "A picture may be worth a thousand words, but a proposition is worth an infinity of pictures" (*ibid.*, p. 158).

relevantes na estrutura cognitiva do sujeito"¹³ (*ibid.*, p. 4), os chamados subsunçores (*subsumers*), de forma não-arbitrária e não-literal.

Ressaltamos que, na aprendizagem significativa, o processo de aquisição de informação é complexo, resultando em uma modificação tanto da informação recentemente adquirida, quanto dos subsunçores aos quais a nova informação é ligada. Como nosso aparato cognitivo não lida tão eficientemente com informações arbitrárias e literais - quando comparado à memória de um computador - a aprendizagem mecânica serve apenas para tarefas relativamente curtas, apresentando baixa retenção ao longo do tempo, sendo também mais susceptível à interferência de elementos prévia ou subsequentemente aprendidos - interferência pró e retroativa (*ibid.*).

A aprendizagem significativa pode ocorrer por *recepção* - forma mais comum em qualquer cultura; e por *descoberta*. No primeiro caso, o conteúdo principal é apresentado de modo relativamente acabado ao educando, que deve compreendê-lo e incorporá-lo à sua estrutura cognitiva. Essa incorporação, contudo, requer: um conjunto de elementos capazes de predispor o aluno à aprendizagem significativa (*meaningful learning set*); e que o material seja potencialmente significativo. Este último pressupõe que o material possua um *significado lógico* - uma relação não-arbitrária e substantiva com idéias relevantes dentro do domínio da aptidão humana; e ser relacionável a idéias relevantes na estrutura cognitiva do sujeito em particular, *idéias-âncora* (AUSUBEL, 2000), em outras palavras, possuir um *significado psicológico* - pessoal, fenomenológico e idiossincrático. Caso a intenção do sujeito seja a de memorização literal e arbitrária, contudo, a aprendizagem será mecânica independente de quão potencialmente significativo possa ser o material (*id.*, 1968), motivo pelo qual o fator motivacional é tão relevante.

Moreira (2006) destaca o papel da *pré-disposição do sujeito para aprender* e identifica, na visão clássica da aprendizagem significativa, o *conhecimento*¹⁴ *prévio dos alunos* como fator isolado que mais influencia a aprendizagem.

Há três tipos de aprendizagem significativa por recepção (AUSUBEL, 2000):

*Representacional*¹⁵ - mais próxima da aprendizagem mecânica, ocorre quando símbolos arbitrários são apresentados com significados equivalentes a seus referentes.

¹³ "[...] relating new, potentially meaningful material to relevant ideas in the learner's cognitive structure" (AUSUBEL, 2000, p. 4).

¹⁴ Ausubel (*ibid.*, p. x, tradução nossa) entende por conhecimento: memórias "significativas, de longo prazo, aprendidas significativamente, e organizadas", em oposição a memórias "isoladas ou distribuídas randomicamente".

Conceitual - parte da definição de conceito como "objetos, eventos, situações, ou propriedades que possuem atributos criteriosais comuns e são designados pelo mesmo signo ou símbolo"¹⁶ (*ibid.*, p. 2, tradução nossa). Pode ocorrer por dois métodos gerais: formação de conceitos - atributos adquiridos por experiência, que é mais comum em crianças pequenas; e assimilação de conceitos - novas combinações de referentes existentes (método mais comum em crianças em idade escolar e adultos).

*Proposicional*¹⁷ - proposições potencialmente significativas são relacionadas a, e interagem com, idéias relevantes na estrutura cognitiva do sujeito, gerando novos significados. A tarefa educacional ou proposição potencialmente significativa "consiste de uma idéia composta expressa verbalmente em uma sentença contendo palavras com significados tanto denotativos como conotativos, e a função sintática das relações entre palavras"¹⁸ (*ibid.*, p.2-3, tradução nossa).

A aprendizagem proposicional, por sua vez, pode ser (*ibid.*):

Subordinada - quando uma proposição logicamente significativa (não necessariamente válida lógica e empiricamente) se relaciona a proposições superordenadas na estrutura cognitiva do aprendiz. Caso a material a ser aprendido apenas exemplifique ou dê suporte a uma idéia prévia, a aprendizagem é chamada *derivativa*. Caso seja uma "extensão, elaboração, modificação, ou qualificação de uma proposição anteriormente aprendida"¹⁹ (p. 3, tradução nossa), é chamada *correlativa*.

Superordenada - quando a nova proposição se relaciona a idéias subordinadas na estrutura cognitiva prévia, ou a idéias relevantes gerais que podem ser subsumidas nela.

Combinatória - quando uma proposição potencialmente significativa se relaciona de modo genérico e inespecífico a estruturas cognitivas do sujeito, não sendo essa relação de subordinação ou superordenação.

A aprendizagem por subordinação, de acordo com Ausubel (1968), é mais fácil que aquela que ocorre por superordenação. Seria mais simples para os seres humanos, portanto,

¹⁵ Embora haja semelhança entre o termo aqui empregado - *representacional* - e aqueles empregados por Johnson-Laird (1983) - *representações mentais* e *representações proposicionais* - os contextos e significados a que se referem são sensivelmente distintos, como se verifica pelas definições apresentadas neste capítulo.

¹⁶ "[...] objects, events, situations, or properties that possess common criterial attributes and are designated by the same sign or symbol" (AUSUBEL, 2000, p. 2).

¹⁷ Embora haja semelhança entre o termo aqui empregado - *proposicional* - e aquele empregado por Johnson-Laird (*op. cit.*) - *representações proposicionais* - os contextos e significados a que se referem são sensivelmente distintos, como se verifica pelas definições apresentadas neste capítulo.

¹⁸ "[...] consists of a composite idea that is expressed verbally in a sentence containing both denotative and connotative word meanings, and the syntactic functions of and [*sic*] relations between words" (AUSUBEL, *op. cit.*, p. 2-3).

¹⁹ "[...] extension, elaboration, modification, or qualification of previously learned propositions" (*ibid.*, p. 3).

compreender aspectos diferenciais de idéias mais inclusivas, aprendidas anteriormente, que formular um todo mais inclusivo a partir de aspectos diferenciais. Tal hierarquia também estaria presente na própria organização do conteúdo na estrutura mental do indivíduo.

De acordo com Ausubel (2000, p. 102, tradução nossa):

O processo de assimilação sequencial de novos significados por exposições sucessivas a novos materiais, potencialmente significativos, resulta em *diferenciação progressiva* de conceitos ou proposições, no conseqüente refinamento de significados, e no aumento da potencialidade de prover ancoragem para posterior aprendizagem significativa²⁰.

Para atender ao princípio da *diferenciação progressiva*, a organização dos materiais educativos deve partir de tópicos mais inclusivos e seguir por assuntos mais específicos e menos inclusivos. Nesse contexto, possuem relevância os *organizadores prévios* - "materiais introdutórios, em um nível mais alto de generalidade e abstração do que o material que deve ser aprendido, cuja principal função é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber" (MOREIRA, 1999, p. 54).

Durante a aprendizagem significativa, quando uma nova idéia (representada aqui por "a") se relaciona e interage com uma idéia relevante e estabelecida (representada por "A") na estrutura cognitiva do sujeito, ambas se modificam e dizemos que houve *assimilação* de a em A (no caso de haver subordinação). As idéias modificadas formam um produto interacional intermediário instável A'a', que ao final do processo pode vir a se tornar indissociável (AUSUBEL, *op. cit.*).

O princípio da *reconciliação integrativa*, por sua vez, implica relacionar continuamente novas situações com as idéias anteriormente aprendidas, de modo a favorecer a *assimilação* e a *retenção* de significados (AUSUBEL, 1968).

A diferenciação progressiva não implica a unidirecionalidade da instrução. Embora seja interessante partir de uma idéia mais inclusiva para gradativamente chegar ao particular, deve-se fazer constantes referências ao geral, promovendo simultaneamente a reconciliação integrativa (MOREIRA, *op. cit.*).

²⁰ "The process of sequential assimilation of new meanings from successive exposures to new, potentially meaningful materials results in progressive differentiation of concepts or propositions, in the consequent refinement of meanings, and in enhanced potentiality for providing anchorage for further meaningful learning" (AUSUBEL, 2000).

1.8 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, MODELOS MENTAIS E O ENSINO DE CIÊNCIAS

De acordo com Moreira (2006), embora apropriada, a idéia clássica de Ausubel de interação entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios traz pouca informação sobre como se dá esse processo. Para o autor, a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983) oferece uma explicação nesse sentido. O sujeito construiria modelos mentais - primeiro passo para uma aprendizagem significativa - e de forma recursiva modificaria o modelo durante o processo de negociação de significados, tantas vezes quanto necessário. O papel dos subsunçores aqui é fundamental, uma vez que os modelos mentais são construídos a partir de elementos da estrutura cognitiva do sujeito e daquilo que este percebe da situação:

Na ótica da psicologia cognitiva atual, a mente humana é vista como um sistema computacional representacional. A mente recebe informações sensoriais do mundo, processa tais informações, i.e., computa, e gera representações de estados de coisas do mundo. Essas representações mentais são maneiras de re-presentar internamente o mundo externo (MOREIRA, *op. cit.*, 41, p. 10).

Os *modelos consensuais* apresentados de forma a facilitar a compreensão ou o ensino são chamados de *modelos de ensino* (Gilbert e Boulter, 2000) - definidos por alguns autores como *modelos conceituais* (MOREIRA; LAGRECA, 1998, p. 83) - e sua função é possibilitar que a partir deles, os alunos formem seus próprios modelos mentais, alterando-os, de forma recursiva, até que sejam funcionais e tenham correspondência com os conhecimentos cientificamente aceitos. Quando isso ocorre, verificamos a aprendizagem significativa. De acordo com (MOREIRA, 1996), p. 201:

Os modelos conceituais são delineados, projetados, por pessoas que usam modelos mentais, para facilitar a compreensão de sistemas físicos por parte de outras pessoas que também utilizam modelos mentais. No ensino, o professor ensina modelos conceituais e espera que o aprendiz construa modelos mentais consistentes com esses modelos conceituais que, por sua vez, devem ser consistentes com os sistemas físicos modelados. Os modelos conceituais são, portanto, instrumentais, meios não fins. O objetivo do ensino é, através de modelos conceituais, levar o aprendiz a formar modelos mentais adequados (i.e., consistentes com os próprios modelos conceituais) de sistemas físicos. Quer dizer, a mente humana opera só com modelos mentais, mas modelos conceituais podem

ajudar na construção de modelos mentais que explicam e predizem consistentemente com o conhecimento aceito em uma certa área.

O conhecimento de definições e fórmulas não indica, por si só, a construção de um modelo mental. Quando não há construção de um modelo mental, o aluno não faz conexões conceituais, trabalhando apenas com proposições desconexas. Apenas quando o aluno, com base nos conhecimentos adquiridos, demonstra capacidades explicativas e preditivas, verificamos a existência de um modelo mental subjacente (GRECA; MOREIRA, 1996, p.100). Nas palavras de Moreira e Lagreca (1998, p. 87):

[...] a pessoa que constrói um modelo mental de algum estado de coisas do mundo, algum fenômeno físico, por exemplo, chega a compreendê-lo, e à sua maneira, é capaz de explicá-lo e fazer previsões sobre ele. Reciprocamente, se a pessoa é capaz de explicar e fazer previsões sobre um certo fenômeno físico é porque tem um modelo mental dele, embora não necessariamente correto do ponto de vista da Física.

Ter um modelo mental de determinado assunto em ciência não implica que este seja preciso ou exato, pelo contrário, um modelo mental está sempre sujeito a revisões. O confronto do modelo com novas situações é uma possibilidade de testar a aplicabilidade cognitiva do mesmo, e, no caso de este não ser aplicável, de modificá-lo (TAUCEDA; DEL PINO, 2010). A construção de um modelo mental, portanto, não é garantia de uma aprendizagem significativa, que ocorre apenas quando esse modelo mental é funcional e consistente com os sistemas físicos reais.

Outro aspecto a ser considerado quando se pretende verificar a ocorrência da aprendizagem significativa é o fato de em certas circunstâncias, e para atender às expectativas do professor, os alunos optarem deliberadamente por uma aprendizagem mecânica de termos e expressões (utilizando-os em suas respostas), ao invés de fazer um esforço genuíno para compreender o que significam (AUSUBEL, 2000).

Moreira (1999, p. 62) chama atenção para o fato de que, embora a aprendizagem significativa implique cada vez mais a utilização, pelo aluno, de "significados compartilhados no contexto da matéria de ensino", isto não necessariamente significa que este abandonou os conceitos antigos e "errôneos" que possuía, podendo utilizá-los em determinadas situações dependendo do contexto.

1.8.1 Modelos de ensino em ciências: algumas limitações

A função dos modelos de ensino em ciências é favorecer a construção pelos alunos de modelos mentais e modificar aqueles existentes, para que sejam aplicáveis, o que tem se mostrado um grande desafio para educadores das mais diversas áreas.

A dificuldade justifica-se, em parte, pela forma de apresentação dos conteúdos nos modelos de ensino presentes nos diversos recursos didáticos. Moreira e Krey (2006), ao estudarem as representações mentais que alunos tinham de conceitos físicos referentes à “Lei de Gauss” constataram que os alunos não chegavam a construir um modelo mental de superfície gaussiana, mas apenas imagens isoladas de superfícies esféricas ou cilíndricas (o que excluiria outras possíveis formas como cúbica, oval, etc). Os autores argumentam que a apresentação do assunto nos livros de texto, ao invés de favorecer a construção de tais modelos, parecia dificultar o processo, ao estimular uma aprendizagem mecânica da lei.

O *modo visual* é um dos mais comuns modos de representação de modelos consensuais em ciências, em especial no ensino de biologia. Embora não se limitem às figuras e ilustrações estáticas do livro didático, estas são as expressões visuais mais recorrentes em sala de aula, sendo problemáticas para o ensino na visão de alguns autores.

Palmero (2003, p. 230) afirma que os desenhos utilizados para se representar a célula são protótipos idealizados que incorporam uma série de organelas e estruturas que dificilmente seriam visualizadas desta maneira em uma célula real. A célula é vista de forma fragmentada, estudando-se cada organela celular separadamente, sob um enfoque predominantemente anatômico, em detrimento de um enfoque funcional e integrador. Muito pouca correlação é feita com uma célula real.

A autora, ao estudar os modelos mentais de célula, de jovens entre 17 e 18 anos, observou dificuldades dos estudantes em modelar uma célula em ação, com vistas a seu funcionamento, e relacionando estruturas a seu comportamento real. Nesse processo, o esquema gráfico oferecido pelos livros textos pode estar influenciando de forma negativa na construção de modelos mentais mais explicativos e preditivos.

Tauceda e Del Pino (2010, p. 347-348) também argumentam que as figuras do livro didático nem sempre melhoram a aprendizagem, podendo dificultar a reelaboração mental dos alunos, se tornando um entrave à construção de modelos mentais. Em suas pesquisas, os autores encontraram forte correlação entre a utilização de figuras do livro didático pelos estudantes e dificuldades para a construção de modelos. De um total de 53 alunos que

utilizaram esse recurso, apenas 17% foram capazes de construir modelos, em contrapartida a 56% (de um total de 45 alunos) que não utilizaram as figuras. Sobre as figuras de DNA presentes no livro didático os autores (*ibid.*, p. 349) afirmam que:

As figuras não propõem modelos mentais. Além de serem descontextualizadas (em nenhum momento fazem relação com a célula ou o núcleo), o processo representado não explica, seja através de imagens ou proposições, a importância do fenômeno biológico da replicação do DNA para a vida da célula. Os símbolos utilizados para representar os nucleotídeos são abstratos e o DNA representado também apresenta problemas semelhantes.

Dadas as deficiências apontadas nos materiais de ensino utilizados em ciências, especialmente na área de biologia, há a necessidade de se refletir sobre os desenhos e esquemas utilizados para representar temas biológicos, questionando sua validade e propondo a busca de outras formas de representação mais eficazes na construção de modelos mentais.

Dentro dessa perspectiva, a utilização concomitante de modelos 3DR (possibilidade de manipulação direta com respostas multissensoriais) e modelos 3DV gerados por CG (possibilidade de visualização tridimensional e dinâmica de processos) podem constituir uma alternativa às imagens estáticas e pouco contextualizadas dos livros didáticos.

Ressaltamos, contudo, que os modelos possuem limitações de ordem prática. Algumas são comuns a todos materiais didáticos, como a necessidade de delimitação do tema e enfoque, outras são mais específicas para esse tipo de representação, como tempo elevado de modelagem e renderização, e a necessidade de um computador e projetor para utilização em sala.

1.9 O SISTEMA DIGESTÓRIO

A metáfora da "máquina viva", emprestada da engenharia, está relacionada à divisão do corpo em uma série de sistemas integrados: esquelético; muscular; nervoso; endócrino; circulatório; respiratório; imunológico; digestório (também referido como digestivo); urinário; tegumentar; e genital, sendo seu número e extensões exatas discutíveis e dependentes do enfoque desejado. A anatomia estuda a estrutura desses sistemas e suas partes constituintes - células, tecidos e órgãos - enquanto a fisiologia dá conta de seus processos e funcionamento (PARKER, 2007).

Longe de querer reduzir a complexidade estrutural e funcional do corpo humano, com sua extensa rede de inter-relações intra e extra-corpóreas, nossa opção por essa classificação se justifica pela extensa gama de materiais e métodos de ensino que a utilizam, e pela necessidade prática de delimitação do tema.

O sistema digestório é basicamente constituído por um ducto ou tubo, dividido tipicamente em cavidade bucal, faringe, esôfago, estômago, intestinos (delgado e grosso) e anus; e de órgãos a ele conectados - dentes, língua, glândulas salivares, fígado, vesícula biliar e pâncreas. De acordo com (HILDEBRAND, 1995, p.221), possui como funções:

(1) receber o alimento ingerido, (2) estocá-lo temporariamente, (3) reduzi-lo fisicamente, (4) e ainda, reduzi-lo quimicamente, (5) absorver os produtos da digestão e (6) reter temporariamente os restos não digeridos e, então, eliminá-los.

As funções de redução química e absorção não foram representadas a nível molecular, o que demandaria a abordagem de conceitos de química que fugiam ao escopo do trabalho e a modelagem de todo um novo conjunto de modelos 3DV.

1.9.1 Sistema digestório e concepções dos alunos

Banet e Nuñez (1988) apontam as principais incongruências entre as concepções de alunos (sexto ano do ensino fundamental ao universitário) e professores sobre conceitos cientificamente aceitos da anatomia do sistema digestório, e alguns de seus processos e funções.

A importância desse trabalho para nós se justifica por dois motivos: (1) serviu como uma primeira aproximação das possíveis concepções que iríamos encontrar; (2) utilizou em sua metodologia representações pictóricas dos alunos - *representações externas* - como forma de acessar suas idéias sobre o tema - *representações internas*.

Dentre os principais erros manifestos encontrados pela autora, destacamos:

Quanto aos órgãos componentes do tubo digestório - ausência de faringe e/ou esôfago; substituição de faringe por laringe ou inclusão de ambas antes do estômago (não supõe necessariamente que os alunos imaginem as vias aéreas como comuns à digestiva, embora

isso ocorra em um número reduzido de alunos); não relação entre o fígado e pâncreas com o aparato digestivo; e inclusão dos rins como parte do aparato digestivo.

Quanto à ordem dos órgãos do tubo digestório - esôfago posicionado antes da faringe (poucos casos); entendem que o intestino grosso está localizado entre o estômago e o intestino delgado - com claras implicações para a compreensão do processo digestivo e da absorção; esquemas com alto grau de anomalias, como considerar o estômago anterior à faringe ou posterior ao intestino delgado.

Quanto às secreções do fígado e pâncreas - estômago como local de destino dessas secreções; e idéia de que uma glândula verte em outra sua secreção antes que esta chegue ao tubo digestivo, ambos verificados em um grande número de casos.

Quanto às relações com o aparato digestivo e excretor - idéia de comunicação mediante um tubo dos sistemas excretores ao aparato digestivo; e aparente noção de uma dupla via de absorção para sólidos e líquidos.

Os autores descrevem as seguintes categorias para os principais erros manifestos: falhas de memória; existência de confusões mais ou menos sistemáticas; e representações que constituem verdadeiros "esquemas alternativos", de grande persistência.

Uma hipótese levantada no estudo, quanto aos equívocos sobre o local de destino das secreções do fígado e pâncreas, é a proximidade do estômago aos órgãos citados, nas representações dos livros didáticos. Acreditamos que, adicionalmente a isso, uma possível causa seja a dificuldade de visualização, ou pouco destaque dado aos dutos que os conectam ao intestino delgado, nas figuras e esquemas utilizados pelo professor, motivo pelo qual escolhemos

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho foi investigar quais características de modelos tridimensionais reais (3DR) e virtuais (3DV) de anatomia e fisiologia do sistema digestório, bem como de seu uso concomitante, permitem ou não, a alunos de ensino médio na modalidade EJA do Centro de Ensino Médio 3 (CEM3) - Ceilândia, construir representações mentais mais consistentes com os modelos científicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as representações mentais, dentro da perspectiva de Johnson-Laird (1983), que estudantes de uma turma de ensino médio na modalidade EJA possuem acerca da anatomia e fisiologia do sistema digestório.

- Discutir a utilização concomitante de modelos 3DR e 3DV por alunos de EJA no ensino médio.

- Delimitar os requisitos necessários ao desenvolvimento de modelos de ensino em biologia, expressos como modelos 3DR e 3DV, que favoreçam a construção de modelos mentais pelos alunos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Discutimos neste capítulo a escolha da abordagem metodológica para realização do estudo, os instrumentos utilizados, o contexto de realização, as etapas da pesquisa propriamente dita e aquelas que a antecederam.

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Tratamos aqui de uma pesquisa qualitativa, entendida por Esteban (2010, p. 127) como "atividade sistemática orientada à compreensão em profundidade de fenômenos educativos e sociais, à transformação de práticas e cenários socioeducativos, à tomada de decisões e também ao descobrimento e desenvolvimento de um corpo organizado de conhecimentos".

A escolha dessa abordagem se justifica por entendermos que o estudo das representações mentais implica, dentro do contexto a que se propõe esta pesquisa, uma visão detalhada sobre o outro, que incorpore o discurso dos sujeitos, seus comportamentos, gestos, atitudes, pensamentos e toda a gama de relações manifestadas dentro de sala de aula.

Nosso estudo só encontra sentido se pudermos adentrar o universo individual dos alunos e enxergarmos a forma como interagem com o mundo e como o mundo interage com eles, em uma via de mão dupla na qual o pesquisador é ao mesmo tempo representador e representado.

Para avançar para esse "domínio de complexidades", como coloca Kincheloe (2007, p.16-18) assumimos o papel de *bricoleur* que entende "que a interação dos pesquisadores com os objetos de suas investigação é sempre complicada, volátil, imprevisível e, certamente, complexa", lançando mão de todas as ferramentas disponíveis para realizar a tarefa de pesquisa. O pesquisador deve, portanto, ser um "navegador de águas agitadas, traçando um curso que descreve a jornada entre o científico e o moral, a relação entre o quantitativo e o qualitativo, e a natureza das idéias sociais, culturais, psicológicas e educacionais".

Valer-se da bricolagem não implica um abandono dos métodos em pesquisa, ainda que o *bricoleur* possa subverter-se a eles, enquanto utiliza "a 'razão prática' da bricolagem, que opera em cenários concretos para conectar teoria, técnica e conhecimentos oriundos da experiência". Os métodos servem como uma forma de justificar o que o pesquisador afirma saber e o processo por meio pela qual o sabe (*ibid.*, p. 17-19).

Desta forma, nos valemos de instrumentos consagrados dentro do campo da pesquisa qualitativa e baseamos nossa análise na teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983) e da aprendizagem significativa de Ausubel (2000), mas sem deixar de considerar a polissemia, a construção discursiva, a intertextualidade, e o aspecto interpretativo de todo conhecimento.

Não nos propomos a dar respostas definitivas e a colocar as representações dos alunos e suas correlações com os modelos tridimensionais em caixas estanques, esgotando o assunto e apresentando-o de modo acabado. Nossa análise é, antes de mais nada, uma perspectiva sobre as perspectivas dos sujeitos pesquisados e dos teóricos nos quais baseamos nosso referencial teórico.

3.2 TÉCNICA E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

A técnica utilizada nesta pesquisa foi a *observação participante* e os instrumentos foram: *representações pictóricas* (desenhos) produzidas pelos alunos; e *entrevistas individuais*.

3.2.1 Observação participante

Por serem internas, as representações mentais são de difícil acesso e só podem ser estudadas quando externalizadas pelos sujeitos. A análise dessas externalizações, por sua vez, exige que o observador as interprete da óptica do sujeito, motivo pelo qual a observação participante, que exige "um esforço deliberado para colocar-se no lugar do outro, e tentar ver e sentir, segundo a ótica, as categorias de pensamento e a lógica do outro" (ANDRÉ, 2008, p. 26), se torna relevante.

Observar as interações entre indivíduos - alunos, professor, pesquisador - entre eles e os materiais de ensino, e com a escola, exige o olhar atento *do pesquisador*. De acordo com Triviños (2010, p.153), o ato de observar consiste em:

[...] destacar de um conjunto (objetos, pessoas, animais etc.) algo especificamente, prestando, por exemplo, atenção em suas características (cor, tamanho etc.). Observar um "fenômeno social" significa, em primeiro lugar, que determinado evento social, simples ou complexo,

tenha sido abstratamente separado de seu contexto para que, em sua dimensão singular, seja estudado em seus atos, atividades, significados, relações, etc.

A técnica da observação participante é aquela na qual o pesquisador se insere "no interior do grupo observado, tornando-se parte dele, interagindo por longos períodos com os sujeitos, buscando partilhar o seu cotidiano para sentir o que significa estar naquela situação" (QUEIROZ; VALL; SOUZA; VIEIRA, 2007, p. 278). Parte do pressuposto de que o ato por si só, não tem significado, devendo ser analisado considerando-se quem o originou e sob quais circunstâncias. De acordo com GASKELL (2008, p. 72):

Na observação participante, o pesquisador está aberto a uma maior amplitude e profundidade de informação, é capaz de triangular diferentes impressões e observações, e consegue conferir discrepâncias emergentes no decurso do trabalho de campo

As impressões do pesquisador, *insights*, descrições, relatos de eventos e decisões metodológicas foram registrados em um livro-diário, que fez parte do *corpus* de nossa pesquisa.

3.2.2 Representações pictóricas

As representações externas dos alunos têm sido estudadas por diversos autores na análise das representações mentais no ensino de ciências, combinando-se, na maioria dos casos, mais de um instrumento de coleta de dados, nas formas de: desenhos (TAUCEDA; DEL PINO, 2010); desenhos e entrevistas (VOSNIADOU, 1992); questionários em grupo e observações de campo (MOREIRA; KREY, 2006); testes, entrevistas e observações de campo (GRECA; MOREIRA, 1996); desenhos, entrevistas e observações de campo, testes, e mapas conceituais (MOREIRA; LAGRECA, 1998); desenhos, entrevistas, testes, mapas conceituais, questionários individuais (inicial e final), e interpretação de um similar de célula (PALMERO, 2003; PALMERO; ACOSTA; MOREIRA, 2001).

Uma dificuldade em se utilizar desenhos reside no fato de o indivíduo poder estar representando algo já visto, por mera imitação, não necessariamente tendo construído um modelo mental do assunto (PALMERO; ACOSTA; MOREIRA, *ibid.*). Para tentar contornar esse viés metodológico, utilizamos uma questão motivadora que não era passível de resposta

por mera repetição de conhecimentos, requerendo do aluno a capacidade de aplicar os conhecimentos frente a uma situação complexa, demandando o confronto entre o problema apresentado e seus modelos mentais.

Outra dificuldade metodológica desse instrumento diz respeito às diferenças individuais quanto à competência para representação pictórica que pode levar à errônea assunção de uma correspondência entre a qualidade do desenho e a complexidade das representações mentais. Por este motivo, associado ao fato de a análise isolada de desenhos não ser capaz de contemplar todas as representações mentais com as quais um indivíduo pode representar uma mesma situação, os utilizamos em associação às observações de campo e entrevistas individuais.

Os desenhos foram utilizados em dois momentos durante a pesquisa: na fase inicial, de diagnóstico das representações prévias; e na fase final, de avaliação, e são apresentados nos tópicos 5 e 7.

3.2.3 Entrevistas individuais

A entrevista qualitativa desempenha um papel fundamental combinado a outros métodos, oferecendo "informação contextual valiosa para ajudar a explicar achados científicos" (GASKELL, 2008, p.66). Em nosso estudo, a utilizamos de modo complementar aos desenhos, tanto para explicá-los como para fornecer pistas sobre aspectos não representados e a dinâmica cognitiva do sujeito.

Elegemos as entrevistas individuais, entendidas como uma conversa um a um, uma interação dialógica, na qual há um papel relacional incomum entre as partes. Espera-se do entrevistador que faça perguntas e do entrevistado que as responda, sendo o tópico uma escolha do entrevistador. Para que a entrevista transcorra a contento, é necessário que o entrevistado esteja à vontade para responder às perguntas estabelecendo uma relação de confiança e segurança com o entrevistados, o que é chamado de *rapport* (*ibid.*).

No contexto de uma escola, há uma relação desigual entre professor e estudantes, baseada muitas vezes em uma dinâmica de avaliações cujas respostas do aluno surtem efeito em sua vida escolar e pessoal - notas ruins são normalmente associadas a fracasso e repreensões. O pesquisador que assume a postura de professor, ou se coloca ao lado deste em um contexto de

pesquisa, deve estar atento a essa influência quando analisa as respostas dos alunos durante uma entrevista.

Para minimizar o efeito de desconfiança do aluno e estabelecer um *rapport*, deixamos claros os objetivos da entrevista ressaltando em seu início que eles não estariam sendo avaliados por suas respostas.

Planejamos nossas entrevistas tendo como tópico guia, que é planejado para dar conta dos fins e objetivos da pesquisa (*ibid.*), uma série de títulos sobre o sistema digestório que incluíam: (a) saliva e local de produção; (b) caminho percorrido por ar e alimentos sólidos/líquidos; (c) posição relativa e funções do esôfago, estômago, intestino delgado e intestino grosso; e (d) localização e funções do fígado, vesícula e pâncreas.

As entrevistas foram realizadas tanto antes das atividades em sala, para análise dos desenhos iniciais, como depois, para avaliação dos resultados. Incluímos uma segunda etapa na entrevista final que teve como objetivo, além de fomentar a avaliação das atividades, levantar informações adicionais quanto à interação dos alunos com os modelos 3DR e 3DV de modo concomitante.

O registro das entrevistas foi feito por gravação de áudio e vídeo, sendo literalmente transcritos posteriormente, incluindo: pausas, hesitações, risos, repetições, gestos e observações de contexto. Os símbolos utilizados encontram-se no Anexo A e foram retirados da obra de Marcuschi (2006).

3.3 DESCRIÇÃO DO CONTEXTO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

O Centro de Ensino Médio 3 (CEM3) está localizado em Ceilândia, região administrativa densamente habitada do Distrito Federal (DF). De acordo com os dados do Censo Escolar de 2006, o CEM3 registrou no mesmo ano 607 matrículas apenas para o Ensino Médio na modalidade EJA. Em 2010, entre o total da população da Ceilândia, foram declaradas 25 mil pessoas que teriam idade para ter concluído o Ensino Médio, mas que até então possuíam apenas o ensino fundamental completo (o que equivale a 12% das pessoas nessa situação no DF). Este número aumentou em comparação a 2006 a uma taxa superior à verificada para o restante do DF (CASTIONI, 2011).

O interesse pela Educação de Jovens e Adultos, e particularmente pelo CEM3, surgiu de um projeto anterior envolvendo a *Transiarte* - entendida como a corrente da ciberarte que

promove um elo entre o presente não virtual e o espaço interativo virtual (TELES, 2007) - no qual foi possível identificar uma série de diferenças entre os modelos expressos pelos alunos em seus discursos e modelos científicos em biologia. Embora vislumbremos as potencialidades da Transiarte para se acessar o conteúdo mental subjacente dos alunos por meio de suas expressões artísticas, a metodologia utilizada - de produção de vídeos com os alunos - demanda uma apropriação de técnicas de produção de arte digital que fogem aos objetivos do presente trabalho.

A pesquisa foi realizada entre os meses de Junho a Dezembro de 2011, com duas turmas de segundo ano na modalidade EJA, ambas do período noturno, cujas aulas tinham início às dezenove horas e término às onze.

Ao todo participaram da pesquisa 22 alunos, sendo: nove alunos para o 2º G, e treze alunos para o 2º H. Ambas as turmas cursavam a disciplina de Biologia com o Prof. Rômulo, que participara do projeto supramencionado. Dos 22 participantes, apenas oito participaram de pelo menos um momento de todas as etapas e foi neles que focamos o nosso estudo, embora as informações sobre os demais participantes também tenham auxiliado nossa pesquisa.

A estes oito alunos, atribuímos nomes fictícios de modo a manter o anonimato dos sujeitos. Deste modo, quando tratarmos dos resultados da pesquisa, nos referiremos a eles como: Alexandra, Carlos, Fernando, Raissa, Ricardo, Simone e Sofia, do 2ºH, e Tereza, do 2ºG.

A diferença no número de sujeitos considerados entre as duas turmas se justifica por dois motivos principais: primeiro, número total de alunos, menor no 2ºG; e segundo, esta turma, ao contrário do 2ºH, possuía aulas duplas, o que dificultou aplicar cada etapa da pesquisa em mais de um momento. Acrescente-se a isso o fato de as aulas duplas serem ministradas nos dois primeiros horários de aula da escola, que apresenta maior número de ausências e atrasos, conforme observado no decorrer da pesquisa.

Em suas justificativas pessoais para as ausências, os alunos relataram dentre seus motivos: cansaço após o trabalho, morte de parentes, problemas em casa, incertezas quanto ao cancelamento do dia letivo ou ausência dos professores. Este último encontra correlação com o fato de, durante a pesquisa, terem ocorrido paralisações e assembleias durante o período matutino que, segundo relatos de professores e alunos, se refletia também no turno da noite, com ausência de professores. Embora tenhamos expressamente comunicado que as aulas do Prof. Rômulo não seriam afetadas pelos acontecimentos, alguns alunos relataram que devido à incerteza quanto às demais disciplinas optaram por não comparecer.

Para tentar contornar o fato, realizamos as etapas de entrevista em horários alternativos aos da disciplina de biologia, retornando à escola conforme a disponibilidade dos alunos. Quanto às atividades em sala, este procedimento não seria adequado uma vez que nosso objetivo era analisar a utilização dos modelos dentro do contexto da disciplina. Como alternativa, estas etapas foram realizadas em duas aulas cada, que para o 2ºH correspondia a dois momentos. Desta forma, ainda que os alunos não estivessem presentes em uma das aulas, poderiam participar de atividades semelhante na aula seguinte. O mesmo procedimento não foi possível para o 2ºG uma vez que esta turma tinha aulas duplas da disciplina.

3.4 ETAPAS ANTERIORES À PESQUISA

As etapas que antecederam a pesquisa podem ser divididas em três fases principais: avaliação preliminar do Modelo 3DR; criação do Modelo 3DV; e criação da interface interativa.

3.4.1 Avaliação preliminar do Modelo 3DR da escola

Foi montado um *mapa conceitual* (Apêndice A) para o sistema digestório, entendido como um diagrama hierárquico que procura "refletir a organização conceitual de uma disciplina ou de parte dela" (MOREIRA, 2006, p. 46). Em seguida, analisou-se o modelo 3DR pertencente à escola, à luz das recomendações de Banet e Nuñez (1988), e tomando como referencial bibliográfico os livros de Parker (2007) e Hildebrand (1995).

A avaliação preliminar do Modelo 3DR indicou algumas características que poderiam constituir um entrave à visualização de determinadas estruturas do sistema digestório. As principais deficiências verificadas são detalhadas por região anatômica:

Boca (Figura 4A) – conexão entre a cavidade bucal e faringe pouco evidente. Dentes não estavam detalhados, tampouco o espaçamento entre estes, língua e a mucosa bucal.

Glândulas salivares (Figuras 4A e B) – exceto pelas submandibulares, as demais, parótida e sublingual, não estavam representadas aos pares, ficando visíveis apenas em um dos lados do

modelo. O ducto salivar parotídeo não era evidente e seu final não estava representado. O ducto salivar da glândula submandibular não estava presente.

Faringe – não visualizada de forma clara, estando encoberta por outras estruturas (Figuras 4A e C).

Esôfago (Figura 4D) – sua porção inicial não era representada (Figura 4C), e a tridimensionalidade de sua porção mediana era indicada por uma leve concavidade, não se destacando no modelo. A conexão de sua porção final ao estômago só era possível de ser visualizada com a retirada deste.

Duodeno (Figuras 4H, I e J) – conexão entre duodeno e a porção seguinte do intestino delgado era pouco evidente, mesmo quando o estômago e cólon transversal do intestino grosso eram retirados. O mesmo ocorria com a conexão com o ducto biliar.

Fígado e vesícula biliar (Figura 4K e L) – são apresentadas na mesma peça, diferenciadas por indicação de relevo e cor. Não é possível visualizar a vesícula como estrutura oca, tampouco há indicação de seu conteúdo. Sua conexão com o duodeno também é pouco evidente.

Pâncreas (Figura 4J) – coloração muito distinta da esperada para o órgão. O ducto, que se conecta ao duodeno, era indicado como estrutura externa, não ficando evidente ser oco.

Intestino Delgado (Figuras 4H, I e M) – representado como um bloco sólido com relevo discreto indicando estrutura tubular. Exceto pelo duodeno, não há indicação de que seja uma estrutura oca. Conexão com duodeno e intestino grosso pouco evidente, necessitando sua retirada para visualização (Figuras 4N e O).

Intestino Grosso (Figuras 4H, I e P) - no geral, indicado como uma estrutura sólida, exceto por sua porção inicial na qual há concavidade mais acentuada indicando esse aspecto após retirada de uma peça que ali se encaixa (Figura 4Q). Conexão com intestino delgado e reto pouco evidentes.

Reto (Figuras 4R e S) – conexão com intestino grosso pouco evidente. Não aparenta ser uma estrutura oca quando observada no modelo, ficando esse aspecto visível apenas quando as duas metades da peça na qual ele é representado são separadas (Figura 4T).

Além das deficiências apontadas, o modelo não permitia a observação de processos dinâmicos como a passagem do bolo alimentar pelo trato digestório, secreções das glândulas salivares, do fígado, vesícula biliar e pâncreas.

Com base nas características supramencionadas, foi feita a construção do modelo 3DV de modo a complementar o modelo 3DR durante a aplicação em sala de aula.

Após as atividades em sala e a análise dos desenhos e entrevistas finais, procedemos a nova avaliação do modelo, oportunidade na qual discorremos sobre sua influência nas representações mentais dos alunos.

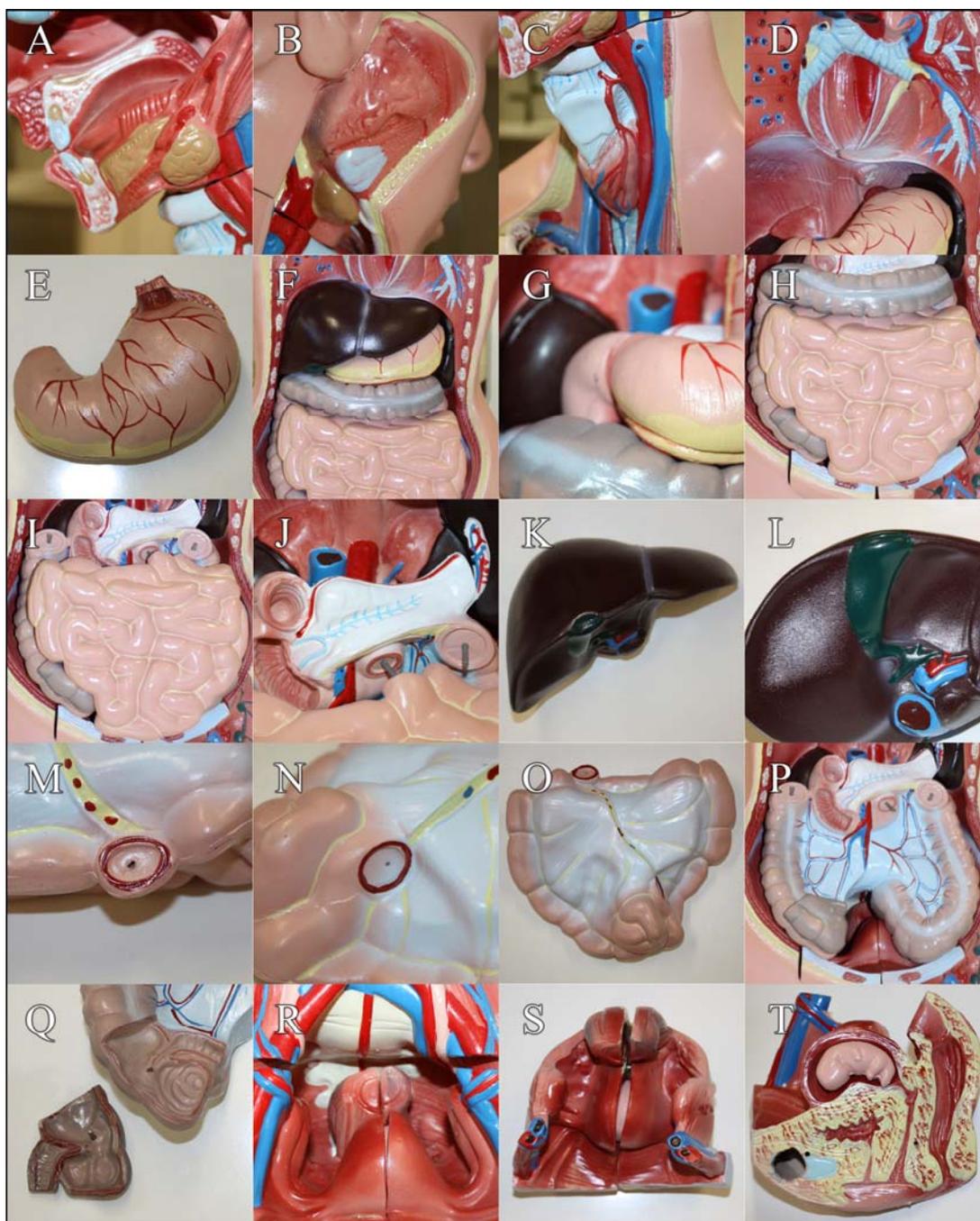


Figura 4. Detalhes do modelo 3DR. (A) boca e glândulas salivares sublingual e submandibular; (B) glândulas salivares parótida e submandibular; (C) pescoço; (D) esôfago e parte do estômago; (E) estômago fechado; (F) Abdome; (G) ponto de encontro entre estômago e duodeno; (H) duodeno (encoberto) e demais porções do intestino delgado, e intestino grosso; (I) duodeno (parcialmente encoberto) e demais porções do intestino delgado, e

intestino grosso, retirada porção correspondente ao cólon transversos; (J) Pâncreas; (K) Fígado; (L) Vesícula biliar; (M) Conexão duodeno; (N) Conexão intestino grosso; (O) Intestino delgado; (P) Intestino grosso, sem cólon transversos; (Q) Valva ileocecal; (R) Reto vista superior; (S) Reto e útero; (T) Reto e útero abertos.

3.4.2 Criação dos modelos 3DV

A criação do modelo 3DV e animações seguiu as seguintes etapas: (a) definição de aspectos anatômicos e fisiológicos a serem abordados; (b) modelagem; (c) texturização; (d) animação; (e) renderização; e (f) criação dos vídeos.

As etapas "b" a "e" foram realizadas no Autodesk Maya 2009, enquanto que para a etapa "f" foi utilizado o *software* Adobe Premiere Pro CS4.

Definição de aspectos anatômicos e fisiológicos a serem abordados

Com base no mapa conceitual e na análise preliminar (vide tópico 3.4.1), definimos quais estruturas anatômicas e processos fisiológicos poderiam ter sua visualização facilitada pelos Modelos 3DV, de modo a complementar o modelo 3DR da escola.

Procedeu-se às demais etapas de criação de modelos 3DV até que um primeiro esboço no qual os principais órgãos relacionados ao sistema digestório estivessem representados. Os dados obtidos no tópico 5 (referentes aos subsunçores dos alunos) foram, então, confrontados com o modelo, sendo feitas pequenas alterações. Esse tipo de abordagem - criação de visualizações com finalidades específicas - é apontado como uma forma de diminuir a resistência a mudança das concepções dos alunos (RAPP, 2005).

Durante a criação dos modelos, procurou-se adequar o material ao público alvo, seguindo-se as recomendações de Ausubel e Robinson (1969) para que não fosse complexo a ponto de exigir do aluno uma aprendizagem exclusivamente mecânica. Desta forma, buscamos nos ater aos principais aspectos macroscópicos do sistema digestório e da passagem de alimentos por ele, sem entrar em detalhes nos processos microscópicos subjacentes, o que

aumentaria o nível de detalhes do modelo, exigindo maior tempo de aplicação e elaboração, tornando a pesquisa inexecutável.

Por outro lado, esta abordagem implicou a não representação direta da digestão química e absorção, que foram apenas descritas em modo verbal durante as atividades em sala. Consideramos que isto teve um impacto negativo para a aprendizagem significativa uma vez que é difícil pensar no estudo anatômico do sistema digestório sem correlacioná-lo a seus processos e funções mais detalhadas. A estrutura de cada órgão reflete - ou é refletida - por suas funções em uma via de mão dupla. Se por um lado o enrolamento do intestino, as pregas circulares de sua mucosa, seus vilos e microvilos implicam grande capacidade de absorção de nutrientes, sua forma reflete a necessidade do organismo de que esses nutrientes sejam absorvidos (determinada evolutivamente)²¹. Ao se estudar a forma, têm-se uma aproximação da função e vice-versa.

Modelagem

As estruturas foram modeladas tomando-se como referência inicial imagens do *Visible Human Project - VHP* (U.S. NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE, 2012), obtidas a partir de criosecções de um indivíduo adulto do sexo masculino, bem como vídeos de dissecções do *Acland's Video Atlas of Human Anatomy* (ACLAND'S VIDEO ATLAS OF HUMAN ANATOMY, 2011).

O projeto VHP, executado pela NLM (U. S. National Library of Medicine) a partir da década de 80, resultou na aquisição de imagens transversais humanas de um cadáver masculino e um feminino por três técnicas distintas: tomografia computadorizada; ressonância magnética; e criosecções. Para obter imagens por esta última técnica, os espécimes foram, após passarem por um processo de congelamento, "raspados" em intervalos regulares de 1mm, para o masculino, e 1/3mm para o feminino. À medida que isso era feito, foram tiradas fotos da camada recém revelada, criando-se uma sequência de imagens que constitui a principal base de dados do projeto (U.S. NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE, 2012).

²¹ A idéia de que determinado órgão, como o intestino, possua uma forma específica para desempenhar suas funções - absorção nesse caso - é inerente à noção de finalidade que, para o fisiologista von Bruecke, "é uma mulher sem a qual o biólogo não pode viver mas com quem não quer ser visto em público" (apud JORGE, 1994, p. 245).

A partir das imagens do VHP, foram criadas ferramentas²² que permitem obter cortes virtuais do modelo em qualquer ângulo (sagital e frontal, por exemplo). Isto é possível por meio da combinação de pixels de várias imagens das secções transversais, permitindo a obtenção de imagens bastante precisas nos demais ângulos.

Para a etapa de modelagem em nosso estudo, utilizamos imagens de uma dessas ferramentas, o *Visible Human Server*²³, criado pelo departamento de ciência computacional da EPFL - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (ECOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, 2012). Exemplos de imagens obtidas a partir dessa ferramenta podem ser verificadas na Figura 5.

No *software* Maya 2009, as imagens foram posicionadas em planos transversais, coronais e sagitais, de modo congruente ao que seria esperado anatomicamente. Para garantir o correto posicionamento das imagens, partiu-se de uma imagem central de cada um dos planos principais, obtendo-se as seguintes em um mesmo intervalo de pixels, relacionado posteriormente à distancia entre os planos no *software*.

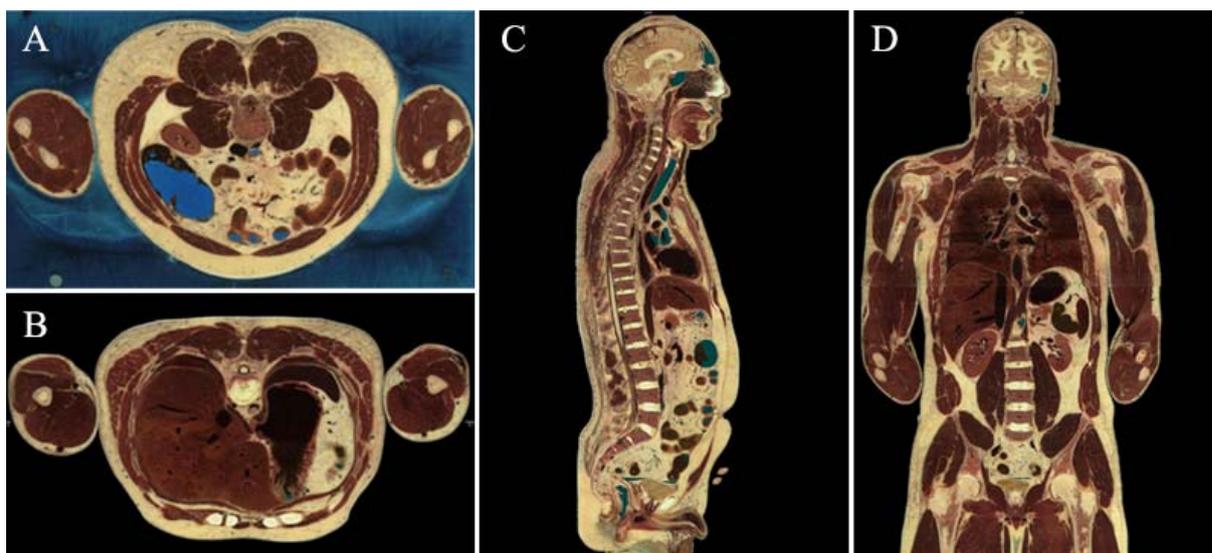


Figura 5. Imagens do *Visible Human Project* (VHP) e *Server*. (A) imagem de uma criosecção do cadáver masculino do VHP. (B), (C) e (D) Imagens de corte transversal, sagital e coronal, respectivamente, obtidas a partir do *Visible Human Server*. As regiões que estariam preenchidas pelo líquido utilizado no congelamento, de coloração azulada, foram substituídas por preto pelos desenvolvedores.

²² Algumas dessas ferramentas podem ser acessadas no site da NLM a partir do seguinte endereço eletrônico: <<http://www.nlm.nih.gov/research/visible/tools.html>>.

²³ O *Visible Human Server* pode ser acessado no endereço eletrônico: <<http://visiblehuman.epfl.ch/index.php>>.

Utilizou-se o método de modelagem de polígonos para obter as estruturas, seguindo-se o contorno dos órgãos nas imagens de referência sempre que isto era desejável (Figura 6A). Para alguns órgãos, como o intestino grosso, as imagens de referência serviram apenas para se conseguir uma aproximação de sua posição, visto que este órgão estava bastante dilatado no espécime que foi seccionado. Consideramos que utilizar uma representação que fugisse em demasia da normalidade poderia ser prejudicial à compreensão do tema e dificultar a correlação com o modelo 3DR.

Nesse sentido, a utilização dos vídeos do *Acland's Video Atlas of Human Anatomy* foi de grande valia como segunda referência, permitindo identificar estruturas por vezes não tão evidentes nas imagens obtidas no *Visible Human Server*.

Durante a etapa de animação, algumas estruturas foram remodeladas, com a supressão de algumas faces para melhor visualização de processos internos e com a adição de volume.

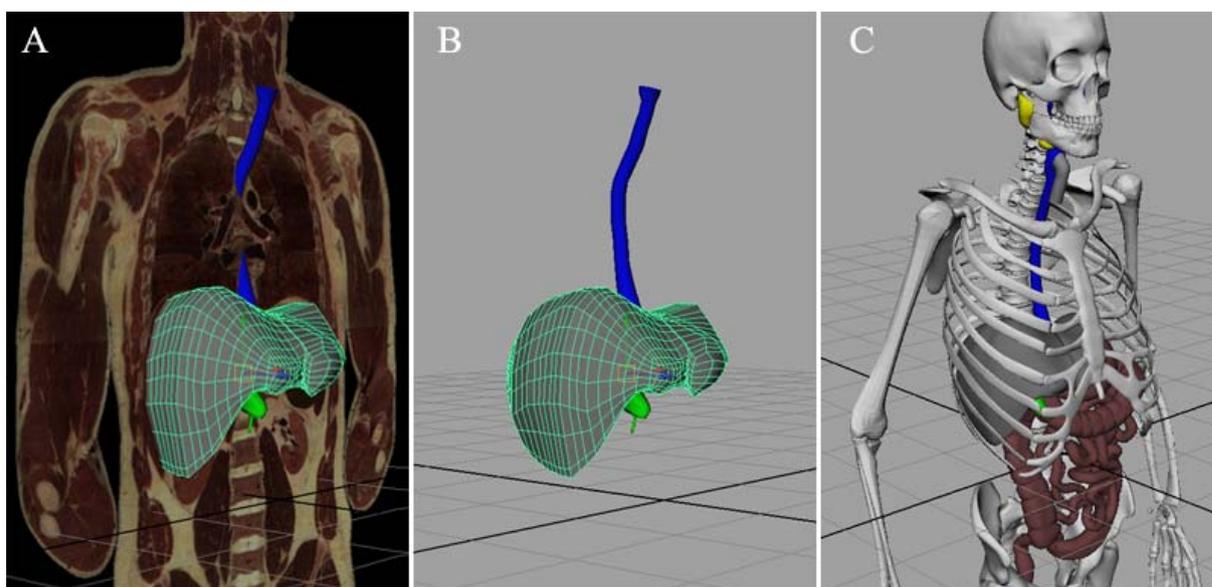


Figura 6. Etapa de modelagem no Maya 2009. (A) Modelagem do fígado, representado em cinza, utilizando uma das imagens do *Visible Human Server* como referência. A vesícula e o esôfago, já modelados, também estão visíveis em verde e azul, respectivamente. (B) Mesmas estruturas representadas em A, suprimindo-se a imagem de referência. (C) Resultado final da etapa de modelagem.

Texturização

A definição de cores e texturas dos órgãos do sistema digestório teve como base as imagens do *Acland's Video Atlas of Human Anatomy* (ACLAND'S VIDEO ATLAS OF HUMAN ANATOMY, 2011).

Os objetos tridimensionais do Maya eram exportados em formato .OBJ e importados em um *software* denominado *Unfold 3D*, no qual a malha de polígonos era "aberta" ou "desdobrada" para obter sua projeção bidimensional. Esta projeção era exportada como imagem para o *Adobe Photoshop CS4*, no qual a textura era editada, partindo-se de imagens reais dos órgãos mencionados, ou, quando estas não estavam disponíveis, utilizando-se pincéis com cores compatíveis.

As imagens finais eram salvas em formato .TGA e adicionadas como textura aos objetos tridimensionais. O resultado final desta etapa para alguns órgãos do sistema digestório pode ser verificado na Figura 7.

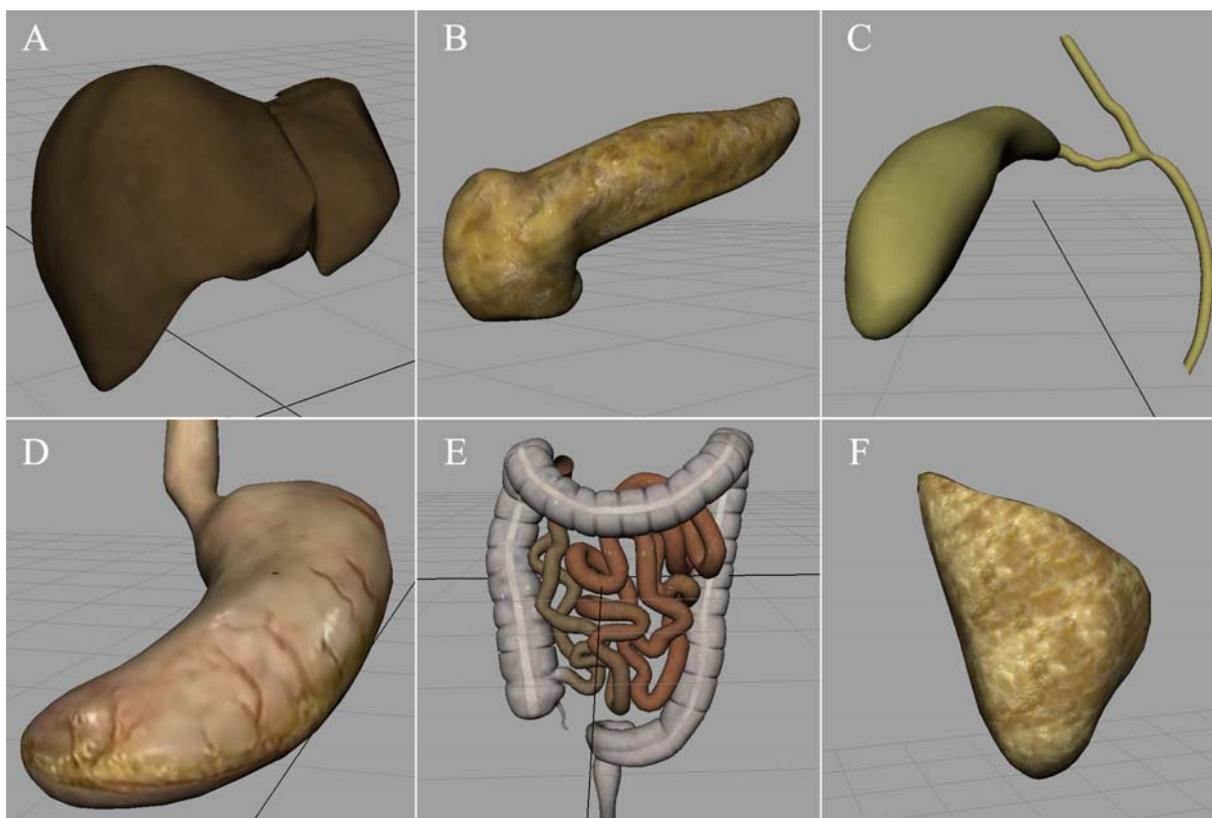


Figura 7. Modelos 3DV de órgãos do sistema digestório no *software* Maya 2009, após aplicadas as respectivas texturas. (A) Fígado. (B) Pâncreas. (C) Vesícula Biliar. (D) Estômago. (E) Intestinos Delgado e Grosso. (F) Glândula parótida direita.

Animação

Os modelos foram animados e alguns elementos dinâmicos foram adicionados, utilizando-se uma série de técnicas e ferramentas disponíveis no programa, incluindo: (a) esqueletos aplicados a corpos rígidos (*rigid bodies*) - animação de estruturas rígidas como a mandíbula; (b) esqueletos aplicados a corpos maleáveis (*soft bodies*) - animação de estruturas flexíveis como esôfago, estômago e intestinos; (c) animação quadro a quadro (*keyframes*) - trajetória do alimento até a boca, movimentos do bolo alimentar e movimentação de partículas maiores no estômago; (d) animação utilizando um caminho de movimento (*motion path*) - trajetória do bolo alimentar no esôfago e estômago; (e) emissor de partículas (*particle emitter*) submetido ou não a um campo gravitacional - representação da saliva percorrendo os ductos parotídeos e sendo excretada pelas glândulas sublinguais; (f) efeitos de fluido (*fluid effects*) - criação das partículas e suas dinâmicas na representação das secreções do pâncreas, fígado, e do conteúdo do intestino delgado, grosso e estomacal quando de sua passagem para o intestino delgado.

Renderização

Câmeras virtuais foram adicionadas ao ambiente do *Maya* e anexadas a caminhos de movimento. Esta técnica permitiu às câmeras seguirem uma trajetória pré-estabelecida que fosse capaz de captar os processos fisiológicos que se desejava ilustrar, de ângulos que julgamos ser favoráveis à visualização e contextualização das estruturas.

Nesta etapa, tomou-se o cuidado de iniciar todas as animações de um mesmo ponto no qual todos os órgãos estivessem evidentes. Esta abordagem teve como objetivo permitir a contextualização da estrutura observada - os alunos poderiam, à medida que a câmera se movesse de uma vista mais distante para uma mais aproximada, visualizar a posição relativa da estrutura no modelo 3DV (Figura 8). Outra vantagem deste método é uma maior consistência na navegação, uma vez que a imagem inicial, e, portanto, o ângulo inicial de visão do modelo é o mesmo para todas as animações.

As imagens foram renderizadas em formato targa (.TGA), com 800 x 600 pixels (largura x altura) e resolução de 72 ppi, num total de 30 imagens para cada segundo estimado de

vídeo. O resultado final totalizou 533 segundos de vídeo (8, 9 minutos), o que requereu um total de 15.990 imagens renderizadas.

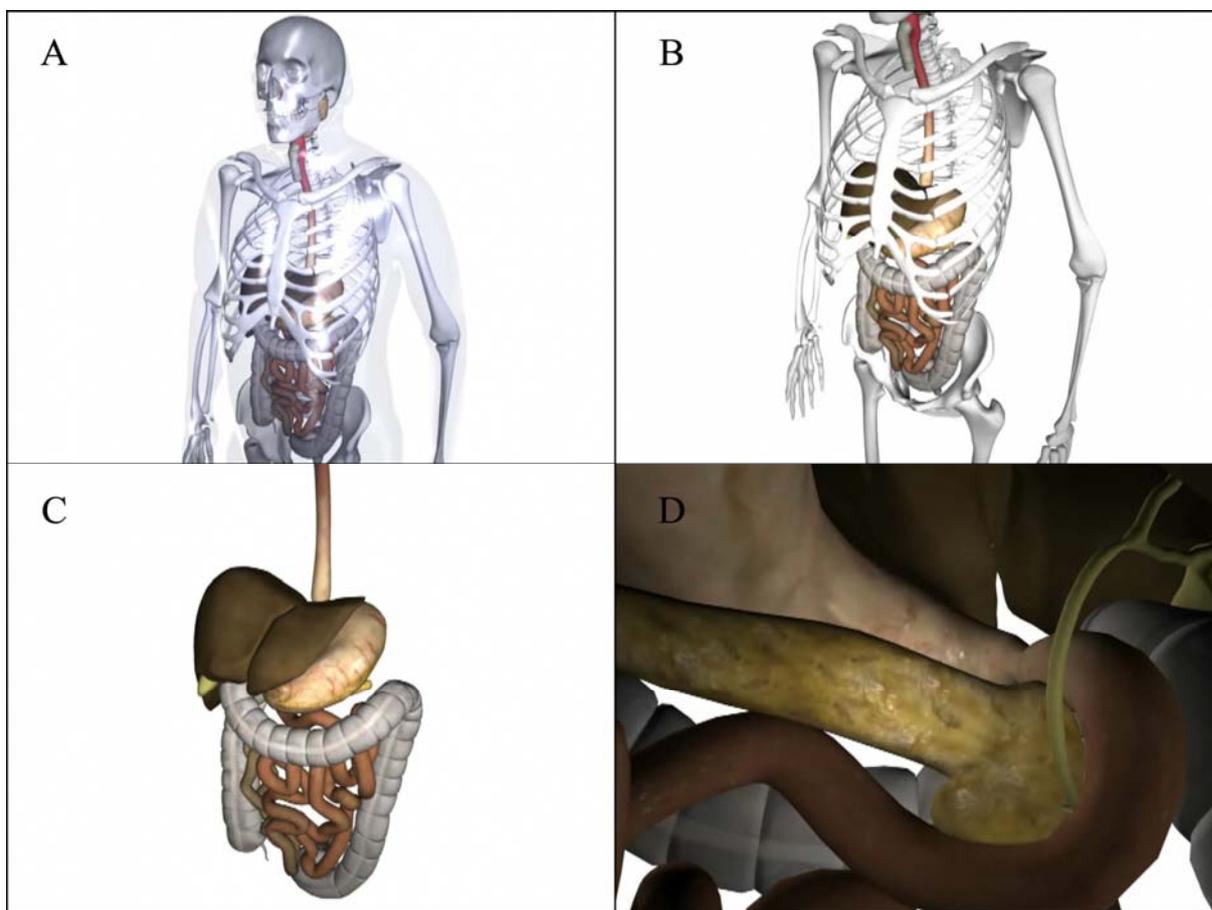


Figura 8. Sequência de imagens de vídeo do pâncreas. (A) Ponto de início das animações. (B) Aproximação com supressão da camada transparente externa. (C) Aproximação com supressão do esqueleto. (D) Close do pâncreas após giro de 180° em torno do modelo e aproximação da câmera.

Criação dos vídeos

As sequências de imagens renderizadas no *Maya* foram importadas no *Adobe Premiere Pro CS4* - um *software* de criação e edição de vídeos. Foram utilizadas cerca de 17 sequências de imagens que culminaram em 13 vídeos, variando de 18 a 93 segundos de duração, exportados a uma taxa de 30 quadros por segundo em formato FLV (.flv).

Ao final, haviam animações para os seguintes temas: (a) o processo de mastigação; (b) secreção das glândulas parótidas; (c) secreção das glândulas sublinguais; (d) secreção das glândulas submandibulares; (e) processo de deglutição; (f) peristaltismo esofágico; (g) movimento e conteúdo estomacal; (h) secreção da bile pelo fígado; (i) armazenamento da bile pela vesícula e seu lançamento no duodeno; (j) secreção de suco pancreático pelo pâncreas; (k) recebimento de alimento, bile e suco pancreático pelo duodeno; (l) peristaltismo no intestino delgado; e (m) peristaltismo no intestino grosso.

3.4.3 Criação da interface interativa

Para as animações geradas a partir do modelo 3DV criado no *Maya*, foram desenvolvidos: uma interface gráfica – que atribuiu ações de carregamento das animações a partir de letras digitadas em um teclado; e uma interface física – construção de botões conectados a um chip de teclado que, quando acionados, eram entendidos como letras pela interface gráfica.

Criação da interface gráfica

A interface criada para adição de ações de “clique de mouse” e de botões do teclado foi desenvolvida no *Flash CS4* da Adobe. Consiste de uma tela de entrada inicial com um ícone que, ao ser clicado com o botão esquerdo do mouse, abre uma segunda tela com uma imagem de um ângulo afastado do modelo 3DV (Figura 8A) à partir da qual são carregadas as animações.

A cada animação foi atribuída uma letra correspondente para que pudesse ser visualizada somente quando o respectivo botão sobre o modelo 3DR fosse acionado. Após terminada a animação, era carregado novamente o *frame* com a segunda tela, reiniciando o ciclo.

Criação da interface física

Um teclado com fio, modelo *Wired Keyboard 600* da marca *Microsoft*, foi desmontado retirando-se seu *chip* e os filmes plásticos com circuitos condutores que se localizam abaixo das teclas. Em seguida, foi feito um mapeamento do *chip*, atribuindo-se números e letras para que os botões confeccionados pudessem ser conectados corretamente, conforme Figura 9B.

Os botões (Figura 9A) foram confeccionados a partir dos filmes plásticos com circuitos condutores, para que fossem finos e se ajustassem bem ao modelo. A fim de tornar a interface amigável, adicionou-se uma camada impressa com o comando "aperte aqui". Um par de fios retirado de um cabo IDE de 80 canais foi conectado ao botão e ao *chip*.

O funcionamento dos botões em pouco difere daquele das teclas do teclado, que se baseia no fechamento de um circuito simples estabelecendo uma corrente entre dois pontos do *chip*. À cada combinação de pontos diferentes, identificada pelo *chip* do teclado, corresponde uma letra específica. Os pontos "2" e "F" (Figura 9B), por exemplo, quando conectados por material condutor, são interpretados pelo computador como a letra "W". Cada letra, por sua vez, gera uma ação na interface gráfica, carregando uma animação.

Para se afixar os botões ao modelo, utilizamos pedaços de *velcro* com verso adesivo, que foram colados nos botões e modelo 3DR.

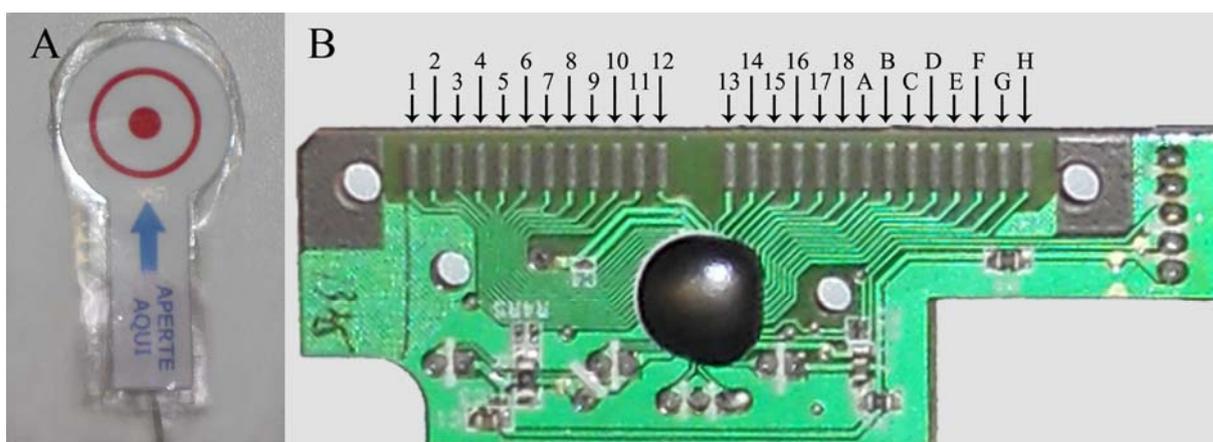


Figura 9. Interface física. (A) Botão confeccionado. (B) Mapeamento de *chip* de teclado, modelo *Wired Keyboard 600*, marca *Microsoft*, com atribuição de números e letras.

3.5 ETAPAS DA PESQUISA

A pesquisa foi dividida em quatro etapas principais: (a) diagnóstico dos subsunçores disponíveis na estrutura cognitiva dos alunos; (b) planejamento da instrução; (c) atividades em sala com uso dos modelos; e (d) avaliação dos resultados.

As atividades em sala totalizaram oito aulas para cada turma, sendo: duas aulas para a primeira etapa; quatro aulas para a terceira etapa e duas aulas para a quarta etapa. Além das atividades em sala, foram realizadas entrevistas em horários alternativos para melhor atender à disponibilidade dos alunos.

3.5.1 Diagnóstico dos subsunçores disponíveis na estrutura cognitiva dos alunos

A etapa de diagnóstico possuiu como objetivo conhecer as representações mentais dos alunos antes da instrução, identificando os *subsunçores* para o assunto em questão. De acordo com Moreira (2006b, p. 171): "simplesmente supor que o aluno tem o conhecimento prévio é trabalhar sobre bases desconhecidas, frágeis, ou inexistentes [...]".

Procedemos ao estudo das representações externas dos alunos dando especial atenção à utilização de *desenhos* em nossa análise, aliados a *entrevistas individuais* e à *observação participante*.

A questão motivadora para o desenho deveria envolver uma atividade complexa, não passível de resolução pela simples repetição de conceitos. Banet e Nuñez,(1988, p. 31, tradução nossa) utilizaram um questionário com uma pergunta aberta que ilustra bem uma questão dessa natureza. Nela era solicitado aos alunos que desenhassem, sobre uma silhueta humana: "o caminho que percorre um pedaço de pão e um copo d'agua quando penetram pela boca, indicando o nome de cada uma das partes pelas quais passam"²⁴, posteriormente explicando-o. Ao questionário seguiram-se entrevistas individuais para dirimir dúvidas e levantar outras informações. Embora a autora não utilize o termo *representações externas*, há clara correlação deste com o conhecimento manifesto nas respostas dos alunos.

²⁴ "el camino que recorre un trozo de pan y un vaso de agua cuando penetran por la boca, indicando el nombre de cada una de las partes por las que pasan" (BANET; NUÑEZ, 1988, p. 31).

Tomando como base a questão elaborada pelas autoras, idealizamos uma atividade de desenho sobre uma silhueta humana que atendesse a dois quesitos que receberam a seguinte redação:

1. Você já se perguntou por onde passam os alimentos depois que os comemos ou bebemos?

*Utilizando desenhos, represente sobre a silhueta humana o **caminho** que percorrem, a partir da boca, um(a) _____ (comida) e um(a) _____ (bebida) quando os ingerimos (comemos ou bebemos), indicando o nome de cada uma das partes por onde passam.*

**Completar as lacunas com uma comida e uma bebida de sua preferência.*

2. O que acontece com eles à medida que percorrem o caminho?

No esquema criado anteriormente, indique o que acontece com cada um deles em todos os pontos por onde passam.

A atividade foi precedida por uma dinâmica de grupo na qual cada aluno deveria falar o nome de um alimento sólido ("comida"), ou líquido ("bebida") e passar uma bola para o colega seguinte. Este, por sua vez, deveria falar uma característica do alimento citado pelo colega anterior e eleger um novo alimento, passando a bola para o próximo, e assim sucessivamente até que todos tivessem elegido ao menos um alimento sólido e um líquido.

A dinâmica teve como objetivos: (a) permitir uma interação descontraída entre os participantes; (b) suscitar elementos relacionados direta ou indiretamente ao tema da pesquisa; e (c) servir como elemento motivador para a atividade proposta.

Antes de dar início à atividade de desenho, foi distribuída a cada aluno uma folha em formato A3 (297mm x 420 mm) - tamanho duas vezes superior ao de uma folha A4 (210mm x 297mm) padrão, visando possibilitar maior espaço físico para as representações. Cada folha continha em seu canto superior esquerdo os quesitos a serem atendidos no desenho e uma silhueta humana.

Foi solicitado então aos alunos que representassem, individualmente, por meio de um desenho (associado ou não a frases e esquemas), uma situação que atendesse aos quesitos citados anteriormente, que foram lidos em voz alta. Em seguida questionou-se a existência de dúvidas quanto ao comando da questão que, em caso de afirmações positivas, eram sanadas pelo pesquisador, procedimento repetido ao longo da atividade. O tempo para realização dos desenhos variou de aluno para aluno, não sendo inferior a 10 nem superior a 30 minutos.

À produção dos desenhos, se seguiram entrevistas individuais com vistas a esclarecer alguns aspectos relativos às representações dos alunos e ao tema em questão. Estas foram iniciadas à medida que os alunos terminavam os desenhos, se prolongando pelos horários de outras disciplinas, cujos professores permitiram a saída dos alunos da classe, um a um, para as entrevistas. Após o término da entrevista cada aluno era orientado a não fornecer informações aos demais sobre o conteúdo das perguntas.

Esta etapa se mostrou fundamental para a compreensão das representações tendo em vista a variação na desenvoltura/competência que os alunos possuíam para representar pictoricamente suas representações mentais.

As entrevistas foram registradas em áudio e vídeo e tiveram duração de 15 a 25 minutos, dependendo do tempo e complexidade das respostas dos entrevistados. Inicialmente era proposto ao aluno que explicasse sua representação e à partir daí eram feitas perguntas sobre o desenho e sobre o sistema digestório. Procuramos abordar alguns pontos principais, constantes do tópico guia previamente formulado (vide tópico 3.2.3), embora as perguntas tenham sido feitas de maneira não arbitrária e dependente das respostas dos alunos.

Procedeu-se, posteriormente, à análise das representações externas (desenho e respostas às perguntas da entrevista) para identificação e qualificação das representações mentais dos alunos e, portanto, dos subsunçores que possuíam. Os resultados desta etapa foram utilizados no planejamento da etapa seguinte.

3.5.2 Planejamento da instrução

O planejamento da instrução envolveu: a determinação da estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino, com posterior criação de uma primeira aproximação do modelo 3DR (vide tópico 3.4.1); pequenas alterações no modelo com base nos resultados da etapa de diagnóstico, com inclusão de animações para a produção de saliva pelas glândulas salivares; inclusão no planejamento de duas aulas utilizando-se apenas o Modelo 3DR em um nível mais alto de abstração, funcionando como um organizador prévio; e o planejamento das atividades com a utilização concomitante dos modelos.

De acordo com MOREIRA (2006b, p. 137), um organizador prévio deve:

1. identificar o conteúdo relevante na estrutura cognitiva e explicitar a relevância desse conteúdo para a aprendizagem do novo material;
2. dar uma visão geral do material em um nível mais alto de abstração, salientando as relações importantes;
3. prover elementos organizacionais inclusivos que levem em consideração, mais eficientemente, e ponham em melhor destaque, o conteúdo específico do novo material.

A atividade consistiu em duas aulas em grupo utilizando apenas o modelo 3DR, com órgãos de todos os sistemas, na qual era inicialmente solicitado aos alunos que identificassem as estruturas que estavam visualizando. Isto permitiu verificar algumas idéias que não haviam sido expressas durante a entrevista, especialmente com relação aos outros sistemas. À medida que a atividade prosseguia, eram mostradas a posição relativa entre os órgãos, esclarecendo de modo geral suas funções, e, quando pertinente, sua relação com o sistema digestório.

Procurou-se, durante a atividade, partir do modelo completo, começando pela caixa torácica (mostrando costelas, musculatura, e camada adiposa) e, gradativamente, prosseguindo aos órgãos mais internos. O objetivo foi dar uma visão geral do corpo humano, de forma mais abrangente, salientando relações importantes com o tema a ser estudado, e provendo, aos alunos, elementos mais inclusivos que permitissem a eles situar o sistema digestório em suas representações mentais de corpo humano.

3.5.3 Atividades em sala com uso dos modelos

Foram destinadas à utilização dos modelos ao todo quatro aulas de Biologia, sendo: duas aulas para utilização do Modelo 3DR exclusivamente (vide item 3.5.2); e duas para a utilização concomitante com o Modelo 3DV.

As atividades se deram no horário regular da disciplina, entre os meses de outubro e novembro, no laboratório de biologia da escola, e foram assim distribuídas: para o 2º H, com aulas simples às quintas e sextas-feiras, quatro dias não consecutivos ao longo de duas semanas; e para o 2º G, com aulas duplas às quintas-feiras, dois dias não consecutivos ao longo de duas semanas.

Em ambos os casos, o pesquisador adotou uma postura ativa, em conjunto com o professor da disciplina, participando das atividades e procedendo à explicação do que estava sendo observado. Embora o enfoque do trabalho seja nas características dos modelos,

ressaltamos a relevância do papel da mediação do pesquisador e professor na utilização de quaisquer materiais didáticos.

Para a utilização concomitante, o modelo 3DV modificado foi integrado ao modelo 3DR, por meio da interface física (Figura 10A), e as imagens do primeiro foram projetadas em um quadro branco, com auxílio de um data show, conforme ilustra a Figura 10B.

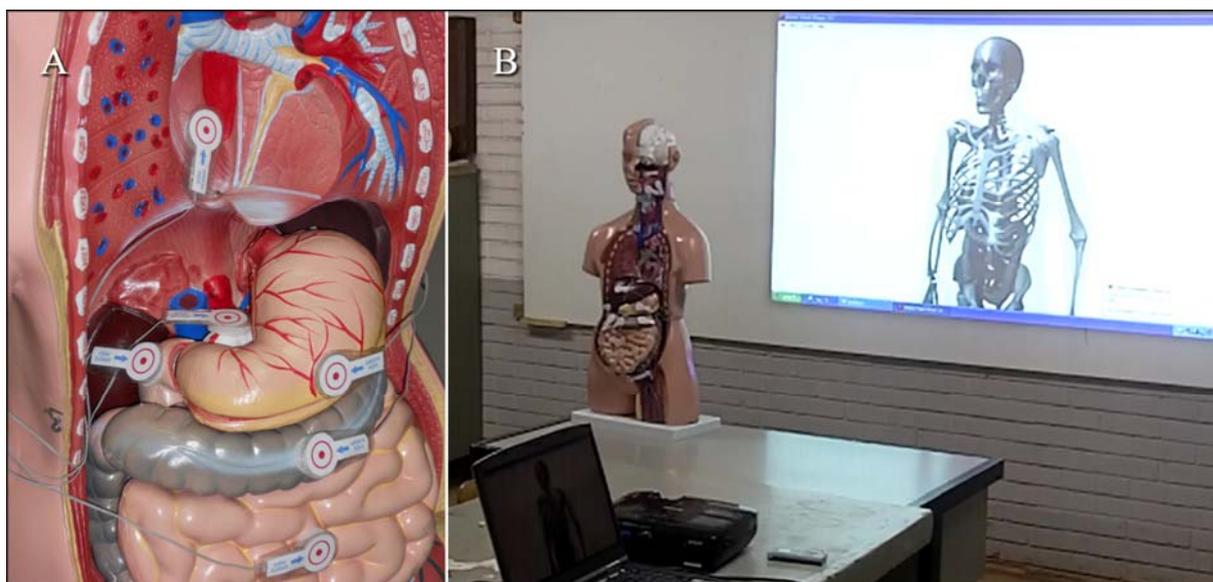


Figura 10. Posicionamento dos botões e aplicação dos modelos. (A) Botões posicionados sobre o Modelo 3DR. (B) Modelo 3DR (à esquerda, ao fundo) com botões conectados ao computador (à esquerda, na frente), e modelo 3DV projetado sobre quadro branco (à direita).

O modelo 3DR era posicionado sobre a bancada e os alunos se dispunham em torno dele à medida que adentravam o recinto, sentando-se ou não em carteiras. À medida que a aula se iniciava, era solicitado a eles que pressionassem os botões dispostos sobre o modelo 3DR, ação que disparava as animações.

Em seguida, era questionado ao grupo o que estava sendo observado e, conforme as explicações surgiam, estas eram confrontadas novamente com a animação. Na ausência de um consenso, o pesquisador prosseguia à explicação do que havia sido representado, sempre que possível relacionando a animação ao modelo 3DR.

Durante estes momentos os alunos descreveram, além daquilo que observavam, experiências pessoais relacionadas ao tema, como: cirurgias a que se submeteram, observação de animais durante o abate e preparo de alimentos, séries de TV a que haviam assistido, dentre outros.

As aulas foram registradas em áudio e vídeo para posterior análise dos comentários e interações dos alunos com os modelos. Notas eram tomadas ao final das atividades registrando-se as impressões do pesquisador.

3.5.4 Avaliação dos resultados

Ao final das etapas anteriores, procedeu-se a nova atividade de produção de desenhos e entrevista (primeiro momento), de maneira semelhante ao descrito no item 3.5.1. Complementarmente à entrevista descrita no item citado, foi proposto um segundo momento de perguntas e respostas que, somado ao tempo requerido pelo primeiro momento, totalizaram uma média de 35 a 45 minutos de entrevista por pessoa, todas registradas em áudio e vídeo. Devido ao maior tempo requerido, após a produção de desenhos pelos alunos, foi agendada uma data para a entrevista de acordo com a disponibilidade dos alunos.

O segundo momento consistiu no seguinte: o entrevistado se posicionava em frente ao modelo 3DR julgando se este era consistente com seus desenhos e respostas ao primeiro momento da entrevista; em seguida, era solicitado a ele que pressionasse cada um dos botões dispostos sobre o modelo e, à medida que as animações correspondentes eram projetadas na tela do computador, descrevesse o que via (Figura 11). Ao entrevistado era dada liberdade para que pressionasse os botões quantas vezes julgasse necessário. Perguntas eram feitas pelo pesquisador sempre que alguma dúvida quanto à explicação surgia.

O objetivo desta etapa foi identificar os modelos mentais que os alunos possuíam após as atividades em sala, bem como obter uma aproximação da maneira como estes eram modificados à medida que os alunos interagem com os modelos. Foram analisadas, também, quais características dos modelos tridimensionais reais e virtuais facilitavam, ou não, o entendimento dos alunos e a formação de modelos mentais consistentes com os modelos científicos.

A análise dos resultados considerou: as representações prévias dos alunos e respostas a entrevista inicial; suas observações e modo de interação com os modelos durante as aulas; suas representações e entrevistas ao final da instrução; e as observações e modo de interação durante o segundo momento da entrevista final.

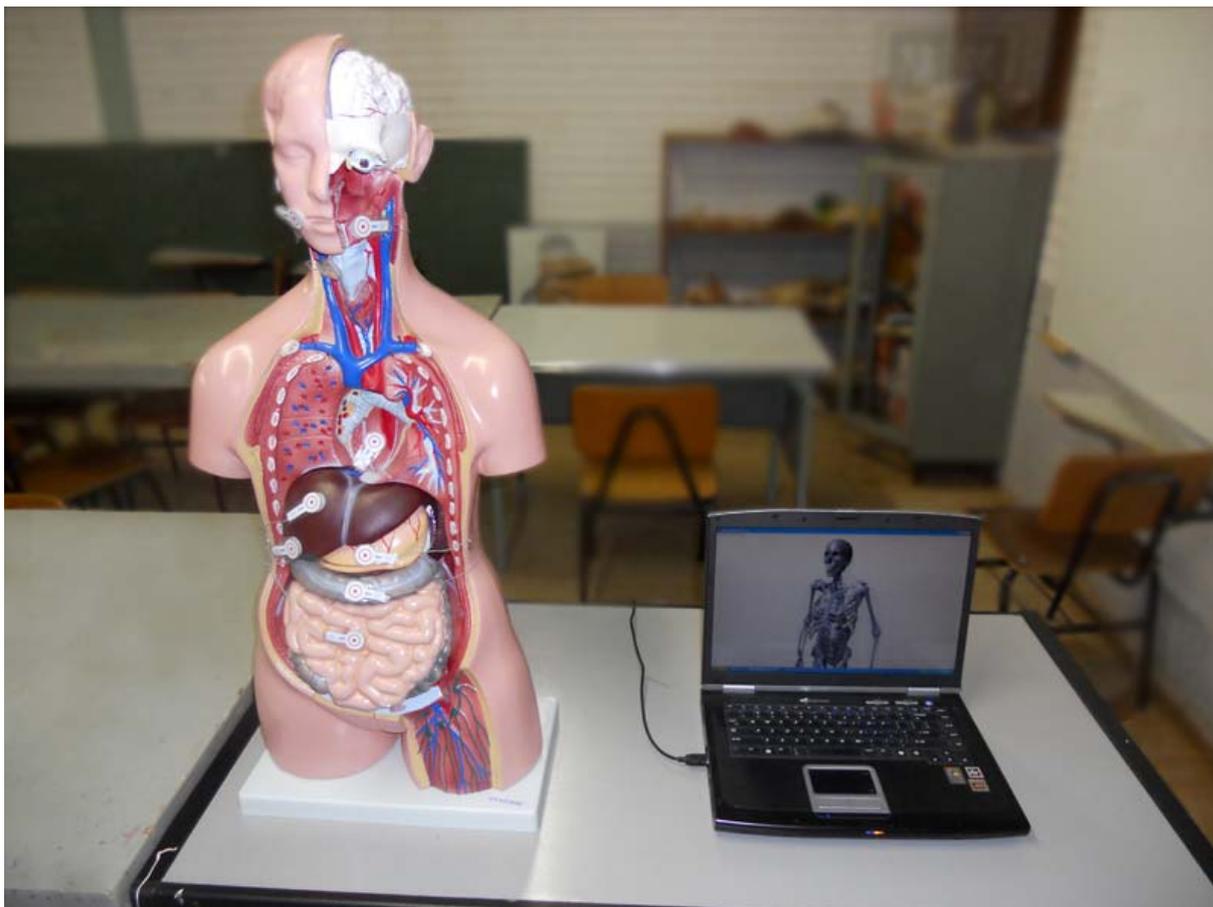


Figura 11. Disposição utilizada para a segunda etapa da entrevista final. Modelo 3DR (à esquerda) com botões dispostos sobre ele, e modelo 3DV (à direita) exibido em uma tela de computador.

4 REPRESENTAÇÕES MENTAIS PRÉVIAS DOS ALUNOS SOBRE O SISTEMA DIGESTÓRIO

Para a etapa de diagnóstico, as representações mentais prévias dos alunos foram analisadas com base nos desenhos produzidos por eles e nas entrevistas subsequentes. Apresentamos e descrevemos cada desenho separadamente e, em seguida, procedemos à discussão dos resultados.

4.1 APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS DESENHOS INICIAIS

A seguir, apresentamos e descrevemos as representações pictóricas de: Alexandra, Carlos, Fernando, Raissa, Ricardo, Simone e Sofia, do 2ºH, e Tereza, do 2ºG. Discorreremos, neste primeiro momento, apenas sobre os aspectos gráficos e textuais explicitados pelos alunos nos desenhos.

4.1.1 Alexandra, 2º H - Desenho 1

Observa-se (Figura 12) um caminho que parte da boca, na qual é representada a língua e indicada a presença de saliva, passando por região denominada pela aluna de "tripas" (com indicação de passagem de "bebida"), possivelmente correspondendo ao esôfago, chegando a uma região com três ramificações, sendo uma delas (maior, central) indicada como "estômago" (com menção à presença de comida e bebida). Há um canal ligando este último a uma estrutura arredondada que foi denominada, pela aluna, de "bexiga" (com indicação de presença de bebida).

Ao lado do que a aluna chama de "tripas", observa-se um desenho em forma de coração, em posição anatômica condizente com a do órgão humano. Nos braços e pernas, alcançando parte do tórax, há traços espaçados de origem incerta.

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "Lingua"; (B) "Comida"; (C) "Bebida"; (D) "Saliva"; (E) "Passa pelas tripas"; (F) "Estomago"; (G) "Comida"; (H) "Bebida"; e (I) "(Depois bebida) bexiga".

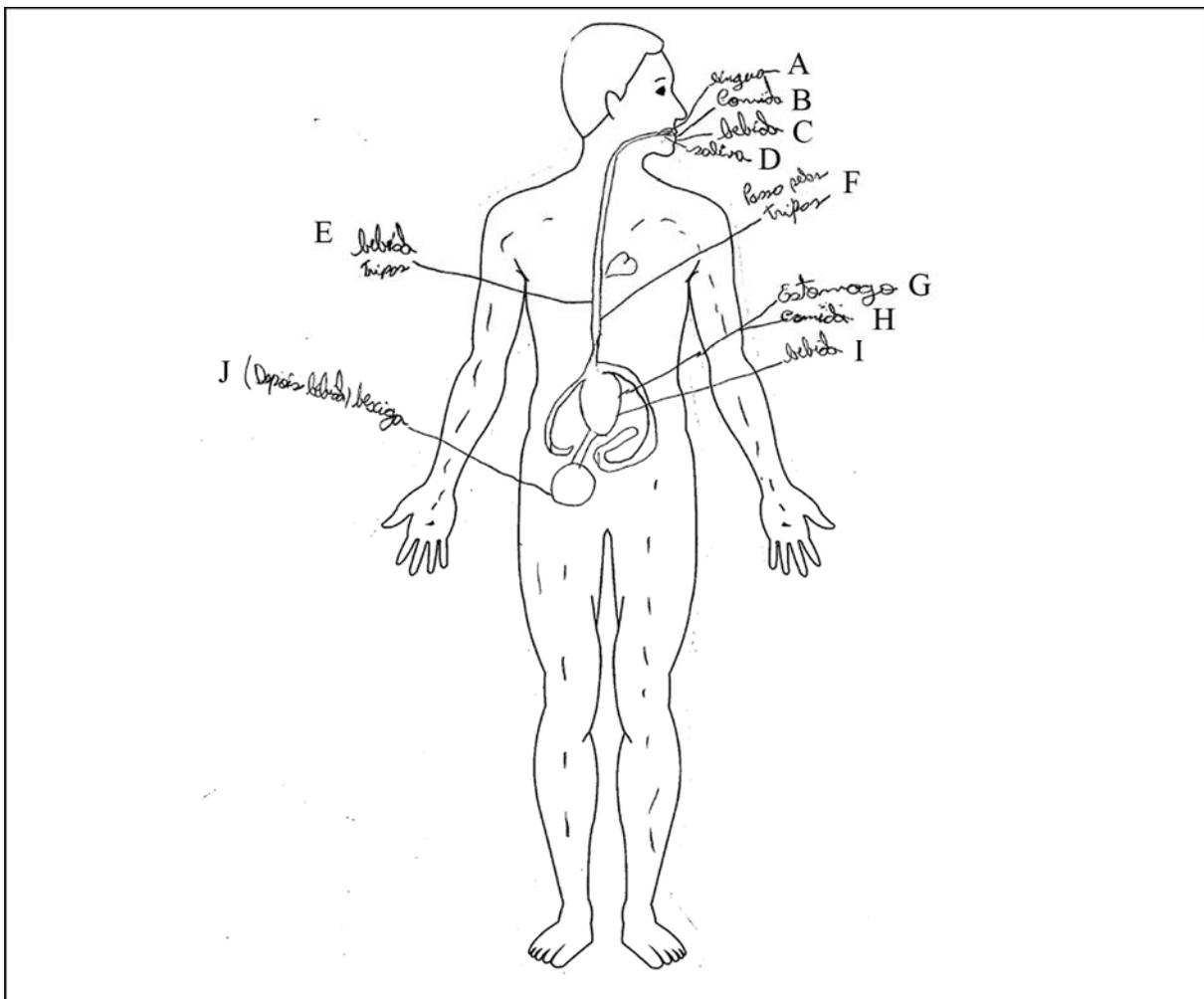


Figura 12. Desenho 1 - Alexandra. Representação pictórica anterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados por "letras de fôrma" maiúsculas (A, B, C, D, E, F, G, H, I e J) inseridas pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "lasanha" e "suco".

4.1.2 Carlos, 2º H - Desenho 1

O desenho (Figura 13) é formado por um caminho, que segue da boca ao que o aluno aponta como "estômago" (indicando a presença de "feijão") conectando-se à "bexiga"

(indicando a presença do "suco"), embora esta relação seja pouco clara no desenho. Na porção inicial do caminho percebemos traços paralelos entre si, que possivelmente tem relação com os anéis da traquéia (adicionados pelo aluno durante a entrevista, Figura 13G). Alguns traços circulares pouco definidos acima e por cima do estômago, bem como um traço com origem no estômago que se estende até a porção superior da coxa direita, terminando em uma estrutura arredondada, também foram adicionados durante a entrevista (Figura 13H e I). Este último indica "tripa" e conexão com o anus. Na região final do tórax e na abdominal observamos arcos paralelos que possivelmente representam as costelas. O elemento indicada por "J" no desenho simboliza o formato da vesícula.

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "Comida"; (B) "Bebida"; (C) "Estomago"; (D) "Feijão"; (E) "Bechiga"; e (F) "Suco".

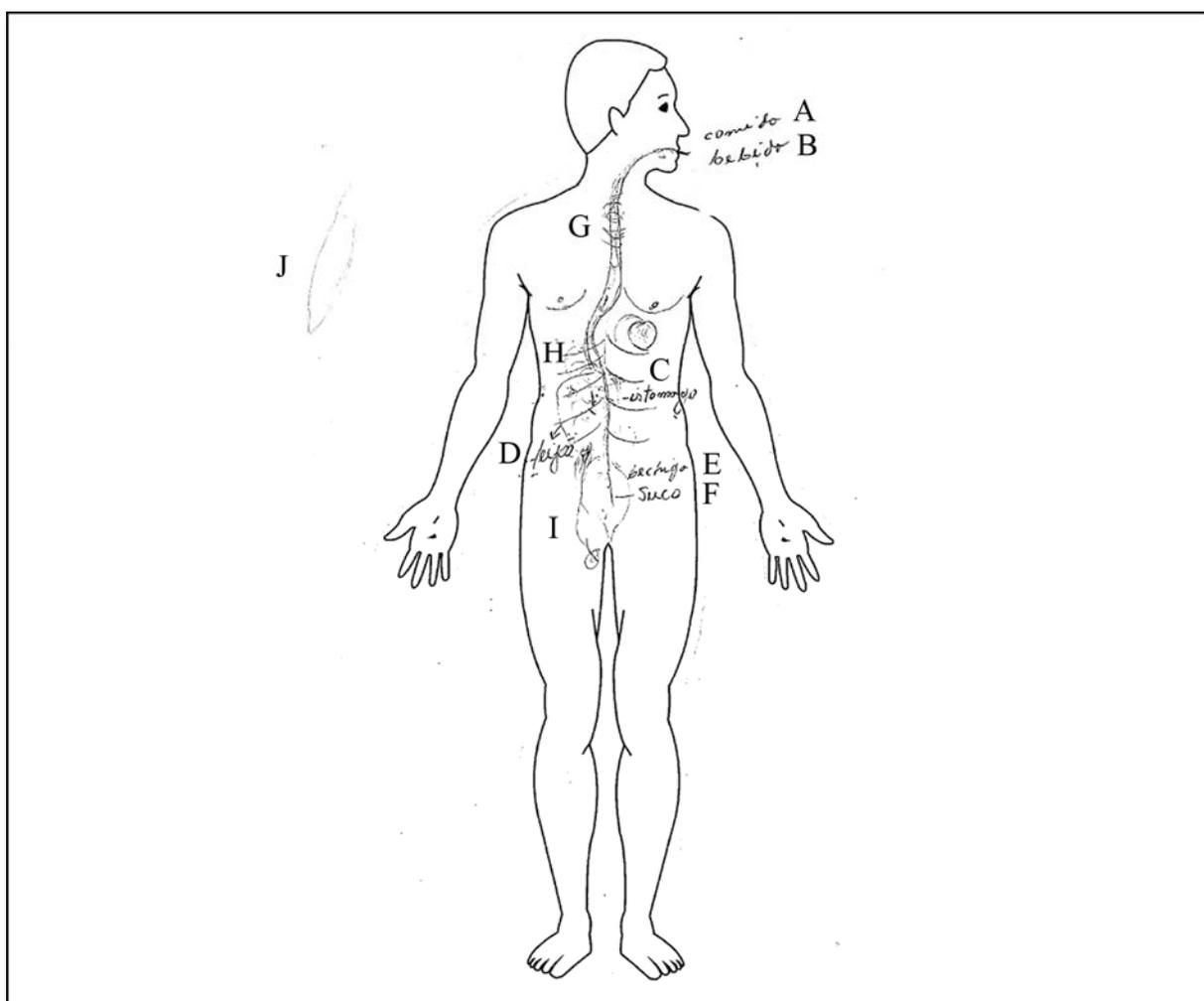


Figura 13. Desenho 1 - Carlos. Representação pictórica anterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados pelas "letras de

fôrma" maiúsculas "A", "B", "C", "D", "E" e "F", inseridas pelo pesquisador. As letras "G", "H", "I" e "J" indicam alterações feita pelo aluno durante a entrevista. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "feijão" e "suco".

4.1.3 Fernando, 2º H - Desenho 1

São representadas (Figura 14) duas linhas partindo da boca e seguindo caminhos distintos. Ambas as linhas passam por uma estrutura denominada "tireode", sendo que a primeira aparenta passar pelo que o aluno chama de "estomagos", enquanto a segunda passaria pelo "timo". Elas seguem por caminhos distintos, chegando ao "intestino", não ficando evidente como e se são conectadas à "bixica". Ao lado da boca temos as inscrições "coca" e "arroz", e um objeto identificado como uma garrafa. Contornando a silhueta vemos um emaranhado de linhas e riscos.

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "Boca"; (B) "Coca"; (C) "Arroz"; (D) "Tireode"; (E) "Estomagos"; (F) "Timo"; (G) "Intestino"; e (H) "Bixiga".

4.1.4 Raissa, 2º H - Desenho 1

Observa-se (Figura 15) um caminho que parte da boca e segue em linha reta até o abdome, onde se enovela e em seguida desce terminando com uma curva discreta à direita no desenho. A descrição escrita é bastante genérica, mas possui certa consistência anatômica e fisiológica.

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "A comida e a bebida vai se diluindo, ou seja o arroz vai virar dejetos e a bebida vai para a bexiga que vira a urina, mas tudo isso passa também pelo o estomago".

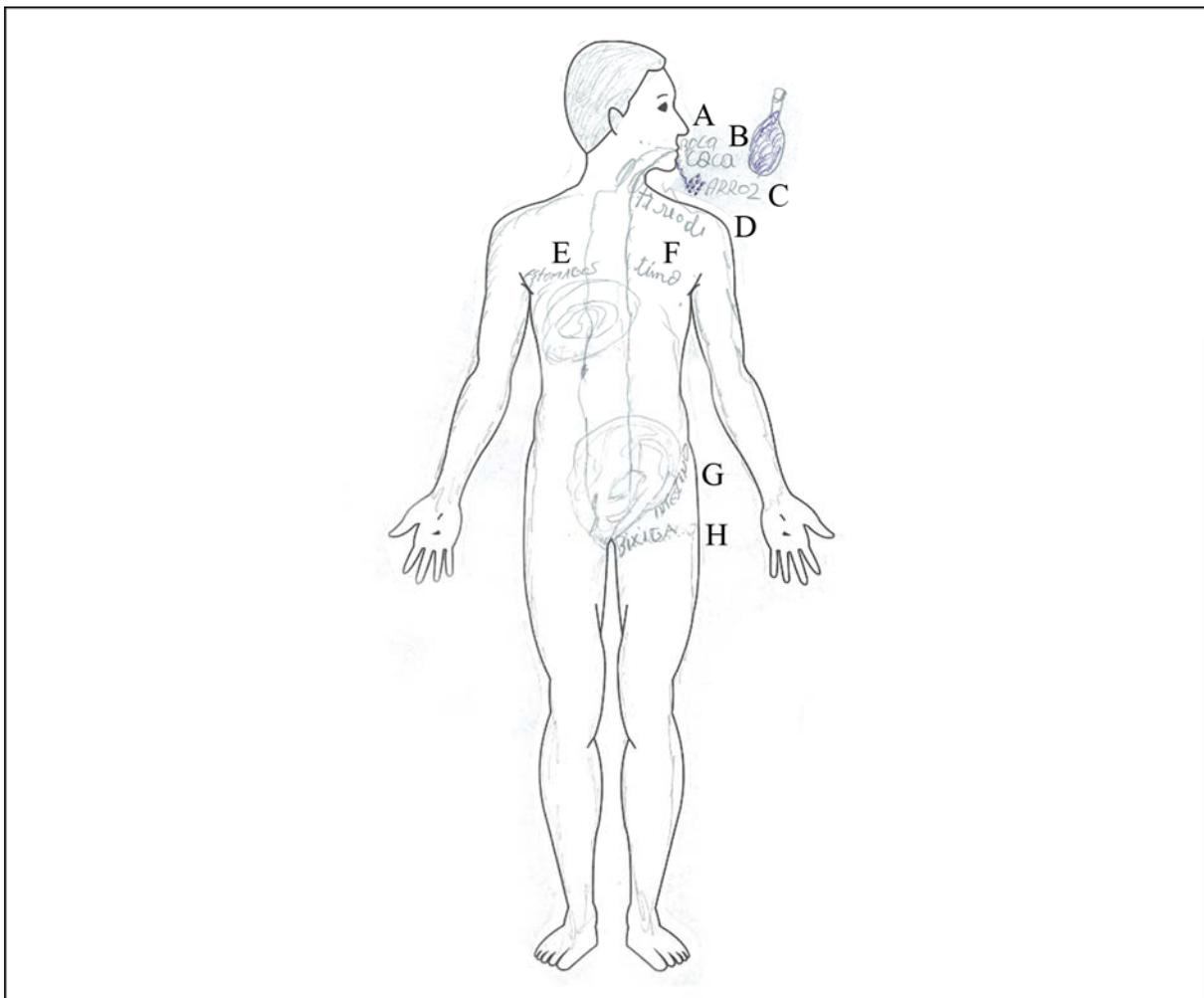


Figura 14. Desenho 1 - Fernando. Representação pictórica anterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados por "letras de fôrma" maiúsculas (A, B, C, D, E, F, G e H) inseridas pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "arroz" e "coca cola".

4.1.5 Ricardo, 2º H - Desenho 1

Observam-se (Figura 16) duas linhas partindo da boca, que a princípio parecem formar um caminho único, mas que terminam cada uma em um conjunto de circunferências concêntricas denominado "tripas". Abaixo do conjunto da direita no desenho, observamos uma inscrição apagada que dizia "bixiga".

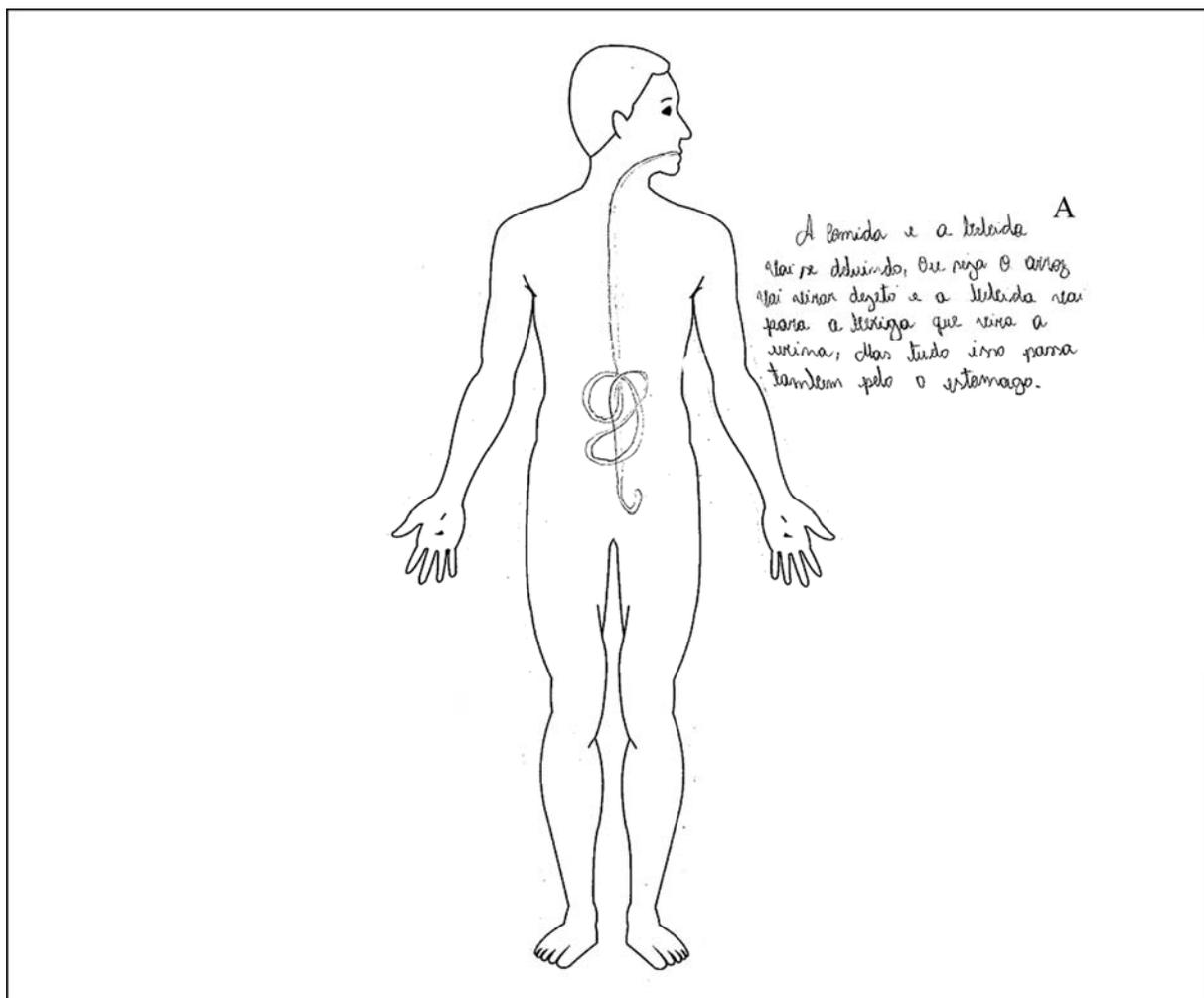


Figura 15. Desenho 1 - Raissa. Representação pictórica anterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). O elemento textual é indicado pela "letra de fôrma" maiúsculas "A", inseridas pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "arroz" e "refrigerante".

Ao lado das linhas que partem da boca, temos outro conjunto de circunferências que recebeu o nome de "coração", em posição oposta à esperada anatomicamente para o órgão. Na porção superior do tórax, observamos dois elementos compostos por dois círculos concêntricos que possivelmente representam os mamilos.

Ao lado da boca temos dois elementos que identificamos como um copo e uma maçã. Por toda extensão do corpo observamos traços que poderiam representar veias ou pêlos.

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "coração"; (B) "tripas"; e (C) "bixiga" - esta inscrição encontrava-se apagada, mas é possível visualizá-la claramente no original.

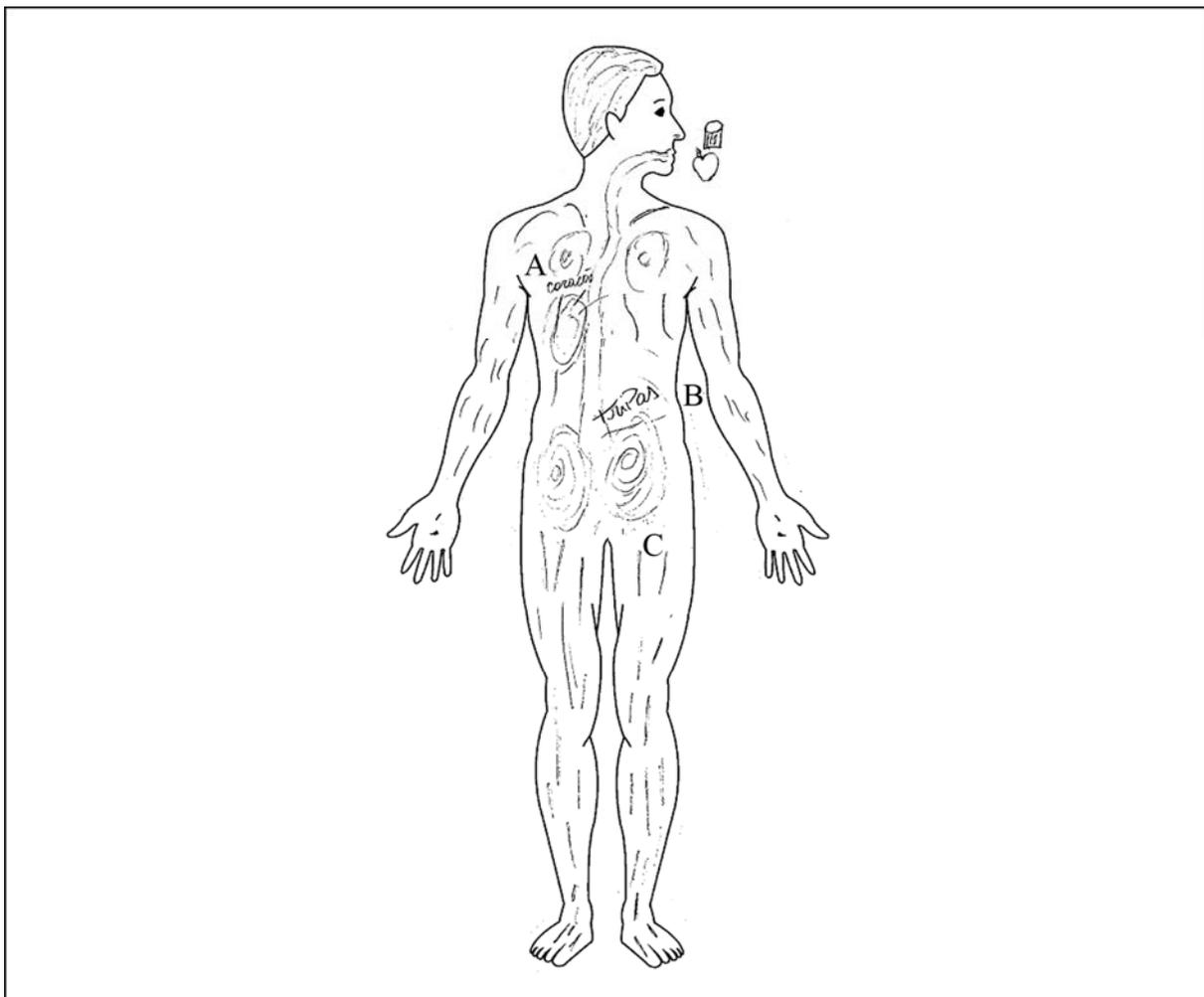


Figura 16. Desenho 1 - Ricardo. Representação pictórica anterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados por "letras de fôrma" maiúsculas (A e B) inseridas pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "maça" e "água".

4.1.6 Simone, 2º H - Desenho 1

Verificamos em sua representação (Figura 17) a indicação do que parecem ser os dentes, um canal único levando ao que ela indicou como estômago, seguido de outro canal que termina na porção inferior do abdome, embora o final do canal não esteja evidente. É possível verificar duas estruturas ao lado do estômago em posição condizente com as duas pulmões, uma pequena abaixo do estômago, bem como duas estruturas circulares nas laterais da porção inferior abdominal, possivelmente representando os rins, das quais partem duas linhas que se

encontram abaixo. Entre elas vemos uma estrutura circular, possivelmente representando a bexiga.

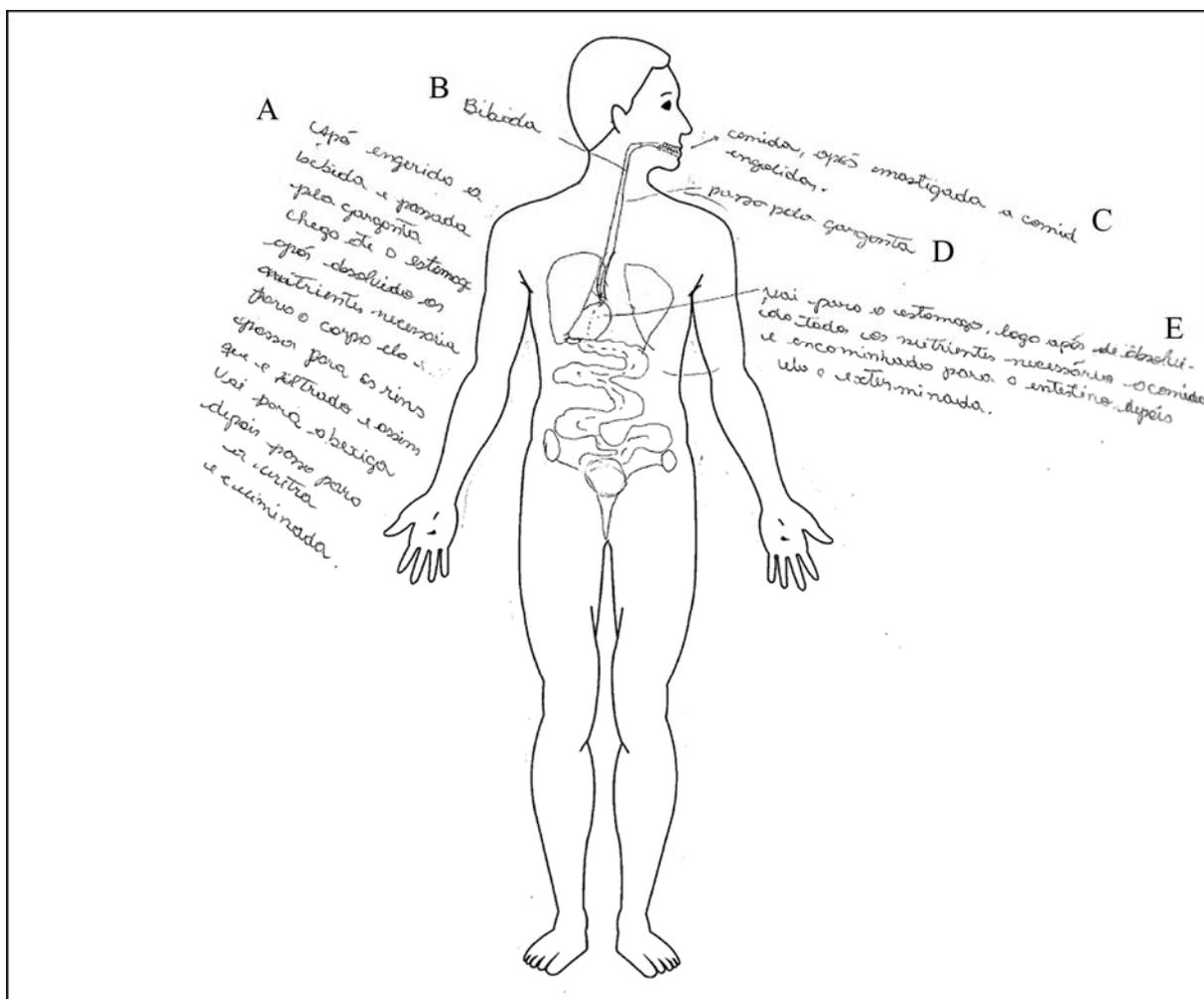


Figura 17. Desenho 1 - Simone. Representação pictórica anterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados por "letras de fôrma" maiúsculas (A, B, C, D e E) inseridas pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "espaguete" e "vinho".

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "Após ingerido a bebida e passada pela garganta chega até o estômago após absorvidos os nutrientes necessários para o corpo ela passa para os rins que é filtrado e assim vai para a bexiga depois passa para a uretra e é eliminada"; (B) "Bebida"; (C) "comida, após mastigada a comida é engolida"; (D) "passa pela garganta"; e (E) "vai para o estômago, logo após de absorvidos todos os nutrientes necessários a comida é encaminhada para o intestino depois ela é exterminada".

4.1.7 Sofia, 2º H - Desenho 1

O desenho (Figura 18) é composto basicamente por uma linha com início na boca, descendo pelo tórax, passando por uma forma arredondada (podendo se tratar de "estômago", "Fígado" ou "intestino grosso"), e bifurcando-se em sua porção inferior, terminado à direita do desenho em uma forma circular e um semi-círculo com um traço pouco definido, inseridos durante a entrevista pelo entrevistado.

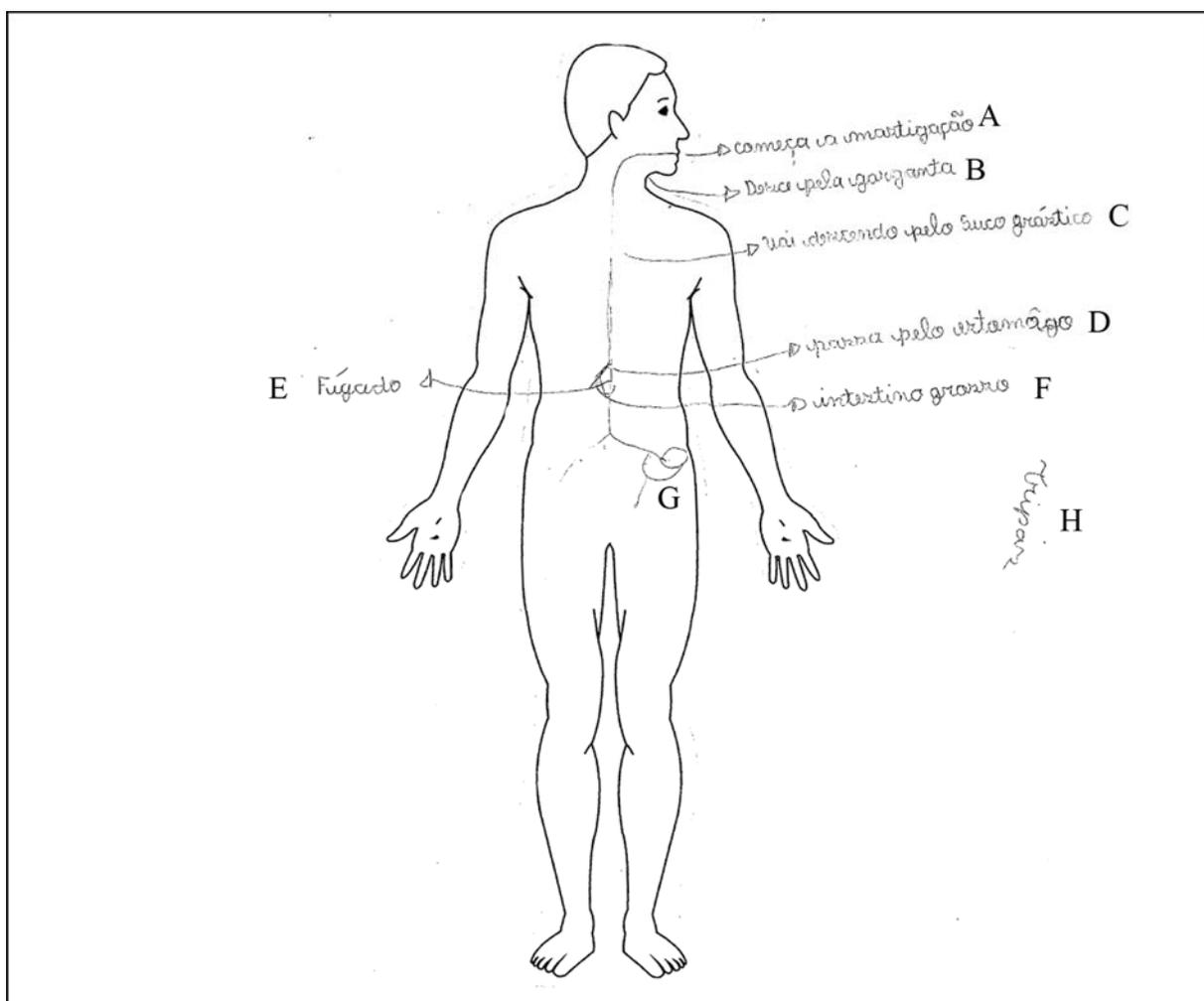


Figura 18. Desenho 1 - Sofia. Representação pictórica anterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados pelas "letras de fôrma" maiúsculas "A", "B", "C", "D", "E" e "F", inseridas pelo pesquisador. As letras "G" e "H" representam elementos inseridos durante a entrevista pelo entrevistado. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "sanduíche" e "suco".

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "começa a mastigação"; (B) "Desce pela garganta"; (C) "Vai descendo pelo Suco grástico"; (D) "passa pelo estômago"; (D) "Fígado"; e (E) - "intestino grosso".

4.1.8 Tereza, 2º G - Desenho 1

O desenho (Figura 19) apresenta traçado tênue, composto por uma linha passando por um elemento que a aluna aponta como "coração" e prosseguindo até a porção inferior do abdome. Observam-se alguns traços nos braços, possivelmente indicando veias.

A seguir, o elemento textual transcrito conforme na figura: (A) "coração".

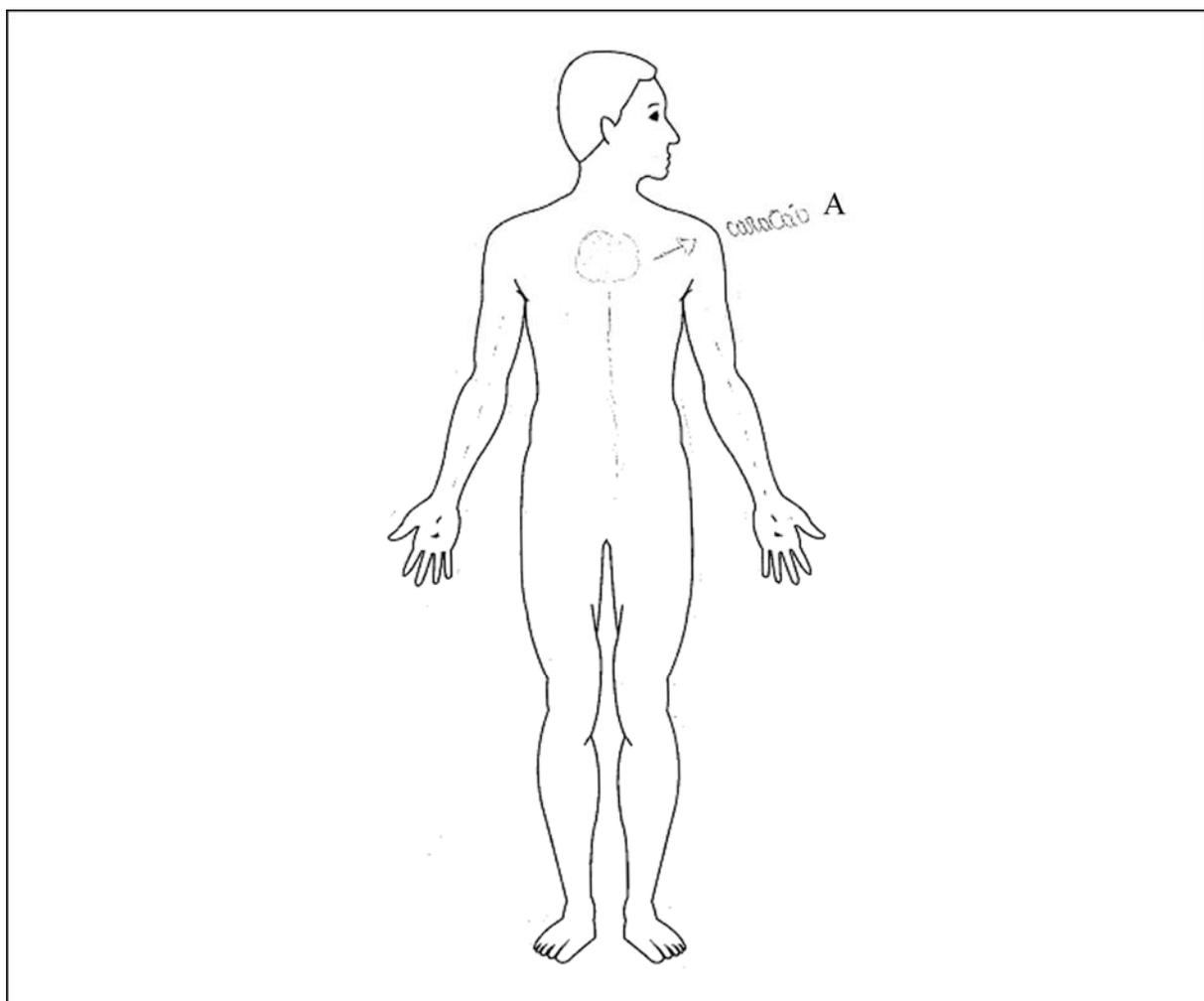


Figura 19. Desenho 1 - Tereza. Representação pictórica anterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). O elemento textual é indicado pela "letra de fôrma"

maiúsculas "A" inserida pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "cachorro quente" e "refrigerante".

4.2 ANÁLISE DOS DESENHOS E ENTREVISTAS INICIAIS

Os desenhos e as respostas às entrevistas foram analisados, buscando-se compreender as diversas representações mentais dos alunos sobre cada etapa do processo digestório, sendo divididos de acordo com sua correlação com aos seguintes órgãos: (a) faringe, laringe e esôfago; (b) estômago; (c) intestinos (delgado e grosso); (d) fígado, pâncreas e vesícula biliar; e (e) glândulas salivares. O resumo dos resultados é apresentado nos quadros 1 (Alexandra, Carlos, Fernando e Raissa) e 2 (Ricardo, Simone, Sofia e Tereza).

O fato de as estruturas representadas nem sempre possuírem uma relação evidente com aquelas esperadas para o corpo humano - de acordo com o modelo científico utilizado - exigiu, nestes casos, seu agrupamento por critérios de semelhança anatômica ou fisiológica, justificada a escolha.

A multiplicidade e natureza mutável das representações mentais, que se alteram numa via de mão dupla com o que o indivíduo imagina ou expressa (dificultando um delineamento rígido), também foram consideradas na análise.

4.2.1 Faringe, laringe e esôfago

Os estudantes representaram a primeira via de acesso de alimentos sólidos e líquidos de formas bastante divergentes entre si, mas que puderam ser organizadas em três grupos principais: (a) *trajetória única* - Alexandra, Simone, Sofia e Tereza; (b) *trajetórias distintas* - Fernando e Raissa; e (c) *trajetórias duais* - Carlos e Ricardo. Ao final, discorreremos sobre as relações com as vias respiratórias no item "d".

Para efeitos de classificação, foram consideradas as representações dos alunos ao final da entrevista, uma vez que nos interessava avaliar os resultados das atividades em sala que se seguiriam.

Quadro 1. Tipos de representações mentais iniciais utilizadas para explicar o sistema digestório (Alexandra, Carlos, Fernando e Raissa)

ÓRGÃOS	Alexandra	Carlos	Fernando	Raissa
Faringe e esôfago (trajetórias alimentos líquidos e sólidos)	MM (trajetória única*; ligação esôfago-estômago‡)	IM (trajetória única*; ligação esôfago-estômago*) RP (trajetórias distintas‡)	RP (trajetórias distintas‡)	MM (trajetórias distintas‡)
Faringe e laringe (trato digestório e vias respiratórias)	§	§	MM (vias distintas para ar oriunda da boca e nariz‡)	§
Estômago (posição no trato)	MM (precedido por intestino‡; função digerir sólidos* e separar líquidos†)	IM (precedido por intestino‡; recebimento de secreções digestivas*; e formação de fezes‡) RP (absorção de líquidos†)	RP (precedido por esôfago*; ligações incertas‡)	MM (como órgão anexo‡; digestão biológica‡; armazenamento de alimentos*; e formação de fezes‡)
Intestinos (delgado e grosso)	MM (anterior ao estômago‡; e posterior ao estômago†)	RP (anterior ao estômago‡) MM (posterior ao estômago†)	RP (posição indeterminada‡)	MM (posterior ao estômago†; transporte de fezes†)
Fígado, vesícula e pâncreas	RP (vesícula associada à bexiga‡)	IM (fígado* e secreções†)	RP (fígado parte do sistema circulatório‡)	RP (fígado parte do sistema circulatório‡)
Glândulas salivares (saliva: local de produção e função)	MM (local - frênulo‡; função - lubrificação alimento*)	MM (local - laterais da bochecha‡) RP (função - paladar‡)	RP (local - garganta‡) MM (função - umectação boca/garganta*)	RP (local - salivares menores*, parótida†, e sublinguais*; função - paladar‡)

MM - Modelo mental; IM - Imagem mental; RP - Representação proposicional; * - Consistente com o modelo científico; † - Parcialmente consistente com o modelo científico; ‡ - Inconsistente com o modelo científico; § - Não representado ou não se aplica.

Quadro 2. Tipos de representações mentais iniciais utilizadas para explicar o sistema digestório (Ricardo, Simone, Sofia e Tereza)

ÓRGÃOS	Ricardo	Simone	Sofia	Tereza
Faringe e esôfago (trajetórias alimentos líquidos e sólidos)	IM (trajetória única diferente †) RP (trajetórias distintas ‡)	MM (trajetória única*; ligação esôfago-estômago*)	RP (trajetória única*; ligação esôfago-estômago ‡)	RP (trajetória única*)
Faringe e laringe (trato digestório e vias respiratórias)	RP (vias distintas para ar oriunda da boca e nariz ‡)	§	§	§
Estômago (posição no trato e função)	RP (precedido por esôfago*; ligações incertas ‡; função de digestão* e formação de fezes ‡)	MM (precedido por esôfago*; função de digestão* e absorção de nutrientes*)	RP (precedido por "fígado" ‡)	RP (precedido por esôfago*; função de formação de fezes ‡)
Intestinos (delgado e grosso)	RP (ora recebe fezes do estômago ‡; ora está desconectado deste ‡)	MM (após a "vesícula" ‡; formato senoidal ‡) RP (passagem pelos rins*)	RP (após estômago*; bifurcado ‡)	§
Fígado, vesícula e pâncreas	§	MM (vesícula biliar como parte do trato ‡)	RP (fígado como parte do trato)	RP (fígado próximo ao coração †)
Glândulas salivares (saliva: local de produção e função)	RP (local - estômago ‡; função - fala ‡) MM (função - lubrificação alimento*)	RP (local - garganta ‡) MM (função - lubrificação alimento* e umectação boca/garganta*)	RP (local - salivares menores*; função - paladar ‡)	MM (função - umectação boca/garganta*)

MM - Modelo mental; IM - Imagem mental; RP - Representação proposicional; * - Consistente com o modelo científico; † - Parcialmente consistente com o modelo científico; ‡ - Inconsistente com o modelo científico; § - Não representado ou não se aplica.

Descreveremos, primeiramente, as representações que sinalizam um caminho único para ambos os tipos de alimento, seguidas das que o fazem com caminhos distintos, e posteriormente as trajetórias duais - equilíbrio dinâmico entre trajetória única e trajetória distinta. Por último, tratamos das relações com o sistema respiratório.

Trajectoria única para alimentos sólidos e líquidos

Percebemos no desenho e nas respostas de Alexandra, clara referência a um caminho único para alimentos sólidos e líquidos:

Alexandra: a comida primeiro vai passar pela língua, depois pela saliva, (++) aí vai passar pelas tripa aqui ((apontando para duas projeções com início comum ao estômago, Figura 12)), né? Tanto a bebida quanto a comida.

Há divergência do modelo científico no que tange à ligação entre boca e estômago, que neste caso é precedida por uma conexão ao que a aluna chama de "tripa" durante a entrevista (o termo utilizado por ela também se aplica ao canal relacionado ao esôfago, no desenho), possivelmente representando o intestino delgado (vide tópico 4.2.3).

A consistência dos modelos expressos pela aluna para simbolizar a trajetória dos alimentos até este ponto, sugere uma representação mental que atua como análogo estrutural ao que ela concebe para o corpo humano, permitindo classificá-la como um modelo mental²⁵ dentro da perspectiva de Johnson-Laird (1983).

Por motivos similares, atribuímos a mesma classificação à representação de Simone que também apresenta um caminho único para a comida e bebida:

Simone: a comida pela boca (+) mastigada, aí:: passa pela garganta, depois vai para o estômago::

Simone: a bebida eu coloquei pelo mesmo processo. Pela boca, desce pela garganta, ai passa:: pelo estômago (+) aí vai pra o:: passa pelos rins, depois pra bexiga e é eliminado.

²⁵ Johnson-Laird (1983, p. 156) descreve um modelo mental como aquele cuja estrutura "tem um papel representacional direto uma vez que é análogo à estrutura do estado de coisas correspondente no mundo - como o percebemos ou concebemos " (tradução nossa), no original: "plays a direct representational role since it is analogous to the structure of the corresponding state of affairs in the world - as we perceive or conceive it.

Sofia relata a existência de um caminho único para líquidos e sólidos até esse ponto:

Sofia: primeiro vai pra cá, que agente mastiga o alimento ((apontando para a boca)), aí desce pela garganta (+) aí vai descendo pelo suco gástrico que eu:: não tenho certeza se é aqui ou mais pra baixo. Aí passa pelo fígado e pelo estômago (+) depois pelo:: pelo intestino grosso/

Sofia: a bebida é a mesma coisa eu acho. Só que eu acho que ela depois vem é pra cá. ((apontando para a linha à esquerda, depois da bifurcação, na porção inferior do abdome, Figura 18)).

O desenho de Sofia é menos evidente que o de Simone e sua descrição dos itens, que inclui o termo "suco gástrico" se referindo a um órgão ou região, indica uma aprendizagem mecânica. Não há separação das trajetórias dos alimentos líquidos e sólidos, o que é consistente com a afirmação da aluna de que a separação se daria na bifurcação da porção abdominal inferior.

A indeterminação da posição do "suco gástrico" foi interpretada como uma dúvida estrutural do trato digestório, embora não descartemos a hipótese de ela ser referente apenas às nomenclaturas de suas porções. A indefinição quanto ao órgão de destino, mencionado pela aluna como o fígado, mas cuja ordem no desenho é dúbia (vide tópico 4.2.4), nos levou a classificar sua representação como proposicional.

Tereza, por sua vez, não representa pictoricamente (Figura 19) uma trajetória à partir da boca, mas em suas repostas à entrevista aponta para uma que seja comum:

Tereza (resposta para "comida"): vai aqui assim ((aponta trajeto em linha reta da boca até a região abdominal, Figura 19)).

Tereza (resposta para "bebida"): pra mim o refrigerante também é a mesma coisa, desce pela:: sei lá, vai até aqui ((apontando para a região do abdome no desenho, Figura 19)).

Embora haja indicação do caminho, a aluna parece não ter visualizado especificamente como se daria essa passagem, qual seria seu formato ou tamanho, mas apenas a descreve de modo genérico, sem caráter preditivo ou funcional.

No início da entrevista, Tereza havia afirmado que o local de destino da comida seria o estômago, mas o termo não aparece novamente em suas respostas, evidência da falta de correspondência concreta:

Pesquisador: e se fosse pra dizer o nome onde eles param?

Tereza: não professor, sei não.

Pesquisador: e se fosse pra desenhar (+) mais ou menos, assim? (1,5s)
Como você imagina que seja? (+) o tamanho:: nome::

Tereza: um:: num faço a menó, num sei não.

Possivelmente a palavra estômago seja interpretada como a região da barriga, mas não como um compartimento com uma conexão por meio de um tubo à boca. Ao que tudo indica, a aluna possui apenas uma representação proposicional que localiza a região abdominal como destino final dos alimentos sólidos e líquidos, sem conseguir visualizar como se daria essa passagem, ou como seria internamente o local de destino.

Trajetórias distintas para alimentos sólidos e líquidos

Fernando e Raissa indicam caminhos distintos para alimentos sólidos e líquidos antes da entrada em um primeiro compartimento.

Para Fernando, a separação nesta região não é tão clara, mas há uma predominância tanto no desenho, quanto em suas respostas, em representá-la logo após a ingestão:

Fernando: só que eu acho que mais ou meno aqui assim ((apontando para o pescoço no desenho, Figura 14)) que chama:: muita gente chama garganta, né? Aqui deve tê alguma ultrapassagem, eu acho aqui (+) da comida e da bebida /.../ eu acho que os dois não vai pro mesmo lugar não, eu acho que não, mesmo se for (+) assim ((risos)) no meio do caminho ela tem de ser diferente.

Em momento anterior na entrevista, o aluno havia descrito uma separação novamente na altura da garganta, com menção a um caminho inespecífico, distinto do representado no desenho:

Fernando: eu acho que o:: o líquido, né? no caso aqui seria a coca. Não sei, eu acho que no caso ele desceria pela::, pela garganta né ((risos)) e eu acho que o líquido, eu acho que ele vai pra o corpo inteiro, né? Eu acho, num sei, né? Porque o líquido faz parte do corpo inteiro. Aí eu acho que ele desceria para a bexiga, né?

Notamos a ausência de um modelo mental consistente para a trajetória que descrevem a "bebida" e a "comida". O aluno opera por meio de representações proposicionais que indicam

um início comum na boca, e um final distinto, com o líquido chegando à bexiga, sendo incertos os caminhos intermediários que percorre.

O "timo" (Figura 14) seria parte de um duto pelo qual passariam a "bebida" ou a "comida":

Fernando: aqui é o timo (+) o nome tá certo aqui, timo?

Pesquisador: o que ele faz, o timo?

Fernando: eu num sei se é da comida ou do líquido, mas é uma parte assim do:: ele é alguma ultrapassagem (+) /../ por onde passa assim.

A "tireóide" não teria qualquer função relacionada à digestão ou passagem de alimentos.

O desenho de Raissa (Figura 15) e suas respostas iniciais para esta porção do trato digestório são consistentes com um trajeto único e funcional para alimentos sólidos e líquidos, o que nos permitiu classificar sua representação inicial como um modelo mental:

Raissa: tem uma tripa que é fundamental pra nós, né? que é a principal /.../ que é a que circula todas as nossas:: nossas coisas que a gente dege:: come, né?

Pesquisador: e as que a gente bebe?

Raissa: eu imagino que desce pelo mesmo local.

O modelo mental inicial de Raissa, contudo, se modifica recursivamente ao longo da entrevista à medida que ela o confronta com as possíveis conexões com o sistema urinário:

Raissa: se por acaso o arroz:: deve ser até coisa idiota meu, mas eu imagino assim:: que se por acaso o arroz e o:: e a água, fosse pelo mesmo:: coisa. Teria que a gente mijar também saindo a mesma coisa:: ((risos)) mijar e:: coisar também.

Por fim, acaba por alterar seu modelo mental, de modo a torná-lo funcional e ao mesmo tempo consistente com as proposições:

Pesquisador: mas eles se separariam antes ou depois de chegar ao estômago?

Raissa: antes, eu acho que antes de passar por todos os processos.

A representação proposicional geradora do conflito e que termina por modificar o modelo mental da aluna, é consistente com as seguintes premissas e conclusão:

Um caminho único resulta em fezes nas vias urinárias

Não há fezes nas vias urinárias

Então, o caminho não é único

Esta é apenas uma exemplificação. As nuances do processamento em "linguagem da mente", nos termos de Johnson-Laird (1983), apresentam contornos mais complexos.

Destacamos que a aluna não substitui completamente seu modelo mental inicial por uma representação proposicional, mas o modifica, sem que ele perca a funcionalidade. Moreira (2006), ao discorrer sobre *aprendizagem significativa*, chama atenção para esta dinâmica de análise recursiva.

Trajectoria dual para alimentos sólidos e líquidos

Carlos e Ricardo operam com duas representações conflitantes: uma considera um caminho único para sólidos e líquidos; a outra, caminhos distintos.

O desenho de Carlos é consistente com um caminho único. No entanto, no início da entrevista, Carlos afirmou que a água e a comida se separariam a caminho do estômago, descendo a "bebida" diretamente para este órgão, e a "comida" passando pelo que chamou de "tripa" antes de chegar a ele:

Carlos: /.../ você comeu e bebeu água. Ela segue todo junto no mesmo caminho, né? Só que a:: a comida, ela vem aqui pelas:: a tripa, né? ((apontando para a região identificada como esôfago, Figura 13)) As tripas. Aí chega lá no estômago.

O conflito se reflete na forma como representa de modo tênue a "tripa" durante a entrevista, sem mostrar exatamente uma conexão com a porção inicial do trato digestório (Figura 13H). Essa porção inicial, semelhante ao esôfago, se conecta no desenho ao estômago.

No decorrer da entrevista, Carlos parece abandonar a idéia de uma via alternativa para os alimentos sólidos nesse ponto:

Carlos: eles com certeza vão junto, né? Porque eles não tem como se separar daqui, né? ((apontando para o desenho, Figura 13)). Só quando chega lá no:: no estômago (++) eles se separam.

Percebemos que Carlos se apóia no desenho para refutar a hipótese de separação entre líquidos e sólidos, ao invés de sugerir a inclusão da "tripa" ao tubo, o que igualmente solucionaria o problema lógico. Este fato, aliado à escolha de não desenhar a estrutura com traçado consistente, nos permite inferir que há utilização de uma imagem mental na qual o tubo é único.

Interessante notar que ele não abandona a idéia de que a "tripa" esteja localizada antes do estômago, mas apenas a da separação entre líquidos e sólidos. Tampouco indica que o canal anteriormente representado deveria ser substituído ou reconectado, o que representa uma impossibilidade funcional, refletida na insegurança quanto ao posicionamento da estrutura:

Carlos: as tripa tão aqui, é que elas tão assim, assim e assim ((fazendo movimentos circulares acima e sobre o estômago no desenho)).

Pesquisador: elas ficam na frente aqui então? ((apontando para o estômago no desenho))

Carlos: não, fica aqui por cima, né? Não, depois do:: aqui em baixo, depois do coração é que começa elas.

Comparando as afirmações de Carlos com seu desenho, percebemos a ausência de uma representação funcional que seja capaz de predizer o caminho percorrido pela água e pela comida até a chegada ao estômago. Concluimos, portanto, que o aluno não possui um modelo mental do processo. Carlos trabalha com duas representações distintas e conflitantes. A primeira, uma imagem mental com caminho único e direto para alimentos sólidos e líquidos até o estômago, e a segunda, uma representação proposicional que implica passagem da comida, e apenas dela, por um canal alternativo.

Uma possível expressão verbal para uma representação proposicional com esse tipo de implicação seria:

A comida passa pela “tripa”

Depois do estômago não há mais comida (vide tópico 4.2.3)

Então, a "tripa" está antes do estômago

Diante da impossibilidade de resolver o conflito sem abrir mão de uma das representações, Carlos parece manter ambas, resgatando, ora uma, ora outra, para solucionar problemas.

O desenho de Ricardo aponta para uma via única (Figura 16), corroborada por suas respostas no início da entrevista:

Ricardo (resposta para trajeto da "comida"): eu desenhei /.../ uma maçã:: que passa por aqui e vai pro estômago ((apontando para o centro, entre as "tripas", indicadas por círculos concêntricos na Figura 16)).

Ricardo (resposta para trajeto da "bebida"): a bebida aqui é o mesmo:: processo, né? Da comida. Passa pelo estômago::

As respostas, à medida que ele se confronta com as relações com o sistema urinário, em diferentes momentos da entrevista, oscilam entre as duas possibilidades:

Ricardo (momento 1): a água separa nessa região assim:: ((apontando no centro do desenho, próximo ao coração)) e a comida (+) vai pro estômago.

Ricardo (momento 2): quando chega no estômago (+) divide a água:: e a:: comida vai pro:: pro:: pras tripas e a bebida vai pro:: pro rins.

Ricardo (momento 3): a comida descia pro estômago e o:: e a água pros:: pros rins.

Percebemos um conflito entre uma imagem mental que possui um único caminho descendente até o estômago, e uma representação proposicional que implica caminhos distintos.

Relação com as vias respiratórias

De modo geral, os alunos não souberam estabelecer uma relação direta entre o trato digestório e as vias respiratórias, que no modelo científico são separados a partir da epiglote. Aqueles que o fizeram, apresentaram representações bastante distintas do modelo científico.

Fernando considera o caminho percorrido pelo ar quando entra pelo nariz, completamente distinto daquele percorrido a partir da boca:

Fernando: se você puxa, eu acho que ele deve:: deve vim pra o estômago. Porque você enche o peito.

Pesquisador: você acha que é diferente quando é pelo nariz e quando é pela boca?

Fernando: ((respirando fundo em silêncio)) eu acho que:: se é pela boca ele sai pelo nariz ((respirando novamente)) (++) , eu acho que se puxa pela boca ele sai pelo nariz.

Pesquisador: aí:: aí ele entra pela boca e:: vai pra onde?

Fernando: eu acho que ele:: sai pelo nariz.

Pesquisador: como que ele faria no desenho, qual o caminho?

Fernando: deve ter algum canal aqui:: agora eu não sei se é por cima do olho ou se é aqui por baixo.

Notamos que as representações do aluno nesse caso específico, embora distintas do modelo científico, são funcionais para a realidade concebida por ele, o que nos permite classificá-las como modelos mentais. No caso da respiração pela boca ele parece considerar duas possibilidades de realidade, uma com um canal que liga a boca ao nariz diretamente, e outra que percorre um caminho sobre os olhos, mas ambas são consistentes.

Ricardo indica uma conexão direta entre sistema circulatório e respiratório, ao afirmar que o ar, quando inalado pela boca, poderia estar passando pelo coração. A representação, contudo, não está assentada em uma base funcional, oscilando as respostas entre mais de uma possibilidade de caminho até a chegada aos pulmões, ficando seu trajeto em aberto:

Ricardo: estaria indo pro mesmo lo:: local assim, mas não (++) não necessariamente por (+) porque se o ar não tivesse indo pro mesmo lugar você não taria vivo, né? /.../ passa por outros locais, mas vai pra mesma região, assim.

A classificamos, portanto, como uma representação proposicional.

4.2.2 Estômago

As representações que tiveram correlação com o estômago foram classificadas em três grupos principais, de acordo com o posicionamento do estômago no trato digestório: (a) *estômago precedido por esôfago* - Fernando, Ricardo, Simone e Tereza; (b) *estômago precedido por órgão diverso do esôfago* - Alexandra, Carlos e Sofia; e (c) *estômago como órgão anexo* - Raissa. Consideramos como esôfago os canais de caminho único que chegavam

a um primeiro reservatório identificado como estômago, independente da ocorrência de caminhos alternativos.

Estômago precedido por esôfago

Percebemos em Fernando dois momentos distintos: no primeiro, o estômago é precedido por um canal que conduz alimentos líquidos ao seu interior; no segundo, o estômago deixa de fazer conexão com esse canal, passando a fazê-lo com outro que conduz alimentos sólidos. Em ambos os momentos temos um único órgão se conectando ao estômago - análogo ao esôfago mas com função qualitativamente distinta.

O primeiro momento corresponde ao início da entrevista e é consistente com o desenho de Fernando (Figura 14). A respeito do caminho percorrido pelo alimento líquido, ele afirma:

Fernando: Eu acho que ele deve fazer algum:: algum giro aqui no estômago, alguma coisa, entendeu? (++) aí eu num sei se:: eu acho, que ele vem pra bexiga.

No segundo momento verificamos a mudança:

Fernando: eu acho que o:: o estômago, eu acho que é mais o:: é o:: no caso é a massa, eu acho que mais a massa é pra:: no caso do arroz, né? Acho que deve vim aqui, faz o processo todo, entendeu? Aí deve distribuir pra algum lugar, não sei se é pras tripa, não sei pra onde que é ((risos)).

A incerteza quanto à presença de sólidos ou líquidos e a inespecificidade das conexões aos demais órgãos nos levam à conclusão de que ele opera com uma representação proposicional.

Ricardo também opera com representações proposicionais para se referir ao estômago, oscilando entre momentos nos quais o considera como destino de líquidos e sólidos e momentos nos quais desconsidera a presença de líquidos:

Ricardo (momento inicial): o estômago tá no meio aqui /.../ aí ele manda uma parte pra:: pras tripa:: que é o:: cocô, e a água sai pelo:: (+) pelo:: ((percorrendo com o dedo o caminho do estômago à virilha, Figura 16)).

Ricardo (momento intermediário, se referindo à origem da urina): de onde que ela vem? (++) do rins, passa pelo rins (+) não sei se passa pelo estômago ((risos)).

Embora haja menção a uma possível passagem do líquido pelos rins antes de se dirigir ao estômago, houve uma predominância de respostas implicando o estômago como primeiro destino de sólidos e líquidos.

Quanto às funções do estômago temos a digestão de alimentos e formação de fezes:

Ricardo (se referindo à "comida"): aí elas passa por um processo (+) aí depois:: joga pra:: pra fora, num sei (++) na hora que vai ter a necessidade aí já:: joga pra fora.

Simone localiza o estômago em seu desenho como sendo posterior à "garganta" e anterior ao "intestino" (Figura 17). Durante a entrevista, a aluna menciona a passagem do alimento pela "bile" (provável referência à vesícula biliar), indicando que esta faria parte do tubo:

Simone: chega no estômago:: é tirado todos nutrientes necessários:: depois a:: a comida:: passa pela bile, a bile também ajuda.

Quanto às funções do estômago, foram mencionadas a digestão e a absorção de nutrientes:

Simone: chega no estômago:: é tirado todos nutrientes necessários:: depois a:: a comida:: passa pela bile, a bile também ajuda.

Embora a "bile" seja representada no desenho como desconectada do estômago, percebemos que isto ocorre também com relação ao esôfago e intestino. Interpretamos o fato como sendo um efeito da forma segmentada como o assunto é normalmente abordado, não implicando a descontinuidade do trajeto.

Solicitamos, de modo complementar, que a aluna localizasse o estômago no próprio corpo, sendo a localização indicada relativamente congruente com o desenho (Apêndice B6). A explanação da aluna é preditiva quanto à sequência de eventos, o que nos levou a considerar que ela possui um modelo mental.

O mesmo não se verificou para Tereza, que possui uma representação proposicional do estômago. Isto é evidenciado pela explicação inespecífica para sua posição, indicada de forma genérica no abdome. A aluna também não desenhou o órgão (Figura 19). Como função que lhe foi atribuída temos a formação de fezes:

Tereza: eu acho que a comida vem praí depois ela errigesse, sei lá como é o nome, como é que se fala, aí depois:: sai.

A não indicação de uma etapa posterior ao estômago, acrescida da indicação de que este é o destino final dos alimentos, sugerem a não correlação com os demais órgãos do trato digestório.

Estômago precedido por órgão diverso do esôfago

De acordo com o desenho de Alexandra (Figura 12), o estômago estaria localizado na porção mediana do abdome, entre o que ela chama de "tripa", possivelmente uma referência ao intestino grosso e/ou delgado (vide tópico 4.2.3).

Alexandra associa ao estômago a função de digerir alimentos sólidos e separá-los dos líquidos:

Alexandra: tanto a bebida como a comida vai pro estômago e depois a bebida vai pra bexiga /.../ mas a comida continua no estômago /.../ até ser digerida, sei lá (+) é isso?

Embora isto não seja necessariamente correto, a descrição verbal do trajeto percorrido pelos alimentos é consistente com o desenho, o que nos levou a considerar sua representação como um modelo mental.

Durante a entrevista solicitamos, de modo complementar, que a aluna apontasse em seu próprio corpo a posição relativa de seu estômago:

Pesquisador: e se fosse pra dizer onde fica o estômago, assim em você?

Alexandra: na parte do, do::, do abdo ((movimentando as mão na região do tórax)) do peito aqui, né? Não sei. Não sei se é abaixo, se é aqui no meio:: porque na verdade os peito fica aqui, né? ((apontando para os seios)) Então é abaixo aqui ((apontando para a posição indicada no Apêndice B1)).

Notamos que a posição esperada para o estômago, num primeiro momento, é a região do tórax, o que diverge do desenho da aluna. Consideramos essa divergência como uma dificuldade de correlacionar a figura ao próprio corpo, evidenciada também em outro

momento, no qual ela correlaciona seu lado esquerdo do corpo ao lado esquerdo da figura (que corresponde ao lado direito do indivíduo representado na figura).

Percebemos que o modelo mental da aluna sobre a localização do estômago no próprio corpo é modificado à medida que ela elabora uma representação proposicional que entra em conflito com o anterior. Uma possível apresentação verbal dessa representação, em termos distintos dos utilizados pela aluna, mas com significados equivalentes, seria:

Os seios estão localizados no tórax

O estômago não ocupa o mesmo local dos seios

Então, o estômago não está na região do tórax

Com Carlos observamos um conflito semelhante em dois momentos, para duas questões distintas: (a) participação ou não da "tripa" na condução do alimento ao estômago; (b) localização dos órgãos no próprio corpo.

No primeiro caso ele não dá uma solução para o impasse mantendo ambas as representações (vide tópico 4.2.1). No segundo, que descrevemos a seguir, ele altera sua imagem mental anterior.

A posição do estômago apontada inicialmente por Carlos no próprio corpo indica uma localização central e na parte superior do abdome (Apêndice B2a). À medida que prosseguimos na entrevista, contudo, ele parece alterar sua imagem mental para que esteja de acordo com o presença das "tripa" e dos demais órgãos anteriormente identificados por ele (Apêndice B2b).

Quanto às funções do estômago, vemos relacionadas as de digestão, com presença de enzimas, e formação das fezes associada aos alimentos sólidos:

Carlos: Aí chega lá no estômago. Aí tem um líquido que eu sei que tem um liquidozinho que:: não sei o nome dele, né? O pessoal que chama fel, né? Tem muitas pessoa que chama fel. Aí cai, vai e faz a comida (1,5s) ((movimentando rapidamente as mãos uma em torno da outra)) se des:: (+) o cocô, né?

No que diz respeito aos alimentos líquidos, vemos uma aproximação da função de absorção:

Carlos: Aí o líquido, no caso do líquido, né? Também passa (+) por aq:: pelo rins, né? Ele passa pelo rins. O rins ele também dá uma coada no líquido/

Pesquisador: e:: como que ele passa daqui pro:: rim? ((apontando no desenho para o estômago)).

Carlos: daqui? (+) daqui ele:: tem processo pra sair, agora ((rindo)) como ele sai eu num sei, né?

Infere-se daí e da colocação da palavra "também" na afirmação anterior de que o rim "também dá uma coada", que na visão de Carlos há um processo mais complexo que a mera passagem por um canal na separação de líquidos no estômago, que pode ser relacionado, ainda que indiretamente, à absorção. Ele não explica, contudo, essa conexão.

Ressaltamos que o principal local de absorção de líquidos de acordo com o modelo científico, porém, não é o estômago, mas os intestinos delgado e grosso. O estômago também não é o único local de digestão, tampouco está associado à formação de fezes em um sentido estrito (PARKER, 2007).

Sofia faz menção em seu desenho (Figura 18) a uma série de nomes que estariam de alguma forma relacionados à trajetória dos alimentos no trato digestório. Os termos, no entanto, parecem não ter correlação com o modelo científico, indicando uma aprendizagem exclusivamente mecânica.

Particularmente com relação ao estômago e suas conexões, a aluna descreve o processo de chegada da comida da seguinte maneira:

Sofia: tá bem aqui ((aponta para a seta e a inscrição no desenho correspondente ao fígado, Figura 18)) aí depois desceu pra cá, pelo estômago:: aí vem:: pelo intestino grosso.

Pesquisador: primeiro passa pelo estômago ou pelo fígado?

Sofia: pelo fígado.

Embora seja difícil precisar a que se referem os termos - não estão desenhados e a aluna fornece poucas pistas verbais sobre eles - foi feito um esforço nesse sentido:

Pesquisador: qual seria o tamanho dele se você fosse fazer com a mão assim? /.../

Sofia: eu acho que eu diria que ele é:: ((juntando os dois polegares e os dois indicadores, em um formato elíptico alongado)) acho que mais ou menos assim.

Pesquisador: e:: e o estômago?

Sofia: /.../ eu acho que ele é tipo um:: uma bolinha, mas sendo bem maior que o fígado:: maior assim ((colocando uma mão acima da outra, com as palmas levemente curvadas, implicando um objeto de tamanho pouco menor que uma bola de futebol)) /.../

A aluna se refere ao fígado como entidade distinta e integrante do trajeto de alimentos, mas não lhe atribui uma função precisa:

Sofia: acho que ele é responsável pela digestão:: não, né? /.../ não eu acho que ele não faz a digestão.

Em suas respostas não percebemos um aspecto funcional para fígado e estômago. Notamos no desenho algumas inconsistências: a região que ela indica para o fígado estaria contemplando o "estômago"; e o tamanho indicado com as mãos para este órgão não é consistente com o espaço entre ele, o "fígado" e o "intestino grosso". Isto nos levou à conclusão de que ela se baseia em representações proposicionais, que segundo Johnson-Laird (1983) admitem uma série de possíveis estados de coisas no mundo.

Estômago como órgão anexo

Raissa não representa o estômago em seu desenho (Figura 15) mas o referencia como órgão anexo que estaria conectado ao que ela descreve como uma "tripa" principal:

Raissa: tem uma tripa que é fundamental pra nós, né? que é a principal (...) que é a que circula todas as nossas:: nossas coisas que a gente dege:: come, né?

Aqui ela se refere à chegada dos alimentos ao estômago, que se daria por uma abertura ou canal:

Pesquisador: e como que ele chega no estômago aqui?

Raissa: ((risos)) sei lá /.../ eu imagino que tenha uma:: uma passagem, né? que:: no caso um:: um órgão, que tem aqui uma trip:: uma coisa:: abertinha aqui no estômago. Aí do estômago ele volta de novo pra cá ((apontando para o caminho principal, Figura 15))

Raissa descreve também o processo de digestão, fazendo colocações que possivelmente são metáforas, embora não descartemos uma interpretação mais concreta, com a hipótese de digestão biológica:

Raissa: aí passa pelo estômago, aí faz um processo, pelo estômago, que ele já vem:: que eu imagino:: como se fosse uns bichinhos comendo:: as coisas que a gente come (+) assim que eu imagino, né? Que eu penso (+) aí vem, depois que ele já tá deluído/

Como funções do estômago temos ainda correlação com a sensação de saciedade, armazenamento de alimentos e formação das fezes:

Pesquisador: e pra que você imagina que sirva o estômago?

Raissa: /.../ acumular as coisas que a gente come. E também eu acho assim que, dizem, não sei se é verdade, que quando a barriga da gente tá roncando é porque tá pedindo comida. Então acho que é por conta que você já foi:: fazer necessidade e eu acho que o estômago, o nosso órgão começa a pedir alimentação.

Percebemos um esquema inteiramente funcional para a trajetória dos alimentos sólidos, com ingresso no estômago, digestão e retorno à via "principal" de seus produtos como fezes, o que nos permite classificar essa representação como um modelo mental.

4.2.3 Intestinos (delgado e grosso)

As representações foram agrupadas de acordo com sua posição anatômica no trato digestório, sendo: (a) *anteriores ao estômago, no todo ou em parte* - Alexandra e Carlos; (b) *posteriores ao estômago* - Raissa, Ricardo, Simone e Sofia; e (c) *posição inespecífica ou inexistente* - Fernando e Tereza.

A classificação em intestino delgado e intestino grosso, tradicionalmente feita no modelo científico, não foi utilizada pelos alunos de forma sistemática, sendo que encontramos apenas duas menções ao segundo termo e nenhuma ao primeiro. Este fato nos levou a considerá-los de forma única na maioria dos casos.

Percebemos uma clara dificuldade em endereçar assuntos relacionados às excreções humanas, notadamente à defecação, e às genitais e anus. Sempre que este assunto era

endereçado, notou-se acanhamento, pausas na fala, alongamentos silábicos e risos. Destacamos algumas falas ilustrativas:

Alexandra: eu acredito que ela vai pra um outro lugar, só não sei o nome, e ela (incompreensível) dagente (+) ((sacudindo as mãos)) fazer a:: necessidade mesmo, né? /.../

Carlos: /.../ faz digestão, depois:: desce também, mas não pela bexiga, né? Porque se fosse pela bexiga daí nós ia mijar (+) ((gaguejando)) sólido ((rindo)) (++) então vai pra cá pro (3s) ((desenha um traço do estômago até as proximidades da junção entre as pernas, terminando em um círculo pequeno, Figura 13G)) anus, né? No caso.

Raissa: quando chega aqui no final:: eu acho que tem a passagem, né? Que vai pra nossas:: ((gagueira)) eu me esqueci o nome ((engolindo seco)) ((risos)) eu acho, né? Por isso que se separa (1,5s) tanto para:: (++) pra nossas:: ((risos)) ai professor. É porque eu não sei falar o nome, não lembro o nome.

Este aspecto é reforçado pelo fato de nenhum dos alunos ter representado a região genital, o anus, ou a defecação por escrito ou de forma pictórica, exceto por Carlos que o fez durante a entrevista. Isto reforça a necessidade de proceder com perguntas sobre o desenho.

Anteriores ao estômago, no todo ou em parte

Identificamos como "intestino" (de modo geral, e devido ao formato e menção à palavra "tripa", comumente associada aos intestinos) duas projeções que se conectam na entrada do estômago no desenho de Alexandra (Figura 12). À elas é atribuída passagem de alimentos antes da chegada ao estômago:

Alexandra: eu não sei mais ou menos como é que ficam as tripa aqui ((apontando para as projeções no desenho)), mas ela vai (+) a comida vai passar por elas primeiro, né? Depois vai pro estômago.

A indicação de incerteza quanto à posição das [*sic*] "tripa", não nos impede de classificar sua representação como um modelo mental. Johnson-Laird (1983) não deixa dúvidas quanto à possibilidade de formar modelos mentais para mundos distintos da realidade. A afirmação da aluna implica, apenas, que ela não está segura quanto ao posicionamento das estruturas no mundo real, o que não invalida a aplicabilidade do modelo no mundo concebido.

Menos evidente é a relação dos produtos finais da digestão e seu caminho até o anus.

Nota-se uma dúvida quanto a isso na fala da aluna:

Alexandra: depois que ela for digerida, né? Aí:: aí eu não sei pra onde ela vai não. Depois é claro que sai, né? Mas antes de sair ela vai pra outro lugar? Não sei.

Pesquisador: então como é que você imagina que seja?

Alexandra: eu acredito que ela vai pra um outro lugar, só não sei o nome, e ela (incompreensível) dagente (+) ((sacudindo as mãos)) fazer a:: necessidade mesmo, né? (++) mas eu acredito que ela não::, do estômago não vai direto pra fora não. No caso do estômago ela vai pra um outro lugar (+), né? Só não sei onde é esse lugar.

A inespecificidade do trajeto estômago-anus, não desenhado, denota uma representação proposicional. Identificamos este local inespecífico também como "intestino", neste caso, devido à sua relação de ligação do estômago ao anus.

É importante destacar aqui a correlação entre estrutura e função. Como a aluna posicionou o estômago após os intestinos no desenho, embora ela acredite que este não seja o destino final, não encontra solução concreta para o impasse estabelecido: ter representado o estômago como a porção final do trato digestório e ao mesmo tempo acreditar que ele não armazena as fezes.

Encontramos em Carlos ocorrência semelhante. Ele possui uma representação proposicional que localiza anteriormente ao estômago o que consideramos ser o intestino, embora sua imagem mental não comporte uma conexão direta com ele (vide tópico 4.2.1).

Não é de se estranhar, portanto, que seu desenho inicial careça de um canal que conecte o estômago ao anus. No decorrer da entrevista, ele elabora uma representação proposicional para atender à nova demanda, de dar uma resposta para o destino final do conteúdo sólido do estômago (não contemplada por sua imagem mental):

Carlos: /.../ depois:: desce também, mas não pela bexiga, né? Porque se fosse pela bexiga daí nós ia mijar (+) ((gaguejando)) sólido ((rindo)) (++) então vai pra cá pro (3s) ((desenha um traço do estômago até a coxa direita, terminando em um círculo pequeno, Figura 13G)) anus, né? No caso.

Pesquisador: (...) e como que ele saiu pra cá?

Carlos: aqui tem um:: no estômago deve ter um:: alguma abertura, né? Pra ele descer, ó? Tripa, né? No caso, aqui é tripa, né? ((apontando para o traço recém desenhado do estômago ao anus)) (+) Pra ele descer.

Percebemos, neste caso, um resultado distinto para o conflito entre representações mentais do que aquele verificado para o esôfago (vide tópico 4.2.1). A representação proposicional interage com a imagem mental que ele possuía da porção final do trato digestório e o resultado da interação é um modelo mental com capacidade preditiva (embora inconsistente com o modelo científico) que conecta o estômago ao anus por um canal que também identificamos como "intestino".

Posteriores ao estômago

Consideramos a área enovelada do desenho de Raissa (Figura 15) como correspondente aos intestinos, notadamente o delgado, dado seu formato afilado e retorcido.

Funções que poderiam ser atribuídas aos intestinos foram identificadas pela aluna como referentes exclusivamente ao estômago, como digestão e armazenamento de alimentos (vide tópico 4.2.2). A aluna se refere à região como uma continuação do tubo que se origina na boca, sem sinalizar qualquer modificação estrutural ou funcional, servindo este apenas como um ducto. As afirmações e os desenhos são consistentes com um modelo mental no qual a única função desta é o transporte das fezes ao anus.

Ricardo utiliza representações proposicionais para endereçar a questão. Em seu desenho, as "tripas", que consideramos novamente ser uma referência aos intestinos, não possuem uma ligação clara com o estômago. Ora são mencionadas como recebendo as fezes, ora são excluídas dessa etapa (vide tópico 4.2.2). Não são feitas menções à função digestória ou de absorção.

Simone faz menção ao termo intestino grosso e o identifica como trajeto dos restos da digestão de alimentos sólidos, realizada no estômago e na "bile":

Simone: é os restos:: dos alimentos, né? Que num é mais:: mais utilizado pra:: pros alimentos que não tem mais utilidade pro corpo:: o caminho pra uretra.

O termo uretra parece não ter relação com as vias urinárias. Os rins, por sua vez, parecem estar diretamente conectados:

Simone: seria por onde? /.../ vem pro intestino:: aí depois passa pro rins. Por algum canal, mais ou menos:: aí depois que ela é filtrada, vai pra bexiga::

Pesquisador: entendi. Você não sabe:: dizer como que ela vai/

Simone: é, como que:: que:: qual a via aqui (+) mas assim, se ela vai por outro lugar direto pros rins, ou se passa pelo:: pelo intestino ((risos)).

Concluimos que a aluna trabalha com um modelo mental para a posição e trajetória dos alimentos sólidos no intestino (ou dejetos, no entendimento da aluna). Para a função de absorção de líquidos, ela utiliza uma representação proposicional que implica a passagem dos líquidos pelos rins.

Assim como Simone, Sofia menciona o termo intestino grosso, porém sua representação é menos precisa que a de Simone e indica a predominância de representações proposicionais. A aluna identifica inicialmente dois trajetos relacionados ao intestino grosso à partir de uma bifurcação, sendo um para alimentos sólidos e outro para alimentos líquidos (Figura 18), mas essa relação não é clara:

Sofia: aqui ((desenhando arco abaixo do círculo na porção inferior do abdome, Figura 18G))) é onde para a comida, e o líquido eu acho que para mais embaixo ((desenhando reta ligada ao arco recém desenhado)) ma::, mais um poquinho mais embaixo (+) só que eu acho que:: não sei se é depois do outro lado:: (++) ou se é só desse lado:: /.../

Posição inespecífica ou inexistente

Fernando localiza o intestino em seu desenho (Figura 14) na região inferior abdominal e pelve, mas em suas respostas não relaciona de forma consistente sua correlação com o estômago:

Fernando: a comida:: eu acho que ela deve vim pra o:: o:: (+) não sei, o intestino, alguma coisa assim ((risos)) aqui tem que:: digerir ela, né? (+) daí eu num sei mais ((risos)).

Nos momentos seguintes essa ordem é modificada (vide tópico 4.2.2), o que nos leva à conclusão de que o aluno opera com representações proposicionais para endereçar sua posição e função.

No caso de Tereza, não há menção específica a qualquer estrutura que possa ser correlacionada aos intestinos. Encontramos, apenas, uma noção vaga de que a comida sai do estômago para fora do corpo, porém sem menção de estrutura para esse fim:

Tereza: eu acho que a comida vem praí depois ela errigesse, sei lá como é o nome, como é que se fala, aí depois:: sai.

4.2.4 Fígado, pâncreas e vesícula biliar

Observamos apenas duas ocorrências de correlação com o sistema digestório para o fígado (Carlos e Sofia) e uma relacionada à vesícula biliar (Simone). Os demais não relacionaram esses órgãos a qualquer processo relacionado à digestão, sendo o pâncreas desconhecido por todos.

Dentre os que fizeram correlação com fígado ou vesícula, apenas Carlos esboçou uma aproximação de sua função esperada, mas voltou atrás em suas colocações, o que nos permite concluir que nenhum deles possuía um modelo mental consistente com o modelo científico para esses órgãos.

Agrupamos as representações para os três órgãos de forma conjunta (o que justifica a ocorrência de pessoas em mais de um grupo), sendo: (a) *relacionadas ao trato digestório* - Carlos, Simone e Sofia; (b) *não relacionadas ao trato digestório* - Alexandra, Carlos, Fernando, Raissa e Tereza; e (c) *inexistentes para os três órgãos* - Ricardo.

Relacionadas ao trato digestório

No caso de Carlos, temos um primeiro momento no qual ele tenta encontrar uma resposta para a função do fígado em sua experiência prévia no abate de animais - relatada posteriormente durante a pesquisa:

Carlos: o fígado? (3,5s) Geralmente (1,5s) em animais:: (+) essa enzima que tem, que cai no, no alimento, né? É do fígado, né? Fica no fígado,

né? /.../ esse, esse negocinho aqui, que (+), que dissolve o alimento (+) ela cai do fígado, né? (+) Geralmente?

Embora não possamos precisar como foi feita esta "consulta" à memória, avaliamos que as imagens mentais do momento do abate ou da retirada dos órgãos internos no corte tenha servido de suporte às assertivas:

Carlos: em animais aí, é:: porco essas coisa assim tem, tem uma:: deixa eu ver se eu tamém num to falando (++) é do fígado mesmo, né? Tem uma:: um felzinho que amarga pra caramba (+) eu acho que ele que cai no alimento. Pra dissolver o alimento (+) no estômago.

Pesquisador: e ele cai do fígado no estômago?

Carlos: fica difícil, né? Fica meio difícil, mas num é não. Não ((risos)). Mas num é não, sabe porque? Porque o fígado tá fora dessa parte aqui ó ((apontando para a região do estômago no desenho)) (++) com certeza (2s) Pra que que serve esse fígado mesmo?

Há a possibilidade de que a pergunta feita pelo pesquisador tenha precipitado uma reavaliação da resposta, o que ressalta o papel do mediador no ensino e pesquisa. A separação anatômica do fígado e do trato digestório, conectados apenas pelo ducto biliar, de dimensões reduzidas, pode também ter contribuído nesse sentido.

Fígado e vesícula biliar foram relatados como parte do trato digestório apenas por Sofia e Simone, respectivamente. O alimento passaria por dentro desses órgãos, o que evidencia uma aprendizagem mecânica dos termos que os designam e/ou de seu tamanho e posição.

Para Simone, contudo, temos um modelo mental, esquema funcional e preditivo, ainda que não relacionado ao modelo científico. Sofia, por sua vez, tem uma representação proposicional, inespecífica, do fígado e sua posição (vide item 4.2.2).

Não relacionadas ao trato digestório

Em todos os casos verificados para funções diversas das associadas ao trato digestório, encontramos apenas representações proposicionais, com pouca ou nenhuma correlação funcional.

Em Fernando e Raissa, encontramos funções referentes ao sistema circulatório para o fígado, sendo que ambos mencionam um funcionamento em conjunto com os rins. A seguir apresentamos trechos da entrevista de Fernando:

Fernando: o fígado:: já ouvi falar mas não lembro agora (2s) pra o sangue é:: (3s) circulação do sangue? /.../ eu fico em dúvida porque::, vamo supor (+) você perde um fígado, mas o sangue vai pra:: a circulação vai continuar (++) aí isso tem alguma coisa a ver com o coração, não sei.

Pesquisador: você acha que o fígado ele taria ajudando/

Fernando: eu, eu acho que o fígado, e o rins e o coração, eu acho que é todos eles são:: deve que fazem parte de alguma coisa, né? São interligado os três eu acho (+) funciona assim, os três.

As afirmativas de Raissa são semelhantes em conteúdo:

Raissa: /.../ pra mim é como se fosse o coração (++) pra mim.

Pesquisador: e o coração faz o que?

Raissa: o coração bombia o sangue (++) /.../ o fígado e o rins pra mim é como se fosse o coração.

Quando questionada sobre uma possível relação entre fígado e digestão dos alimentos, Raissa reafirma seu ponto de vista:

Raissa: no caso da comida eu acho que ele não faz nada /.../ eu acho que ele serve mesmo é só pra ajudar no:: no nosso sanguíneo, né? No nosso sangue.

Tereza também associa o fígado ao coração, mas apenas em termos de localização:

Tereza: o fígado num fica perto do coração? /.../ pode ser do lado do coração ((apontando para o lado esquerdo da representação do coração, figura 19)).

Uma referência ao coração, ainda que de forma indireta, foi recorrente na maior parte das representações. Alexandra, Carlos, Ricardo e Tereza chegaram a incluí-lo em seus desenhos, ainda que não imaginem uma conexão direta com o sistema digestório.

Consideramos a possibilidade de isto estar associado à grande exposição do órgão nos artefatos culturais²⁶ e imaginário popular. A aprendizagem exclusivamente mecânica dos termos fígado e rins provavelmente os tornou suscetíveis à interferência pró e retroativa, nos termos de Ausubel (2000), das funções associadas ao sistema circulatório.

Para a vesícula biliar encontramos apenas duas referências. A primeira delas foi feita por Alexandra, que a associou à bexiga:

Alexandra: vesícula:: ela faz alguma parte aqui da, da bexiga (++) eu num sei o que é, mas faz parte da bexiga eu acho (+) num sei não.

Carlos, por sua vez, não faz qualquer associação funcional, sugerindo que sua resposta tenha sido uma tentativa de corresponder às expectativas do pesquisador:

Carlos: já ouvi falar /.../ vesícula é tipo uma coisa assim ó? ((desenhando no papel o formato da vesícula, Figura 13J)) /.../

Pesquisador: porque você imaginou que ela seja assim?

Carlos: porque já tá tudo cheio aqui ((apontando no próprio corpo para o abdome)) se for, a vesícula tem que ser desse tipo aqui, mais ou menos, né? ((risos))

É interessante observar que o desenho, ao menos bidimensionalmente, se assemelha à estrutura real, embora a assertiva que se siga aponta para uma construção baseada meramente na hipótese de que na ausência de espaço, ela teria que ser achatada. Este fato reforça a necessidade de se aliar entrevista à análise de desenhos.

Inexistentes para os três órgãos

Ricardo não elabora qualquer representação que possa ser associada a algum dos três órgãos mencionados, afirmando desconhecer suas posições, tamanhos e funções, embora afirme já ter "ouvido falar" nos termos:

Ricardo: já ouvi falar mas eu num:: eu já estudei já, já muito sobre isso já, mas assim:: quando eu tava na sétima série. A cabeça esquece::

²⁶ Siqueira (2007) discorre sobre as relações entre as representações simbólicas do coração da antiguidade aos dias atuais e sua presença na linguagem (termos como recordar, coragem, concordar, dentre outros), bem como suas associação a valores morais, religião, tomada de ações e doenças.

4.2.5 Glândulas salivares

Quanto à localização das glândulas salivares e funções da saliva, as representações foram divididas, comparando-se ao modelo científico, em: (a) *consistentes anatômica e fisiologicamente* - Alexandra, Fernando, Raissa, Ricardo, Simone, Sofia e Tereza; e (b) *inconsistentes anatômica e fisiologicamente* - Alexandra, Carlos, Fernando, Simone e Ricardo. Destacamos que alguns alunos possuíam mais de uma representação para este assunto, o que justifica a presença deles em mais de um grupo.

Consistentes anatômica e fisiologicamente

Raissa e Sofia elaboraram representações proposicionais que sugerem alguns pontos relacionados às glândulas salivares menores (superfície da língua e mucosa da boca). Nenhuma delas indicou diretamente os locais das glândulas parótidas e submandibulares, havendo uma única menção indireta à região das parótidas, feita por Raissa. A mesma aluna indica de forma inespecífica a região das sublinguais. Alexandra e Carlos indicaram, como local de *produção*, regiões associadas ao *destino final* dos produtos das submandibulares e parótidas, o que nos levou a agrupar suas representações no grupo "b".

Para as funções associadas à saliva, encontramos referências diretas à: lubrificação do alimento (Alexandra, Ricardo e Simone); e umectação da boca/garganta (Fernando, Simone e Tereza). Consideramos como modelos mentais todas as representações associadas a essas funções, que requeriam dos alunos apenas conhecimentos práticos da dinâmica de interação de líquidos com superfícies e materiais (alimentos). Não foram feitas referências à digestão.

Raissa associa diretamente o interior da boca (primeiro momento) como principal local de produção de saliva, e indiretamente a região na qual a glândula parótida esquerda está localizada:

Raissa: acho que só no interior da boca /.../ no interior todo, porque:: pra mim:: a saliva vem:: porque você sen:: ((colocando a mão na parte posterior da bochecha, seguindo até o meio dela)) (+) toda hora engole saliva, né?

A frase interrompida "porque você sen" foi interpretada como "porque você sente" e associada ao gesto de colocar a mão na parte posterior da bochecha, indicando que aquela região era entendida como tendo alguma relação com a produção de saliva, embora por algum motivo a aluna tenha decidido não expressar sua opinião nesse sentido.

Em um segundo momento a aluna identifica a língua e especialmente a parte inferior da mesma (associada à sublingual) como locais de produção de saliva:

Raissa: na língua. Eu acho, né?

Pesquisador: onde seria? Você pode mostrar pra mim?

Raissa: abaixo, debaixo? /.../ interior da língua, abaixo ((apontando para a superfície da língua, ao redor dela e abaixo)).

Assim como Raissa, Sofia associa a língua ao local de produção de saliva:

Sofia: eu acho que:: na língua, né? /.../ nela toda ((passando os dedos em frente à superfície da língua)).

Quanto às funções da saliva, Alexandra, Ricardo e Simone destacam a de lubrificação do alimento:

Alexandra: no caso é:: pra pelo meno a comida, né? A gente vai mastigar, com certeza a saliva vai misturar na comida, né? Pra que a gente consiga engolir (+) /.../ Porque senão a comida fica seca.

Ricardo: /.../ pra gente:: comer alguma coisa assim, né? (+) coisa seca, sei lá, né?

Simone: saliva? (3.5s) é pra:: ajudar:: a manter:: a hidratação, da garganta? /.../ não ressecar:: e ajuda (+) a gente a engolir.

Simone faz referência à umectação, igualmente presente nas falas de Fernando e Tereza:

Fernando: /.../ é pra garganta não ficar seca:: pra não ficar ressecada a boca inteira, o céu da boca.

Tereza: pra mim:: porque serve, se a gente não tiver aquela saliva fica seco, num:: é isso, professor.

Inconsistentes anatômica e fisiologicamente

Foram relatados para a produção de saliva os seguintes locais: frênulo da língua - Alexandra; laterais das bochechas (ponto específico) - Carlos; garganta - Fernando e Simone; e estômago - Ricardo. Consideramos as duas primeiras como modelos mentais, devido a seu caráter preditivo e funcional, e as demais como representações proposicionais, devido à sua inespecificidade.

Para as funções associadas à saliva, foram descritos: paladar - Carlos, Sofia e Raissa; e a fala - Ricardo. Este último também associou à saliva a função de lubrificação do alimento (citada acima).

A seguir apresentamos as respostas de Alexandra e Carlos para os locais de produção da saliva:

Alexandra: aqui assim, ó ((apontando para o frênulo da língua)) (1,5s) eu não sei como que chama isso aqui, mas eu acho que é, porque eu já fiz assim, tipo é:: se você tiver com a boca seca aí dependo, se você levantar a língua ela:: ((movimento rápido com os dedos de ambas as mãos, simbolizando ação de esguicho))

Carlos: aqui ó ((apontando para a região indicada no Apêndice B2a)) na mucosa da boca, no final aqui. Tudo que você faz você sente ela aqui, né?

Embora não estejam necessariamente corretas para os locais de *produção*, os locais de *saída* das secreções das submandibulares (para a resposta de Alexandra) e das parótidas (para a resposta de Carlos) são consistentes com o modelo científico. A motivação para as respostas indica uma visão funcional baseada na experiência para explicar o fato.

As representações proposicionais de Fernando apontam para a produção na região da garganta:

Fernando: eu acho que é mais ou menos por aqui assim, né não? ((apontando para o pescoço, na desenho, Figura 14)) /.../

Pesquisador: e como ela chega na boca?

Fernando: acho que deve ser através da:: da respiração, da fala, alguma coisa assim, né? (++) deve ser ((risos))

Simone oscila entre a boca e a garganta em suas respostas, mas é mais assertiva quanto à última:

Simone: eu acho que ela é produzida na boca mesmo ((passando a mão rapidamente pela parte inferior da bochecha esquerda e queixo)), nessa região mesmo:: é que eu não sei o nome.

Pesquisador: mas onde assim na boca:: se fosse pra você mostrar, onde você diria?

Simone: na garganta ((colocando a mão na porção superior do pescoço, Apêndice B6)) (++) é, bem na garganta mesmo ((mantendo a mão na posição anterior)).

Ricardo, por sua vez, relaciona o estômago, mas não de forma funcional:

Pesquisador: apontando assim em você, de onde você acha que ela vem?

Ricardo: da onde que vem:: do estômago.

Pesquisador: e como que ela vem?

Ricardo: /.../ não sei, não faço a mínima idéia.

A associação ao paladar, observada em Carlos, Raissa e Sofia, é evidenciada nos seguintes trechos das falas dos alunos:

Carlos: saliva é pra você sentir o gosto, né? Sabor, né? (+) sabor::

Raissa: /.../ distinguir, né? O que você come (+) ou seja, o paladar, né? Serve pra você distinguir:: se é doce, se é salgado, se é [amargo]/

Sofia: tipo assim:: pra quando a gente colocar alguma coisa na boca saber se é doce, se é amarga, essas coisa.

Em que pese uma possível confusão entre os termos "saliva" e "papilas gustativas", destacamos que foram feitas verificações em todos os casos para a compreensão do mesmo. Como exemplo disso citamos trecho da entrevista de Raissa:

Pesquisador: e o que seria a saliva?

Raissa: pra mim, saliva pra mim é o cuspe.

Ricardo associa, além da função de lubrificação de alimentos, já citada, auxílio à fala:

Ricardo: acho que assim:: pra gente falar, né? conversar /.../

5 REPRESENTAÇÕES MENTAIS DOS ALUNOS SOBRE O SISTEMA DIGESTÓRIO APÓS AS ATIVIDADES EM SALA

As representações mentais dos alunos após a utilização dos modelos tridimensionais foram analisadas com base nos desenhos produzidos por eles e na relação entre estes e os dois momentos das entrevistas subsequentes.

5.1 APRESENTAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS DESENHOS FINAIS

A seguir, apresentamos de modo geral as representações pictóricas de: Alexandra, Carlos, Fernando, Raissa, Ricardo, Simone e Sofia, do 2ºH, e Tereza, do 2ºG. Discorremos, neste primeiro momento, apenas sobre os aspectos gráficos e textuais explicitados pelos alunos nos desenhos. A análise dos desenhos juntamente com as entrevistas que se seguiram é feita em tópico posterior.

5.1.1 Alexandra, 2º H - Desenho 2

O caminho representado (Figura 20) se estende da boca ao final do que a aluna chama de "grosso" (provável referência ao intestino grosso), que se conecta à "bexiga". As indicações de esôfago e estômago ocorrem em posições relativamente compatíveis com o corpo humano, embora a conexão entre este último e a porção seguinte do trato digestório esteja próxima ao esôfago. A ordem entre "delgado" e "grosso" é condizente à encontrada anatomicamente para o intestino delgado e o intestino grosso. O "delgado", contudo, é representado como sendo constituído de duas partes ou tubos. O "grosso", por sua vez, se encontra rotacionado em cerca de 45° com relação à posição anatômica.

Em todas as etapas há indicação da presença de "comida" e "bebida", exceto na bexiga onde encontramos a indicação de "água" (o líquido escolhido foi o suco). A numeração ordinal indica sequência entre os eventos, consistente com o esperado fisiologicamente.

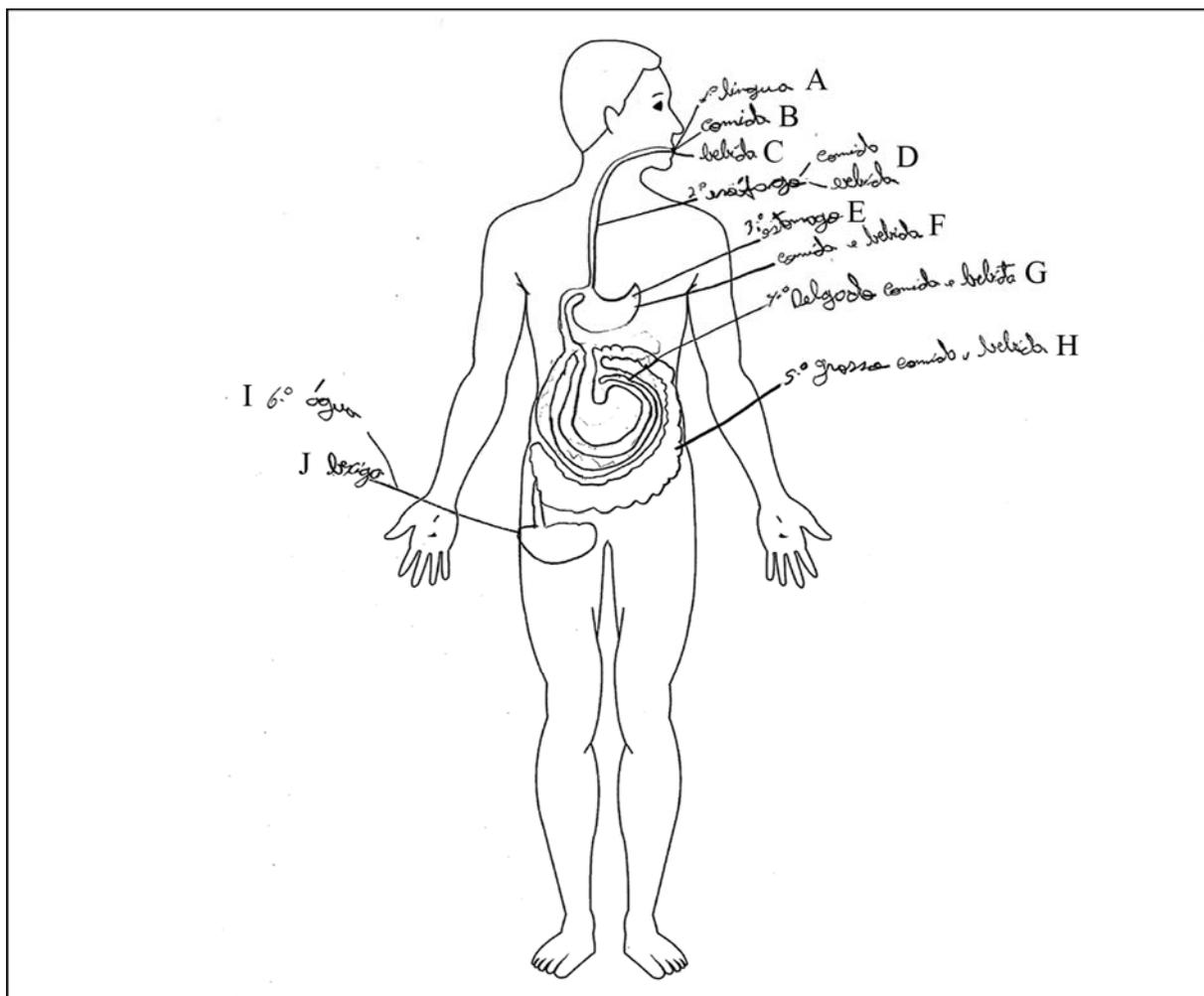


Figura 20. Desenho 2 - Alexandra. Representação pictórica posterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados por "letras de fôrma" maiúsculas (A, B, C, D, E, F, G, H, I e J) inseridas pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "lasanha" e "suco".

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "1º Língua"; (B) "Comida"; (C) "Bebida"; (D) "2º Esófago"; "Comida"; e "Bebida"; (E) "3º Estômago"; (F) "Comida e bebida"; (G) "4º Delgado comida e bebida"; (H) "5º Grosso comida e bebida"; (I) "6º Água"; e (J) "Bexiga".

5.1.2 Carlos, 2º H - Desenho 2

Observa-se (Figura 21) um caminho com início na boca, interrompido na altura do "coração". Em seguida é representado o "fígado", seguido do "estômago", que tem continuidade com uma estrutura que poderia ser correlacionada ao duodeno. A conexão desta última com um dos seguintes: "intestino delgado" e "intestino de gado grosso", é pouco clara. A posição destes é condizente com a posição anatômica dos intestinos delgado e grosso, no entanto, não é possível determinar o local da conexão entre eles, embora a sequência escrita dos acontecimentos indique sua presença.

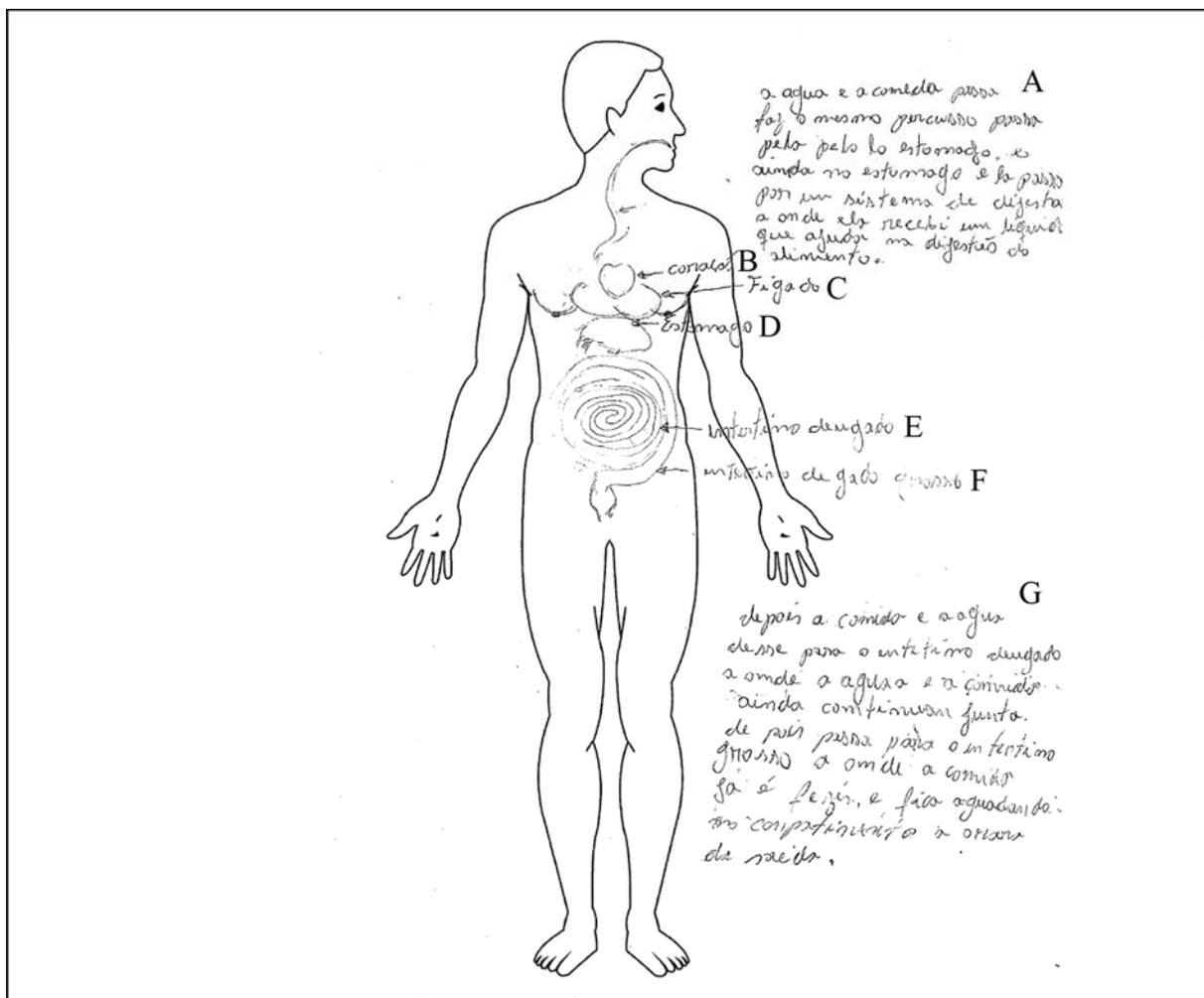


Figura 21. Desenho 2 - Carlos. Representação pictórica posterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados por "letras de fôrma" maiúsculas (A, B, C, D, E, F e G) inseridas pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "feijão" e "água".

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "A agua e a comida passa faz o mesmo percusso passa pelo pelo lo estomago, e ainda no estomago e la passa por um sistema de digestao a onde ela recebi um liquido que ajuda na digestão do alimento"; (B) "Coração"; (C) "Fígado"; (D) "Estomago"; (E) "Intertino deugado"; (F) "Intertino de gado grosso"; e (G) "Depois a comida e a agua desse pasa o intetino deugado a onde a agua a e a comida ainda continuan junto. de pois passa para o intertino grosso a onde a comida ja é fezís, e fica aguadando no compatimento a orara da (incompreensível)".

5.1.3 Fernando, 2^o H - Desenho 2

Observamos (Figura 22) um caminho pouco claro, constituído de traços sobrepostos partindo da boca e chegando a uma estrutura representada pela letra "G", que pressupomos se tratar do estômago. Há, também, uma linha que parte do nariz, passa pela região da testa e se soma às linhas sobrepostas anteriormente descritas. Também se soma a elas uma que chega à estrutura denominada "PT". "FG" possui correlação anatômica com o fígado, de cor escura, e pode ter sido utilizada para indicá-lo. Do que se supõe ser o estômago, parte um caminho composto por um emaranhado de traços que se encerra na altura do "IG", que acreditamos ser o intestino grosso. Este, por sua vez, parece estar conectado ao "ID" (supostamente intestino delgado) por uma linha que se confunde com a própria estrutura (canto inferior esquerdo). Os elementos representados por "R" (rins, provavelmente), não estão conectados aos demais.

Na altura das coxas/joelhos observamos traços regulares sem correlação anatômica clara que, durante as entrevistas, foram identificados como representativos do "movimento das coxas durante uma corrida ", provavelmente uma referência aos músculos que ficam ressaltados neste ato.

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "FG"; (B) "PT"; (C) "G" - nota-se, no local designado pela letra "G", no original, a inscrição apagada "MAGO", cujo início está sobreposto pelo elemento indicado por "FG"; (D) "R" - nota-se, no local designado pela letra "R", no original, a inscrição apagada "RINS"; (E) "R" - nota-se, no local designado pela letra "R", no original, a inscrição apagada "RINS"; (F) "IG" - nota-se, no local designado pelas letras "IG", no original, a inscrição apagada

"Inte(...) grosso"; (G) "ID" - nota-se, no local designado pelas letras "ID", no original, a inscrição apagada "Intet(...) delg".

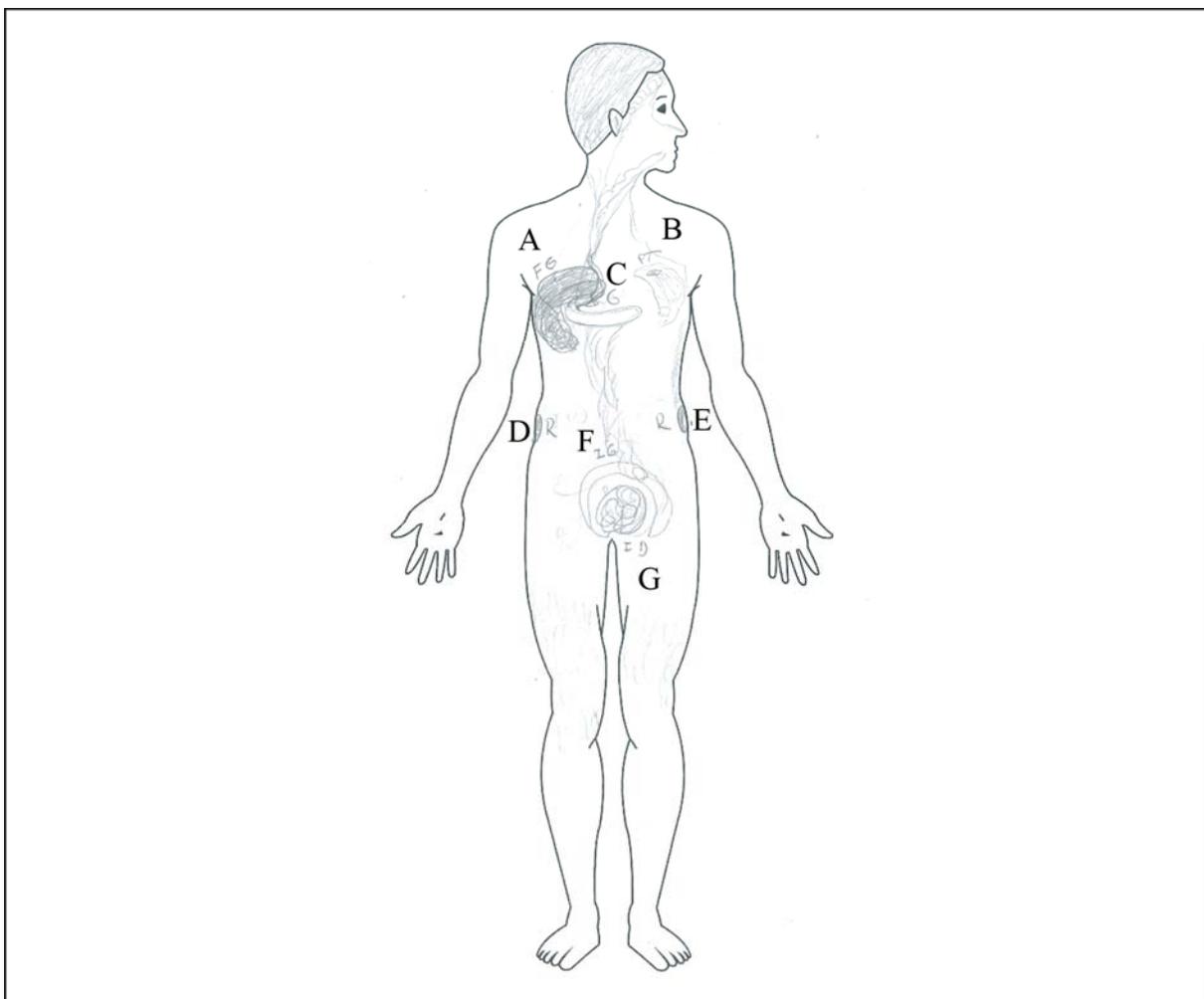


Figura 22. Desenho 2 - Fernando. Representação pictórica posterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados por "letras de fôrma" maiúsculas (A, B, C, D, E, F e G) inseridas pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "arroz" e "água".

5.1.4 Raissa, 2º H - Desenho 2

No desenho (Figura 23), encontra-se representado um caminho que começa na boca e estende-se até a estrutura representada como "intertino grosso". A conexão a este ou ao "intertino deogado" não é evidente. As posições relativas entre eles são condizentes com a

posição esperada anatomicamente para intestinos grosso e delgado, respectivamente, embora o primeiro possua, no desenho, uma porção inferior não observada no corpo humano.

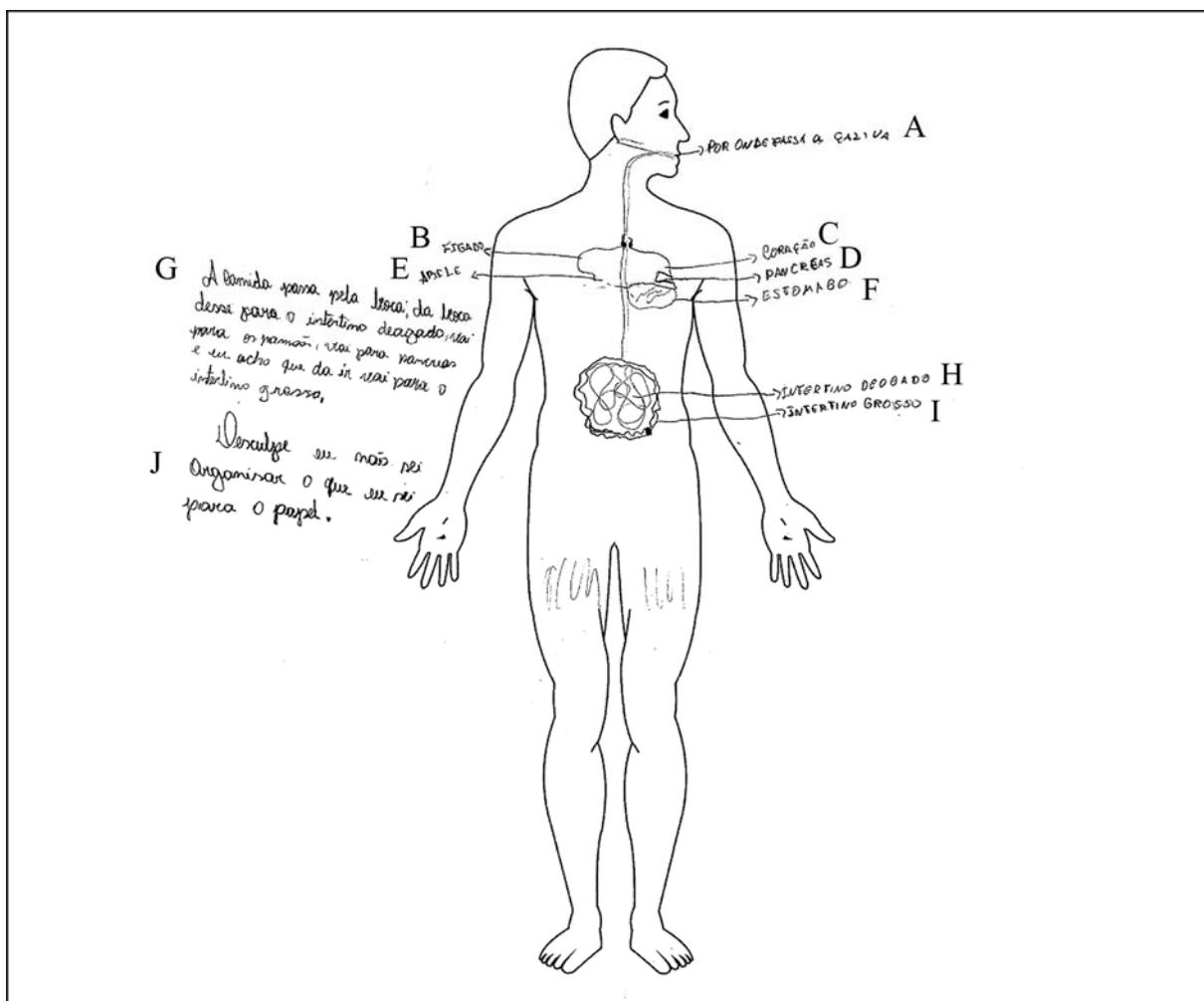


Figura 23. Desenho 2 - Raissa. Representação pictórica posterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados por "letras de fôrma" maiúsculas (A, B, C, D, E, F, G, H, I e J) inseridas pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "arroz" e "água".

Na altura do tórax, ao lado do caminho, percebemos, à direita do desenho, "coração", "pancreas" e "estomago"; e à esquerda, "figado" e "bile" (entendida como vesícula biliar). Acima do "figado" e "coração", ao lado do caminho, há duas pequenas estruturas não identificadas. Também não identificadas, são as linhas presentes nas coxas.

Partindo de um ponto abaixo da orelha e terminando na boca, tem-se o que é indicado como o local "por onde passa a çaliva", que entendemos como sendo o ducto parotídeo, confirmado pela aluna durante a entrevista.

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "Por onde passa a çaliva"; (B) "Figado"; (C) "Coração"; (D) "Abile"; (E) "Pancreas"; (F) "Estomago"; (G) "A comida passa pela boca, da boca desse para o intertino deogado, vai para o pomão, vai para pancreas e eu acho que da ir vai para o intertino grosso"; (H) "Intertino deogado"; (I) "Intertino grosso"; e (J) "Desculpe eu não sei organizar o que eu sei para o papel".

5.1.5 Ricardo, 2º H - Desenho 2

O aluno representou (Figura 24) um caminho partindo da boca e passando pelo estômago, dentro do qual podemos observar pequenas circunferências representando os grãos de arroz (comida escolhida pelo aluno). O caminho, na altura do abdome, se ramifica em três, sendo que o central leva a um elemento em espiral identificado como "intestino delg" (intestino delgado, supõe-se). Infere-se que as outras duas ramificações façam parte do que é identificado como "intestino grosso", e que se comunica, na parte inferior esquerda do desenho, diretamente com o intestino delgado (esperado anatomicamente). Ao final do intestino grosso vemos a inscrição "bexiga".

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "Arroz"; (B) "Agua"; (C) "Estomago"; (D) "Intestino grosso"; (E) "Intestino delg"; e (F) "Bexiga".

5.1.6 Simone, 2º H - Desenho 2

Temos no desenho (Figura 25), dois caminhos distintos chegando à boca, intersectados por uma estrutura indicada como "garganta". Um dos caminhos se bifurca chegando ao "pulmão" (ou pulmões, considerando-se ambos), o outro parece se encerrar atrás do primeiro, não ficando claro se possui alguma correlação com uma linha que se conecta à estrutura indicada como estômago (confirmado durante a entrevista). Do lado direito inferior do estômago (referencial do observador), há um elemento indicado como fígado, em posição oposta à esperada anatomicamente (lado direito no *corpo*, levemente superior ao estômago).

Abaixo do estômago, verificamos a presença de uma estrutura pequena e circular indicada como "bile". Após o fígado, vemos um caminho pouco evidente que, em sua porção inicial (mais irregular que a segunda, indicando possivelmente a existência de "pregas" mais acentuadas), temos o "intestino grosso". Conectado ao "intestino grosso", vemos uma linha senoidal indicada como intestino delgado que aparenta ser a porção final do caminho representado.

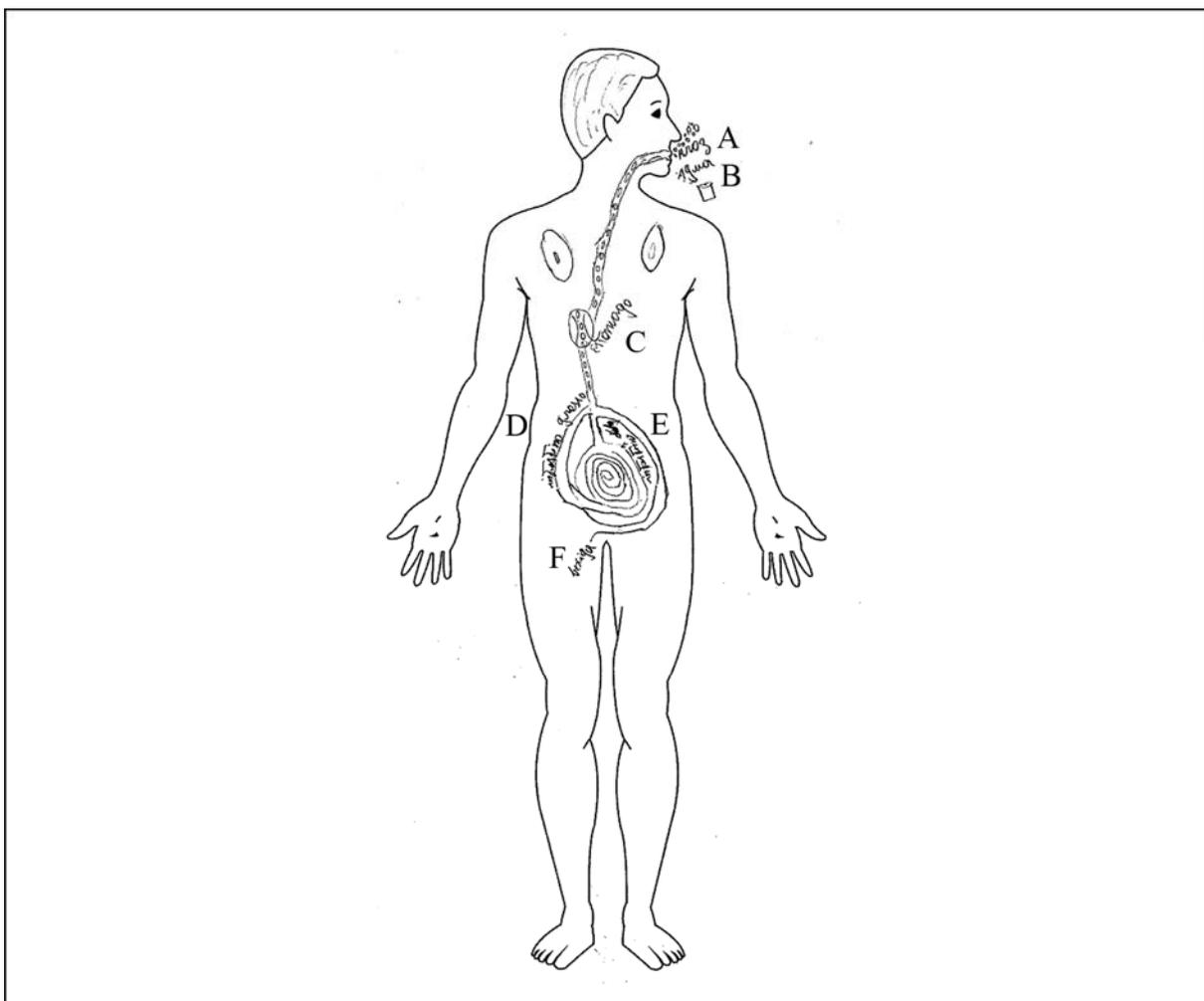


Figura 24. Desenho 2 - Ricardo. Representação pictórica posterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados por "letras de fôrma" maiúsculas (A, B, C, D, E e F) inseridas pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "arroz" e "água".

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "Garganta"; (B) "Água e comida"; (C) "Boca"; (D) "Garganta"; (E) "Pulmão"; (F) "Estômago"; (G) "Fígado"; (H) "Bile"; (I) "Entestino Grosso"; e (J) "Entestino Delgado".

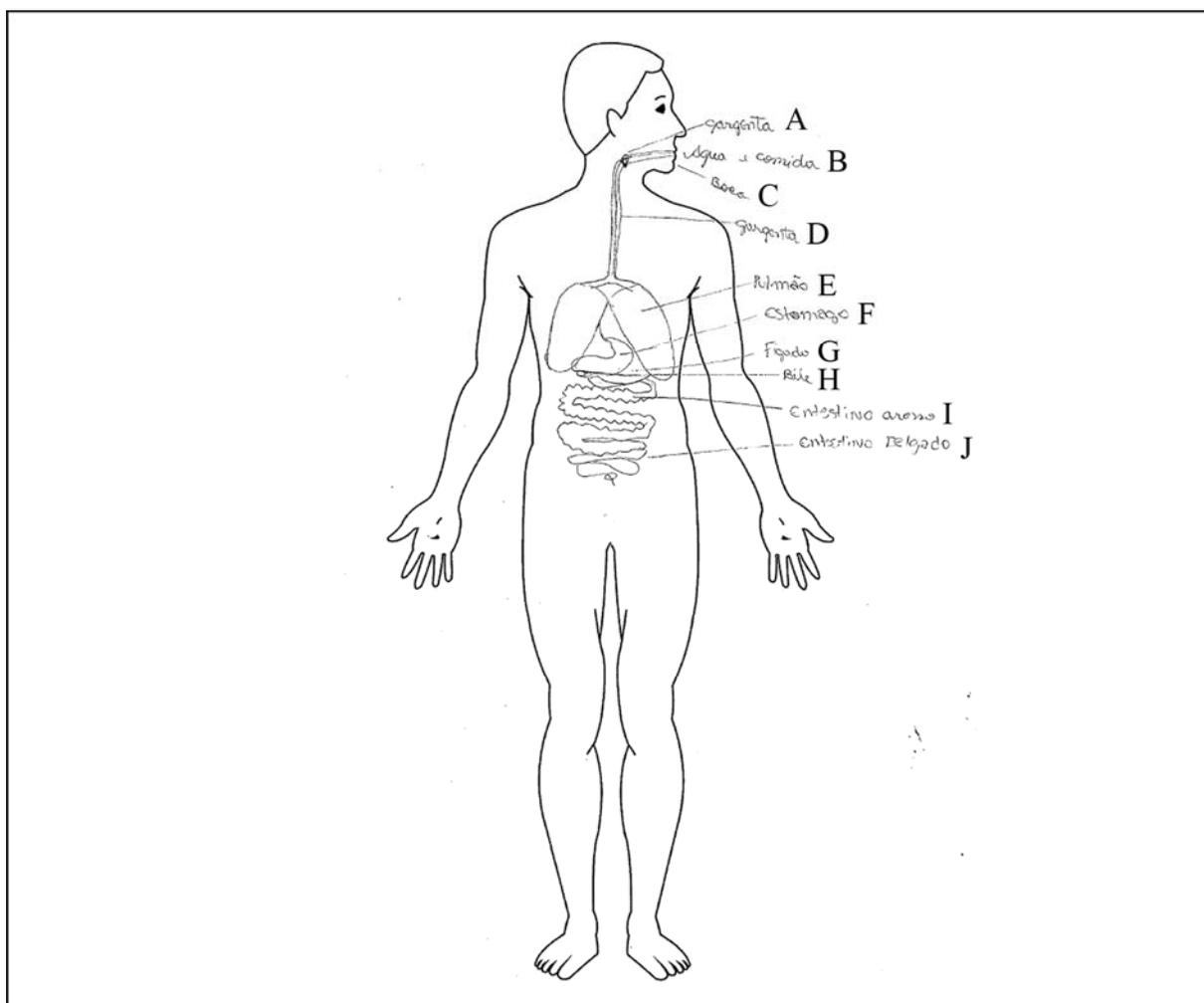


Figura 25. Desenho 2 - Simone. Representação pictórica, posterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados por "letras de fôrma" maiúsculas (A, B, C, D, E, F, G, H, I e J) inseridas pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "legumes" e "suco".

5.1.7 Sofia, 2º H - Desenho 2

Há uma linha, no desenho (Figura 26), que parte da boca e desce até a porção inferior do abdome, sendo intercalada por pontos dos quais partem setas apontando inscrições. Infere-se que o desenho constitua antes um esquema do que uma representação anatômica.

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "Passa pela boca"; (B) "Desce pela garganta"; (C) "Passa pelas veias"; (D) "Passa

pelo figado"; (E) "Depois vai no intestino dealgado"; (F) "Vai para o intestino grosso"; e (G) "Vai para o final onde desce tudo que é (?)".

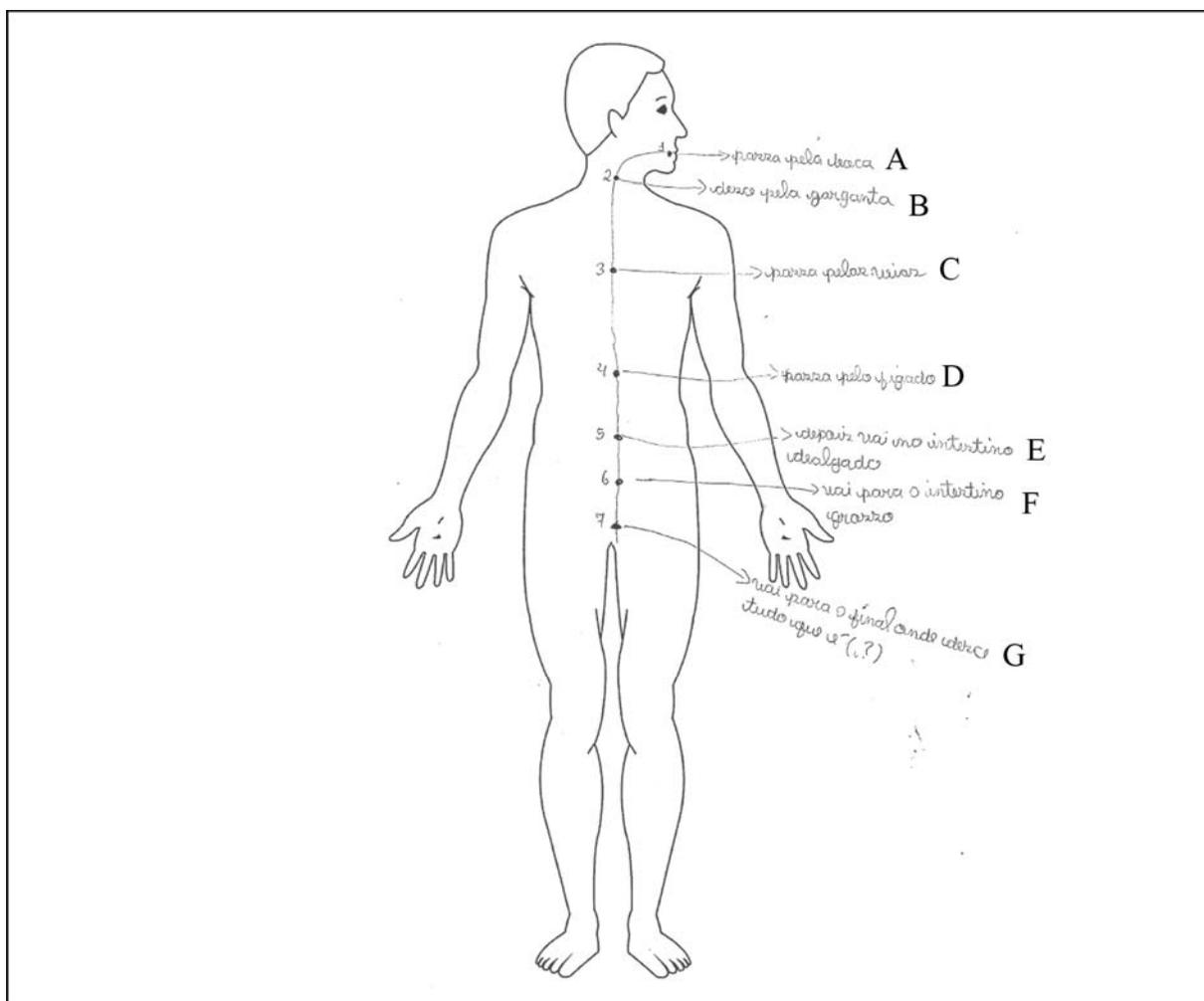


Figura 26. Desenho 2 - Sofia. Representação pictórica posterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados por "letras de fôrma" maiúsculas (A, B, C, D, E, F e G) inseridas pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "sanduiche" e "suco".

5.1.8 Tereza, 2º G - Desenho 2

Observamos (Figura 27) um caminho iniciado na boca, que se extingue em um elemento circular localizado no tórax. À partir desse elemento, o caminho segue até um região contendo

projeções pouco definidas. Nas pernas e nos braços observamos linhas curtas, que podem estar representando veias, artérias, e/ou pêlos.

Os elementos textuais da representação são transcritos a seguir, conforme aparecem na figura: (A) "Boca"; e (B) "Mão".

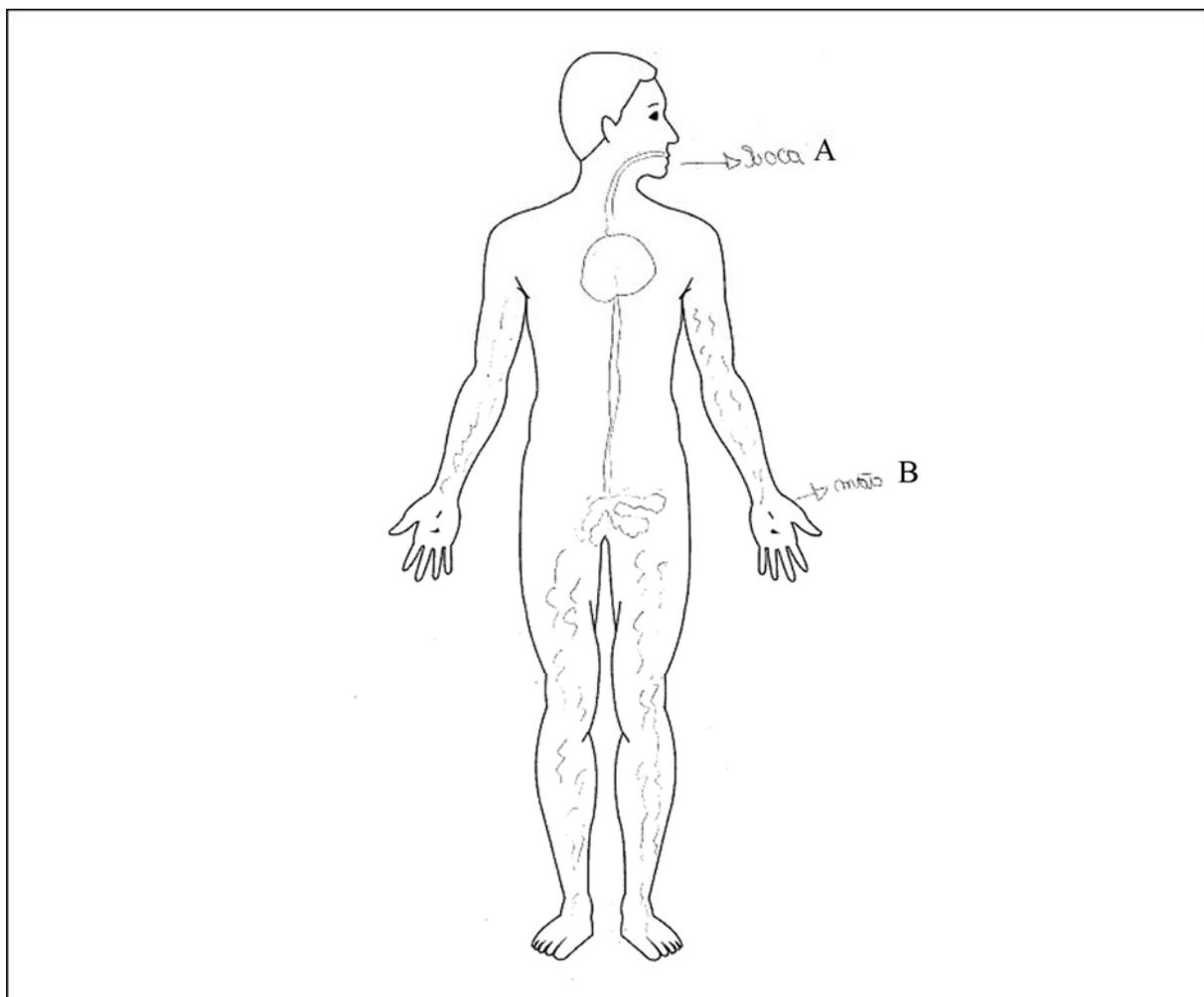


Figura 27. Desenho 2 - Tereza. Representação pictórica posterior às atividades em sala (tamanho reduzido à metade do original). Elementos textuais são indicados por "letras de fôrma" maiúsculas (A e B) inseridas pelo pesquisador. Os alimentos escolhidos para representação, apontados no cabeçalho da questão, eram: "cachorro quente" e "agua".

5.2 ANÁLISE DOS DESENHOS E ENTREVISTAS FINAIS

Analisamos os desenhos e respostas às entrevistas, identificando e qualificando as representações mentais dos alunos dentro da perspectiva de Johnson-Laird (1983) e agrupando-as em seguida de acordo com os seguintes órgãos: (a) *faringe, laringe e/ou esôfago*; (b) *estômago*; (c) *intestinos (delgado e grosso)*; (d) *fígado, pâncreas e/ou vesícula biliar*; e (e) *glândulas salivares*.

Os resultados (Quadros 3 e 4) foram comparados aos obtidos anteriormente, motivo pelo qual procuramos manter a mesma distribuição dos órgãos dentro dos grupos de classificação. Itens classificados como modelos mentais e que são consistentes com o modelo científico indicam *aprendizagem significativa*.

Observamos mudanças nas representações mentais dos alunos, quando comparadas àquelas que possuíam antes das atividades em sala. Isso foi verificado tanto no que diz respeito aos tipos²⁷, com maior ocorrência de modelos mentais, quanto à correlação com o modelo científico do trato digestório e seus órgãos anexos, como diferenciação dos intestinos e localização das glândulas salivares parótidas, sublinguais e submandibulares (menos comum para esta última).

Embora essas mudanças indiquem aprendizagem significativa de alguns aspectos, isto não ocorreu para a totalidade dos conceitos e processos relacionados ao sistema digestório, persistindo algumas representações inconsistentes, sobretudo quanto às funções do fígado, vesícula e pâncreas, e seus locais de secreção. A ligação entre estômago e intestino delgado e entre este e o intestino grosso também foram problemáticas.

Dentre os principais fatores não associados diretamente às características dos modelos, aos quais atribuímos essa persistência, estão: falta de um enfoque funcional para processos microscópicos ligados à digestão química e absorção, e estudo do sistema digestório dissociado dos sistemas circulatório, urinário e respiratório.

As evidências de aprendizagem mecânica ou significativa são discutidas nos subitens que se seguem, bem como no tópico referente à análise da interação dos alunos com os modelos tridimensionais (tópico 6), momento no qual discutiremos em detalhes as relações entre as características dos modelos e suas relações com as representações mentais dos alunos.

²⁷ Representações proposicionais, Imagens e Modelos Mentais, na perspectiva de Johnson-Laird (1983).

Quadro 3. Tipos de representações mentais finais utilizadas para explicar o sistema digestório (Alexandra, Carlos, Fernando e Raissa)

ÓRGÃOS	Alexandra	Carlos	Fernando	Raissa
Faringe e esôfago (trajetórias alimentos líquidos e sólidos)	MM (trajetória única*; ligação esôfago-estômago*)	MM (trajetória única*; ligação esôfago-estômago*)	MM (trajetória única*; ligação esôfago-estômago*) IM (modelo 3DR - pescoço‡)	MM (trajetória única*; ligação esôfago-estômago‡)
Faringe e laringe (trato digestório e vias respiratórias)	MM (vias distintas ar e alimentos*; epiglote funcional*)	IM (vias distintas ar e alimentos*; epiglote não funcional†)	RP (vias distintas ar e alimentos*)	RP (mesma via ar e alimentos até pulmões‡)
Estômago (posição no trato)	MM (posição*; função digestiva*; produção de suco gástrico*)	MM (posição*; função digestão mecânica* e química*)	MM (posição*; função digestão mecânica* e química*)	MM (posição†; como órgão anexo‡; função digestiva*)
Intestinos (delgado e grosso)	MM (delgado: posição*; formato dois tubos‡; armazenamento e transporte alimentos*) (grosso: posição†; formato*; armazenamento e transporte de fezes†)	MM (delgado: posição*; formato espiral‡; armazenamento e transporte alimentos*) (grosso: posição*; formato*; armazenamento e transporte de fezes†)	MM (delgado: posição*; formato enovelado†; duodeno separado‡; armazenamento e transporte de alimentos*; digestão mecânica*; absorção H ₂ O e nutrientes*) (grosso: posição*; formato*; armazenamento e transporte de fezes†)	MM (delgado: posição*; formato*; duodeno separado‡; armazenamento e transporte de alimentos*) (grosso: posição*; formato circular†; armazenamento e transporte de fezes†)
Fígado, vesícula e pâncreas	MM (fígado, vesícula e pâncreas: posição*; função*; local de secreção*)	MM (fígado: posição*) (vesícula: posição‡; função produção bile‡; local de secreção†) RP (fígado: produção bile*)	RP (fígado: função*; local de secreção - estômago‡) (Pâncreas: posição†; função produção líquido digestivo†)	IM (fígado: posição*) (vesícula: posição*; função armazenamento* gordura‡) (pâncreas: posição†)
Glândulas salivares	MM (parótida e sublingual: posição*; função*) (submandibular: posição‡; função*)	MM (parótida e sublingual: posição*; função*)	MM (parótida e sublingual: posição*; função*; mecanismo de produção associado à movimentação‡)	MM (parótida, sublingual e submandibular: posição*; função*)

MM - Modelo mental; IM - Imagem mental; RP - Representação proposicional; * - Consistente com o modelo científico; † - Parcialmente consistente com o modelo científico; ‡ - Inconsistente com o modelo científico; § - Não representado ou não se aplica.

Quadro 4. Tipos de representações mentais finais utilizadas para explicar o sistema digestório (Ricardo, Simone, Sofia e Tereza)

ÓRGÃOS	Ricardo	Simone	Sofia	Tereza
Faringe e esôfago (trajetórias alimentos líquidos e sólidos)	MM (trajetória única*; ligação esôfago-estômago*)	MM (trajetória única*; ligação esôfago-estômago*)	MM (trajetória única diferente‡; ligação esôfago-estômago*)	MM (trajetória única*; ligação esôfago-estômago*)
Faringe e laringe (trato digestório e vias respiratórias)	RP (mesma via ar oriundo da boca e nariz*; local de separação ar e alimentos indefinido‡)	MM (vias distintas ar e alimentos*; epiglote funcional*)	RP (vias distintas ar e alimentos*)	MM (mesma via ar e alimentos até estômago‡)
Estômago (posição no trato)	MM (posição*; função digestiva*)	MM (posição*; função digestiva*)	MM (posição*; função digestiva*)	MM (posição*; função digestiva*)
Intestinos (delgado e grosso)	IM (delgado: posição*; formato espiral‡) (grosso: posição*; formato†) RP (delgado: armazenamento e transporte*) (grosso: armazenamento e transporte de fezes†)	MM (delgado: posição†; formato‡; armazenamento e transporte de alimentos*) (grosso: posição†; formato‡; armazenamento e transporte de fezes†)	RP (delgado: posição†; formato§; armazenamento e transporte de alimentos†) (grosso: posição†; formato§; armazenamento e transporte de fezes†)	RP (delgado: posição†; formato‡; armazenamento*) (grosso: posição†; formato‡)
Fígado, vesícula e pâncreas	IM (fígado: posição*)	IM (fígado: posição†) (vesícula: posição abaixo estômago‡; função armazenamento* suco gástrico‡) (pâncreas: função passagem líquido‡)	RP (fígado: posição*; função de passagem de alimentos‡) IM (vesícula: posição*; tamanho*; função armazenamento* de H ₂ O‡)	§
Glândulas salivares	MM (parótida: posição*; função*) (submandibular: posição confundida com local de secreção‡)	MM (parótida e sublingual: posição*; função*)	MM (sublingual e submandibular: posição*; função*)	MM (sublingual: posição*; função*)

MM - Modelo mental; IM - Imagem mental; RP - Representação proposicional; * - Consistente com o modelo científico; † - Parcialmente consistente com o modelo científico; ‡ - Inconsistente com o modelo científico; § - Não representado ou não se aplica.

5.2.1 Faringe, laringe e esôfago

As representações dos alunos foram agrupadas da seguinte forma: (a) *trajetória de alimentos da boca ao estômago*; e (b) *relação com as vias respiratórias*. A divisão entre faringe, laringe e esôfago não é evidente na maioria das representações, embora seja indicada por alguns alunos. Em nossa análise, consideramos uma trajetória única para os alimento até o estômago como consistentes com o modelo científico.

Trajetoária de alimentos da boca ao estômago

Todos os alunos desenharam uma trajetória inicial única para alimentos sólidos e líquidos, o que não ocorrera de modo consistente na primeira etapa para Carlos, Fernando, Raissa e Ricardo. Identificamos apenas modelos mentais quanto a este aspecto, exceto por Fernando que parece trabalhar com duas representações: um modelo e uma imagem mental não diretamente relacionada ao primeiro, mas que não implica caminhos distintos. Nem todos os modelos mentais foram consistentes com o modelo científico quanto à rota descrita, indicando que em alguns casos a aprendizagem não foi significativa.

O desenho de Alexandra (Figura 20) mostra claramente a conexão entre boca e estômago, notoriamente diferente de sua representação anterior, na qual ela representara uma ligação com o que chamou de "tripa" (vide tópico 4.2.1). Isto é corroborado por suas afirmações, indicando que houve aprendizagem significativa:

Alexandra: aqui, a comida e a bebida, né? Vai passar pela língua, depois pelo esôfago:: ó aqui, a comida e a bebida:: por segundo, o terceiro pro estômago, a comida e a bebida /.../

Essa conexão no desenho de Carlos é menos óbvia, devido à posição do fígado entre a trajetória da boca ao estômago. Consideramos isto como uma dificuldade do aluno em representar tridimensionalmente em seu desenho, a passagem do esôfago por trás do fígado. Baseamos nossa análise tanto nas inscrições do desenho (Figura 21), quanto em suas explicações durante a entrevista:

Carlos: a comida e a bebida desce ((percorrendo com o dedo uma trajetória da boca ao estômago)), passa pelo estômago aqui, ó::

O desenho de Fernando aponta para uma conexão entre estômago e boca, mas esta conexão é confusa (Figura 22). A explicação fornecida, contudo, dá suporte a uma ligação direta:

Fernando: ((apontando para a região do pescoço, Figura 22)) aqui desce a comida e a bebida (+) quando chega aqui (+) aqui embaixo, aqui no estômago /.../

A dúvida quanto a uma possível conexão dupla entre estômago e boca é sanada no segundo momento da entrevista. Fernando se depara com o modelo 3DR e afirma ter imaginado que a conexão entre boca e estômago era uma só, mas que no modelo estão representadas como duas (apontando para as veias, vide tópico 6).

Em nossa avaliação, Fernando possui duas representações mentais: um modelo mental do esôfago como um tubo único até o estômago; e uma imagem mental do modelo 3DR, desconectada da primeira, e que utiliza acessoriamente em seu desenho. Durante as atividades em sala, Fernando não reconheceu o esôfago no Modelo 3DR, cheio de canais e conexões complexas sem significação para o aluno. Manteve, portanto, o seu modelo mental e ao mesmo tempo a imagem que não relacionou ao primeiro.

Há pluralidade de representações para uma mesma região, mas cada uma delas se refere a um aspecto distinto, indicando uma aprendizagem significativa para a conexão entre boca e estômago, e uma mecânica quanto a suas relações com o modelo 3DR.

Quando observa novamente as veias e artérias do modelo 3DR, Fernando analisa de forma recursiva seu modelo mental, passando a trabalhar com a possibilidade de mais de uma conexão, o que Ausubel (2000) descreve como interferência retroativa.

No desenho de Raissa percebemos a existência de um único caminho para sólidos e líquidos, e a persistência em representar uma conexão marginal com o estômago. As respostas da aluna são condizentes com uma mesma trajetória pra sólidos e líquidos até a altura do estômago:

Raissa: começa aqui::, aí vem aqui ((apontando para a boca e seguindo até a altura do estômago na Figura 23)), aí elas vão:: martiga::

Há uma alteração significativa neste ponto, quando comparado à representação de Raissa ao final da primeira entrevista (na qual ela expressa uma separação entre líquidos e sólidos). Concluimos que no que diz respeito à compreensão do esôfago como um canal único houve

aprendizagem significativa, embora o mesmo não tenha sido verdade para a conexão deste com o estômago.

Ricardo expressa uma conexão clara entre boca e estômago, incluindo em seu desenho, no estômago, o que ele identificou como o arroz (Figura 24). O aluno menciona também a passagem do líquido pelo estômago:

Ricardo: aqui tem água e um arroz (+) aí desce, passa no estômago /.../

Observa-se o abandono da dualidade entre a imagem e representação proposicional que o aluno possuía, e a formação de um modelo mental consistente com o modelo científico, indicando uma aprendizagem significativa.

No desenho de Simone a visualização da conexão entre esôfago e estômago é pouco evidente, embora haja uma linha ascendente partindo deste (Figura 25). Percebemos também dois canais, um ligando os pulmões à boca, e outro ao lado do primeiro, justificados pela aluna da seguinte forma:

Simone: é porque a comida passa por um e o ar por outro.

A aluna descreve o caminho percorrido por alimentos sólidos e líquidos pelo canal à direita no desenho. A presença de duas conexões até a boca à partir do que seria a epiglote (Figura 25A) é reelaborada pela aluna:

Simone: eu fiz dois, professor, mas eu acho que é só um aqui né? ((apontando para a região que vai da epiglote "garganta" no desenho, Figura 25A, até a boca)). Aqui que vira dois ((apontando para a região abaixo da epiglote)).

Concluímos que a aluna elabora um modelo mental funcional para o caminho percorrido pelos alimentos, consistente com o modelo científico, tendo aprendido significativamente esse conceito. As relações com os pulmões são discutidas mais adiante quando abordamos as vias respiratórias.

Para Sofia e Tereza verificamos modelos mentais de caminho único para água e comida:

Sofia: ele veio aqui na boca, a comida mais a bebida, aí desce pela:: pela garganta.

Tereza: aqui eu fiz o canal aqui da:: que desce a água, que no mermo lugar desce a água a comida.

No desenho de Sofia, esquemático, vemos uma menção ao termo "veias" que indica uma possível confusão resultante da representação relativamente chapada do esôfago no modelo 3DR (Figura 26D), aliada à utilização sem o coração quando em interface com o 3DV (discutidas em detalhes no tópico 6).

No segundo momento da entrevista (utilizando os modelos 3DR e 3DV) ela correlaciona diretamente a passagem dos alimentos pela veia jugular interna. Isto indica a ausência de aprendizagem significativa - apesar da existência de um modelo mental (no momento anterior havia predominância de representação proposicional) - uma vez que a trajetória que o alimento percorreria é diversa daquela encontrada nos modelos científicos.

Tereza é consistente em seu desenho e explicação, apontando para um caminho único entre boca e o estômago:

Tereza: aqui é o:: eu acho mais ou meno é o:: bofe, né? Que eu desenhei.

O termo "bofe" era frequentemente utilizado pelos alunos para se referir ao estômago durante as atividades.

Relação com as vias respiratórias

Apenas Alexandra, Carlos e Simone mencionaram a epiglote na separação entre alimentos e o ar, sendo que apenas a primeira e a última elaboraram um modelo mental para sua dinâmica de funcionamento. Ambas, contudo, localizaram o esôfago à frente da traquéia. Este fato não impediu que classificássemos as representações das alunas como significativas tendo em vista a consistência com o modelo científico quanto ao funcionamento da epiglote e o fato de não estarmos considerando o caminho percorrido pelo ar até os pulmões. Fernando não cita o termo epiglote mas faz menção à separação entre ar e alimentos no pescoço, ainda que apenas como uma representação proposicional.

A baixa frequência de aprendizagem significativa para este aspecto foi atribuída à: não representação desta etapa no modelo 3DR (Figura 4C) e à não representação do caminho percorrido pelo ar até os pulmões no modelo 3DV, discutidas em detalhe no tópico 6.

Alexandra não desenhou a epiglote (Figura 20), mas discorre sobre ela durante a entrevista:

Alexandra: quando a gente respira:: fecha aqueles negocin, né? ((colocando a mão na garganta, Apêndice C1)) não, isso é quando a gente come, né? que aí fecha e quando a gente tá engolino num respira, né? E pra respirar é separado bem aqui, né? ((apontando no desenho para o esôfago na altura do pescoço)) A comida desce assim e a respiração mais atrás um pouco.

Notamos a análise recursiva do modelo mental à medida que a explicação transcorre, com avaliações sucessivas da factibilidade dos processos descritos, o que demonstra seu poder preditivo.

O modelo mental de Simone aponta para um funcionamento semelhante:

Simone: esse aqui é aquele negócio na garganta (+) pra a comida:: num passar junto com ar, né? /.../ ele num deixa que a comida, né, passe por:: pela respiração.

Carlos, por sua vez, possui uma imagem mental da epiglote que inclui seu movimento, mas não elabora um modelo mental que inclua a passagem do ar:

Carlos: desce aqui junto com a água, né? Aqui tem aquelas outra paradinha que eu não sei desenhar ((apontando na altura do pescoço no desenho, Figura 21)).

Pesquisador: que paradinha?

Carlos: aquelas que o ar:: que a:: o ar sai, né? Tal. Desce aquele negocinho que tem aqui, que vira, que separa, né? ((representando movimento de giro para a epiglote, com as mãos).

Pesquisador: e como é que seria isso?

Carlos: seria subindo:: aí abriria aqui pro otro sair, né? Sei lá como que é /.../ aqui tem tipo um negocinho aqui, só que eu esqueci.

Fernando esboça esta separação, mas faz apenas uma representação proposicional do processo:

Fernando: o ar eu acho que ele não vai pro mesmo lugar da comida não, acho que ele fica embaixo do peito, algum lugar por aí.

Pesquisador: e onde ele separa da comida e da bebida?

Fernando: eu acho que ele se separa aqui na base do pescoço. Que eu já prestei atenção que quando você:: as vezes vai bebê uma água, as vezes erra de:: entendeu? erra de lugar, as veze vai pro nariz, entendeu?

Avaliamos que não houve aprendizagem significativa neste caso devido à menção vaga dos processos, que admitiriam mais de uma possibilidade de trajetos e conexões. A explicação parece se referir antes à faringe que à região da epiglote, o que é reforçado pelos achados na entrevista inicial, na qual o aluno afirma que o ar quando inalado pela boca passa pelo nariz sem chegar ao "peito".

Raissa indica uma separação mais próxima do coração para a via dos alimentos e as aéreas, embora isso pareça ocorrer durante a entrevista, quando o problema é colocado para a aluna. Ela conecta os pulmões de maneira similar à que faz para o estômago:

Pesquisador: mas por onde que ele chega nos pulmões?

Raissa: por aqui:: ((apontando para o canal antes do coração e fígado, no desenho)) eu acho.

Essa ligação foi classificada como uma representação proposicional, devido à incerteza no apontamento da região e a falta de uma explicação inteiramente funcional. Não houve aprendizagem significativa.

Ricardo esboça uma representação proposicional com indicativo de um caminho único para o ar vindo do nariz e o ar vindo da boca, que pode ser relacionada à faringe, mas não chega a elaborar um modelo mental que a relacione à epiglote ou ao esôfago:

Ricardo (primeiro momento): mas quando você respira o ar num se encontra com o da boca, junto? Acho que vai no mesmo lugar.

Ricardo (segundo momento): tipo a pessoa arrota, mas eu não sei de onde vem não.

Notamos uma possível conexão com o sistema digestório, mas Ricardo não atribui a origem do "arroto" ao estômago. Tereza, por sua vez, faz uma associação direta entre a trajetória do ar pela boca e o estômago, que é funcional (modelo mental), mas inconsistente com o modelo científico:

Pesquisador: e quando você respira pela boca?

Tereza: o ar entra e vai pro estômago.

Sofia elabora uma representação proposicional geral, afirmando apenas que o caminho para os dois seria distinto.

5.2.2 Estômago

Todos elaboraram modelos mentais para a posição do estômago, e o representam como órgão integrante do tubo digestório, exceto por Raissa que o coloca como órgão anexo. Em todos os casos há passagem de líquidos e sólidos por ele, indicação de digestão de forma genérica e seguimento no trato. Ao contrário do que se observou na entrevista inicial para Carlos, Raissa, Ricardo e Tereza, não foi atribuída função de formação de fezes. Tampouco foi relatada a passagem pelo interior de órgão distinto do esôfago antes da chegada ao estômago, que na entrevista inicial ocorrera para Alexandra ("intestino"), Carlos ("intestino") e Sofia ("fígado"). Esta última, contudo, durante o segundo momento da entrevista final, volta a incluir o fígado como local de passagem de alimentos, embora não aponte que isto se dê antes da passagem pelo estômago.

A referência genérica à digestão era esperada, uma vez que não focamos nossas intervenções nas funções enzimáticas, mas apenas nos locais de secreção e na digestão mecânica. Os alunos não foram solicitados, portanto, a discorrerem sobre o processo em detalhes.

O desenho de Alexandra (Figura 20) é consistente com suas afirmações quanto à localização do órgão e menciona a presença de secreção digestiva pelo próprio estômago:

Alexandra (quanto à posição): pelo esôfago:: /.../ por segundo, o terceiro pro estômago, a comida e a bebida, depois pro quarto /.../ intestino delgado /.../ a comida e a bebida, que eu botei aqui.

Alexandra (quanto à secreção): /.../ o estômago já tem o dele mesmo, né?

Carlos é menos explícito quanto à conexão do estômago em seu desenho (Figura 21), mas suas respostas implicam um modelo mental, tanto para a relação com esôfago (vide tópico 5.2.1), como para as funções do estômago. O aluno indica digestão mecânica e química dentro do órgão, com produção de suco gástrico:

Carlos: /.../ só que na:: dentro do estômago:: no estômago tem a parede, né? Que ainda tem um líquido também, né? E faz ele:: faz ele se:: digestão, faz a digestão, e o estômago também se movimenta, tal, pá ((fazendo movimento com as mãos, palmos de frente pro outro, rotacionando-as em movimentos de ida-e-vinda)) pro alimento ficar mais:: cada vez mais a digestão fazê.

Fernando conecta o esôfago ao estômago e desenha um tubo comprido a partir deste, chegando ao intestino grosso, embora durante a explicação afirme que ele se conecta primeiramente ao delgado (vide item 5.2.3). Quanto às funções do estômago, temos uma referência indireta à mecânica e uma direta à química, indicando que houve aprendizagem significativa de sua função digestiva:

Fernando: deve passar por aqui ((apontando para o estômago no desenho, Figura 22)) Pra fazer um processo bruto, né? Depois do processo bruto ele vai descer pra cá ((apontando para o intestino delgado no mesmo desenho)), já tá acho que assim, bastante:: triturada, né?

Fernando: agora:: no caso aqui do:: como é o nome daquele:: o ácido, né? O ácido ajuda aqui também, né? A dissolver o alimento que tá aqui dentro do:: estômago né?

Raissa e Simone descrevem o processo de digestão no estômago de modo genérico:

Raissa: aí a comida é digerida /.../

Simone: aí é processada.

A conexão do estômago é, contudo, bastante distinta para as duas. A primeira o localiza como órgão acessório de um canal que se liga à boca, embora acredite que os alimentos passem necessariamente pelo estômago. A segunda, por sua vez, é consistente em o descrever como parte do trato.

Notamos algo curioso em Simone quanto à sequência de eventos após a passagem pelo estômago, comparando seu modelo mental durante essa entrevista e a anterior. A "bile" é representada no mesmo local que no outro desenho, no entanto, neste momento a aluna não a inclui como parte do trato. Interpretamos este fato como uma persistência de uma imagem mental associada ao seu modelo mental anterior, interferência pró-ativa de acordo com Ausubel (2000).

O desenho de Sofia indica uma trajetória única, mas não faz referência direta ao estômago. Durante sua explicação, contudo, ela menciona o órgão e o localiza antes do intestino delgado, fazendo menção à passagem dos alimentos por ele e à digestão:

Sofia: o estômago é por onde:: a comida é quebrada. E de lá ele desce pro:: intestino.

No caso de Tereza percebemos novamente a interferência pró-ativa descrita por Ausubel (2000). Há grande semelhança de formato e posição entre a estrutura indicada como coração

no primeiro desenho e aquela referida como "bofe", correspondente ao estômago. Apesar disso, no desenho 2 há clara conexão com a boca e ela fez referência à chegada dos alimentos ao estômago, sem qualquer implicação com o sistema circulatório, o que foi interpretado como aprendizagem significativa dos conceitos.

5.2.3 Intestinos (delgado e grosso)

Os alunos, em sua totalidade, fizeram referências a ambos intestinos delgado e grosso, o que não ocorrera em nenhum caso na primeira entrevista. A conexão direta com a bexiga e rins, presente em algumas representações, foi atribuída à não explicação dos sistemas circulatório e respiratório, o que dificultou a resolução do problema lógico verificado na primeira etapa: entrada de alimentos sólidos e líquidos por uma única via e excreção de líquidos por uma via distinta.

Avaliamos os modelos no que dizia respeito à *morfologia geral* (ênfase na ordem e formato dos intestinos delgado e grosso), e às funções de armazenamento, transporte, digestão e absorção.

Alexandra elabora um modelo mental coerente com o científico quanto à ordem de passagem dos alimentos pelos intestinos e, no caso do intestino grosso, à função de formação de fezes e acúmulo no reto:

Alexandra: vai pro delgado, depois pro grosso, aí depois divide /.../ a:: a água vai pra bexiga e a:: comida ((sacudindo a mão)) vai:: vira fezes.

Alexandra: /.../ fica no finalzinho:: depois vai:: pra outro lugar ((risos)).

Quanto à forma, o modelo é parcialmente consistente com o científico. O intestino delgado é representado como dois tubos interconectados (inconsistente), mas há indicação de pregas para o intestino grosso que estão ausentes no delgado (consistente). Interpretamos o fato como a não significação pela aluna dos modelos 3DR e 3DV. No primeiro, o intestino delgado foi representado como um bloco único (Figura 4O), no segundo, a velocidade e complexidade das animações podem ter dificultado a compreensão (vide tópico 6).

Quanto às funções, apenas foram mencionadas as de transporte e armazenamento, com formação de fezes ao final do processo, porém não vimos associação com as de digestão, esperadas sobretudo para o intestino delgado, e à de absorção de líquidos.

Carlos elabora um modelo mental condizente com a passagem dos alimentos para o intestino delgado, com movimentos peristálticos nesta etapa, e conseqüente passagem para o intestino grosso:

Carlos: daqui ele passa pro intestino (++) delgado /.../ aí daqui ele vai:: fazendo o mesmo processo mais:: lentamente, né? ((referência aos movimentos do estômago)).

No intestino grosso, há menção novamente aos movimentos peristálticos e à temporalidade comparada aos movimentos do estômago, que foi associada à rapidez dos movimentos nas animações (vide tópico 6). Assim como em Alexandra, houve menção ao reto e sua função:

Carlos: Chega aqui, fica aqui, nesse:: (+) aqui foi o:: final que eu fiz, que fica acumulado, até esperar a hora de ((barulho com a boca e movimento com o dedo no desenho indicando saída)), igual tá aqui escrito ((risos)).

Em termos morfológicos, os intestinos estão dispostos de forma consistente, mas o intestino delgado está apresentado como um espiral. Consideramos que houve aprendizagem significativa para as funções de transporte e digestão mecânica de alimentos nos intestinos, mas apenas parcialmente para aspectos morfológicos (consistente para o intestino grosso e inconsistente para o delgado)

Fernando indica uma estrutura conectando o estômago ao intestino delgado que ele assim descreve:

Fernando: ela é alguma coisa como se fosse:: um canal, entendeu? Um canal:: que desse acesso aqui /.../

Embora o tubo termine no intestino grosso, durante a explicação Fernando aponta o intestino delgado como primeiro destino dos alimentos após o estômago. Consideramos que a dimensão desse tubo não implica necessariamente uma correlação com suas representações mentais, mas possivelmente uma tentativa de conectar estômago e intestinos, desenhados muito afastados um do outro. É nítida, contudo, a idéia de uma estrutura distinta do intestino delgado, o que nos levou a qualificar seu modelo mental do intestino delgado como inconsistente morfológicamente.

A incerteza quanto ao local de conexão com o duodeno foi recorrente ao longo do estudo, possivelmente pela forma obscura como se apresenta no modelo 3DR (Figura 4H, I e J).

Quanto à posição relativa dos intestinos delgado e grosso, consideramos consistentes com o modelo científico, embora haja uma diferença considerável de tamanho.

Foram atribuídas, pelo aluno, ao intestino delgado as funções de armazenamento, digestão mecânica e de transporte dos alimentos já processados ao intestino grosso por meio de movimentos peristálticos:

Fernando: /.../ primeiro ela vai pro delgado (++) o delgado é prá:: é esse que tá aqui ((aponta para a região que ele indicou com ID no desenho, Figura 22)) ela faz o processo, é processado, né?

Fernando: /.../ vem pro fino aqui:: com a movimentação ele vai:: se estilhatano ((entendido como, estilhaçando)) né?

Fernando: /.../ no delgado ela vai se movimentando pra:: ter acesso aqui ao:: intestino grosso, né?

Também há uma representação proposicional da função de absorção de água e nutrientes, embora o aluno não especifique como se daria essa separação:

Fernando: o:: o:: a água, separa aqui no intestino delgado. Aí do intestino delgado os que for aproveitado:: as substância que for aproveitada aqui:: e as que num for:: o grosso vai pro:: (bos...), por exemplo, né? ((risos)) vai no intestino grosso e a:: e a água vai pra bexiga.

Ao intestino grosso foram associadas apenas funções de transporte e armazenamento de fezes.

Raissa representa o intestino delgado e o intestino grosso de forma parcialmente consistente com o modelo científico, mas observamos um aspecto circular no intestino grosso com possível associação à dificuldade de visualizar sua conexão, tanto no modelo 3DR quanto no 3DV. A conexão entre estômago e intestino delgado é relatada por Raissa como ocorrendo por um outro tubo, que relacionamos ao duodeno, mas que para a aluna não faz parte do intestino delgado.

Atribuímos este fato a três fatores: dificuldade de visualização do duodeno no modelo 3DR; fragmentação do intestino delgado; e atribuição de um botão separado para o duodeno (discutidos em detalhes no item 6). Para Raissa o duodeno efetua digestão mecânica e é local de presença de secreções digestivas:

Raissa: /.../ ele faz o processo, joga (++) vai tipo imprensano:: imprensano a comida, com a água, mastigano, aí tem um ácido::

Os movimentos peristálticos foram associados ao transporte de alimentos até o intestino grosso:

Raissa: aí tipo ela vai imprensando:: /../ por esse mais fino, aí ele vai:: corre, corre, corre, corre, aí joga pra outra:: tripa

Ao intestino grosso foi associada a função de formação de fezes:

Raissa: /.../ aí o intestino grosso vai passando por mais outro processo aí depois vira as fezes.

O desenho de Ricardo (Figura 24) indica uma posição relativamente coerente para intestinos delgado e grosso, embora haja uma conexão entre eles, na altura do duodeno que é inconsistente com o modelo científico. O aluno, contudo, justifica essa conexão como uma impossibilidade de representar tridimensionalmente as estruturas:

Pesquisador: e esse que tá vindo do estômago tá grudado aqui?

Ricardo: é porque esse aqui nesse caso seria por dentro assim, por trás. Porque eu num tinha muito como fazer, porque eu não sou muito bom de desenho.

A sequência de eventos relatada para o caminho percorrido pelos alimentos, é consistente com a explicação do aluno:

Ricardo: do estômago:: ele vem pro intestino fino, delgado, né? (+) que fala. Do intestino delgado, aí, vão para o intestino grosso.

Observamos, contudo, que o aluno apresenta dificuldade de relacionar a chegada de líquidos à bexiga em seu desenho, localizando-a ao final do intestino grosso. O aluno afirma que a água percorre aquele caminho e que não representou a saída das fezes porque estariam por trás. Há uma possível dificuldade de desenhar bidimensionalmente as estruturas tridimensionais, mas esta dificuldade não está desvinculada de uma falta de consistência em suas representações mentais. Estas foram qualificadas como uma imagem mental, que explica a apresentação visual relativamente coerente, bastante distinta da verificada no desenho 1, e representações proposicionais sobre os caminhos percorridos pelos alimentos.

Ao intestino grosso foi associada a função de separação entre sólidos e líquidos e transporte de fezes até o anus:

Ricardo: /.../ quando chega aqui no intestino grosso separa, né? A água. Vai separando.

Ricardo: /.../ e as que num for:: o grosso vai pro:: a (bos...), por exemplo, né? ((risos)) vai no intestino grosso e a:: e a água vai pra bexiga.

Simone faz divisão entre o intestino delgado e intestino grosso com relação à ordem de passagem dos alimentos e espessura do trato digestório, sendo o último mais fino. A inversão de posições entre ambos é possivelmente um reflexo de uma representação proposicional da forma como são apresentados nos modelos, estando o intestino grosso acima anatomicamente do delgado. A aluna faz menção a uma possível inversão de suas posições, mas não ao formato como um todo:

Simone: aqui eu acho que eu troquei, o grosso é embaixo e o delgado é em cima?

A disposição dos intestinos é bem similar àquela representada no desenho 1, o que indica uma interferência pró-ativa da representação anterior, o mesmo tendo sido verificado para a "bile".

Simone faz menção a uma estrutura posterior por onde passaria a comida, que identificamos como duodeno (mesma ocorrência que em Raissa):

Simone: aí passa por um negócio lá atrás que eu num sei, aí de lá que vai pro intestino, eu esqueci o nome, professor.

Sofia não possui uma explicação consistente para o funcionamento dos intestinos delgado e grosso, operando, no primeiro momento da entrevista, apenas com representações proposicionais para explicar a passagem do intestino delgado para o intestino grosso. Seu desenho fornece poucas pistas quanto a aspectos morfológicos das estruturas o que dificultou a avaliação nesse sentido.

No segundo momento da entrevista a aluna indica uma ordem de passagem invertida, que se daria primeiro pelo intestino grosso e somente depois pelo intestino delgado:

Sofia: /.../ aí ela vem pra cá, né? ((apontando para o intestino grosso no Modelo 3DR)) aí faz aquela volta toda:: aí depois ela vem pra esse ((apontando para o intestino delgado)) /.../

Atribuímos o fato à posição anatômica do cólon transversal ser superior à do intestino delgado, e à dificuldade em se visualizar a ligação com o estômago e entre os intestinos, no modelo 3DR. Interessante notar, contudo, que a aluna faz referência a uma nova passagem pelo intestino grosso, o que pode ser resultado de uma interferência retroativa da visualização do modelo:

Sofia: /.../ aí depois que ela dá toda volta dela ((percorrendo com o dedo toda extensão do intestino grosso, da esquerda para a direita)) ela passa pelo final.

Tereza trabalha com representações proposicionais para explicar o caminho dos alimentos a partir do estômago. No desenho, há uma estrutura na porção inferior abdominal que é associada, durante a entrevista, ao intestino grosso (Figura 27), momento no qual a aluna afirma não ter representado o intestino delgado, mas que ele estaria em algum lugar acima, ou dos lados. Possivelmente há confusão da nomenclatura dos intestinos delgado e grosso. Consideramos que para estes órgãos a aprendizagem não foi significativa.

5.2.4 Fígado, pâncreas e vesícula biliar

Os alunos, em geral, apresentaram dificuldade para relacionar as funções do fígado, vesícula e, particularmente, do pâncreas, ao trato digestório, embora a ocorrência dessa relação tenha sido maior que na entrevista inicial. Para a vesícula notamos a predominância de imagens mentais que a identificam como local de armazenamento de líquido diverso da bile.

Alexandra apontou com o dedo a posição do fígado no desenho (Figura 20) de forma consistente, embora não o tenha representado. Igualmente consistentes foram suas assertivas acerca da produção da bile, armazenamento pela vesícula e liberação no intestino delgado, o que nos permitiu classificar sua aprendizagem como significativa para estes órgãos:

Alexandra: /.../ aí quando a gente come, ele solta aquele liquidozinho que vai pelo:: intestino delgado, né? No caso, ele não entra no estômago não. E a comida já sai do estômago, aí quando ela vai descer pro intestino delgado aí ele solta o liquidozinho, né? No:: como é que chama? Aquele liquidozinho lá, amargo lá, esqueci o nome, que fica junto com o fígado, é a:: esqueci (+) que a menina até fez cirurgia lá. Eu que esqueci o nome.

Pesquisador: e o que tem esse negócio?

Alexandra: é:: ele só serve pra soltar o líquido mesmo pra:: digerir a comida mais rápido.

A aluna não se recorda do termo "vesícula biliar", mas durante as atividades em sala foi relatado que Raissa havia feito uma cirurgia neste órgão, daí a referência ao procedimento

médico. Notamos que foi associada à bile função digestiva e à vesícula a de armazenamento, reafirmada em outro momento:

Alexandra: só pra armazenar o liquidozinho mesmo, depois ele solta.

Quanto ao pâncreas, Alexandra demonstra possuir um modelo mental que engloba sua posição e função, indicando também aprendizagem significativa:

Alexandra: o pâncreas era bem aqui atrás, né? ((apontando para o estômago, Figura 20)) /.../

Alexandra: /.../ que eu lembro que ele também solta um liquidozinho.

Pesquisador: e ele soltava esse líquido onde?

Alexandra: no delgado também, né? Depois do estômago, porque o estômago já tem o dele mesmo, né? Aí depois que ele sai do estômago que ele joga também.

O desenho de Carlos indica o fígado acima do estômago, o que não é necessariamente incorreto, apesar de o órgão ter sua posição deslocada para a direita e levemente para baixo, no corpo humano. Quando à função do fígado, Carlos menciona a produção de líquido digestivo.

A vesícula, contudo, foi indicada como estando acima do fígado:

Carlos: ele fica em cima do fígado. Aqui assim ((aponta para cima do fígado no desenho, Figura 21)).

Interessante destacar que Carlos não se recorda do nome do órgão, mas assim que visualiza o modelo 3DR na segunda etapa da entrevista o nome vem à sua mente, indicando que este funcionou como gatilho à memória:

Carlos: é isso aqui que eu não sei o nome, ó, o que eu não sei o nome é isso aqui ó ((aponta para a vesícula biliar)), vesícula né?

Pesquisador: isso.

Carlos: agora eu lembrei né, não tem nem nome aqui, né? Não tem nem nome (++) vesícula:.

Carlos associa a produção da bile à vesícula biliar, afirmando que sua secreção seria vertida no estômago, embora afirme que isto se daria quando da saída dele, o que poderia ser associado, ainda que indiretamente, ao duodeno:

Carlos: ela que produz a:: esse líquido /.../ aí ainda:: ainda saindo daqui assim ainda ((apontando para o estômago no desenho e fazendo movimento para baixo)) ela:: joga um liquidozinho na comida, né? Que é pra comida::.

Quanto ao pâncreas, Carlos afirma desconhecer sua posição específica e função:

Carlos: cara tu mostrou aquele dia e eu nem lembro onde é que ele tava, mas fica por trás também, né? (++) depois que tu tirou tudo lá, tava lá atrás o pâncreas.

Ele, no entanto, parece possuir uma imagem mental da aparência do órgão, tanto que no início da segunda etapa da entrevista relata não o estar visualizando:

Carlos: o pâncreas tá lá pra trás mesmo, porque não tá mostrando aqui na frente.

Fernando não sabe precisar a posição do fígado, mas o associa à produção da bile apontando o estômago como seu local de destino:

Fernando: aí tem um otro aqui do:: fígado, que eu esqueço o nome:: é bile, é? (+) que ele ajuda também:: /.../ essa bile é um ácido? Ela ajuda a dissolver:: com certeza a comida, né? O alimento.

Pesquisador: e pra onde ela vai?

Fernando: eu não tenho certeza não mas acho que ela deve ir pro estômago também.

O aluno associa o pâncreas à produção de líquidos digestivos mas não sabe precisar o local onde ele verteria esse líquido. A descrição que ele dá ao órgão é bastante inespecífica:

Fernando: o pâncreas ele tem um ácido também? (++) acho que ele fica aqui na região do peito ((o peito é indicado pelo aluno em entrevista anterior como na região superior abdominal)). Ele é mais ou menos que nem o estômago assim só que bem menor, igual uma castanha.

Durante a segunda etapa da entrevista, o aluno aponta como pâncreas o baço, o que indica uma representação proposicional, sem necessária correlação com o órgão e suas funções no sistema digestório. Não há referência à vesícula.

No desenho de Raissa as posições desses órgãos são relativamente consistentes, mas a aluna afirma desconhecer as funções do fígado e pâncreas, atribuindo à vesícula a de acúmulo de gordura:

Raissa: a bile é só pra ele acumular a:: gordura.

Pesquisador: e ele fica aqui?

Raissa: não, ele joga pra:: não lembro.

Acreditamos ser uma confusão entre a bile e sua função na digestão de gorduras, mencionada durante as atividades. Concluímos por uma imagem mental de compartimento contendo líquido, sem correlação funcional.

Destacamos o fato de Raissa já ter operado a vesícula, e que mesmo após este procedimento e as atividades em sala, a dúvida quanto à sua função se mantém. Atribuímos isto, ao menos em parte, à falta de um enfoque na função de digestão química dos alimentos durante a instrução.

Para o pâncreas, a aluna não atribui qualquer representação além daquela presente no desenho (Figura 23).

Ricardo não desenhou o fígado, vesícula ou pâncreas (Figura 24), mas aponta a região acima do estômago para localizar o primeiro, o que é relativamente condizente com sua posição anatômica. Quanto às funções do fígado e demais órgãos, Ricardo não faz qualquer relação com a digestão.

Simone representa o fígado em posição relativamente consistente com a anatômica, embora invertida. Não associa, contudo, ao órgão, qualquer função digestiva. A vesícula é curiosamente representada no mesmo local que no desenho 1 (Figura 17), mas com função diferente. Na entrevista anterior foi afirmado que ela faria parte do trato digestório, mas nesta, que ela serviria para armazenar secreção digestiva do estômago.

Percebe-se a ocorrência de interferência pró-ativa que, segundo Ausubel (2000) ocorre quando algo aprendido anteriormente influencia a aprendizagem futura. No caso, a representação da bile como abaixo do estômago parece se misturar na estrutura cognitiva da aluna com as animações do modelo 3DV, nas quais líquido vindo do fígado é armazenado na vesícula.

O pâncreas não foi representado no desenho e a aluna relatou como função a passagem de água por ele:

Simone: ele que:: libera água? Pra comida:: passa água nele também:: tipo tem um canal:: passa a comida e depois passa água? (+) eu vi no desenho, mais ou meno assim::

Pesquisador: que desenho?

Simone: aquele que você tava explicando, e eu fiquei assim:: meio perdida com isso.

A aluna relata dificuldade em compreender a animação do modelo 3DV, o que parece ter sido recorrente para as referentes a esse órgão e também ao fígado e vesícula (vide tópico 6).

Sofia não relatou qualquer função para o fígado, mas apontou sua localização de forma coerente no desenho e afirmou, no primeiro momento da entrevista final, que o órgão não fazia parte do trato digestório, estando ao lado dele:

Pesquisador: aí a comida estaria passando por dentro do fígado?

Sofia: não:: por fora.

Pesquisador: por fora por onde?

Sofia: como se ele tivesse aqui, ela passa por lado dele ((apontando no desenho, Figura 26).

Interessante notar, contudo, que no segundo momento da entrevista, Sofia volta a mencionar o fígado como local de passagem de alimentos, indicando interferência pró-ativa na aprendizagem:

Sofia: /.../ passa por aqui que eu falei:: por dentro do fígado::

No que se refere à vesícula, a aluna indicou sua posição verbalmente e seu tamanho de modo verbal e gestual, indicando uma imagem mental do órgão:

Sofia: acho que ela era pequenininha /.../ eu lembro que ela fica, acho:: embaixo do fígado, e ela é pequena:: ((descrevendo seu tamanho com o polegar e indicador da mão direita)).

Verificamos novamente uma confusão a respeito de sua função e da origem de seu conteúdo, que associamos a falhas de interpretação do modelo 3DV:

Sofia: acho que ela é cheia de água, alguma coisa assim.

Pesquisador: e o que ela faz?

Sofia: acho que ela fica ali só responsável pra guardar o que tem dentro dela.

Posteriormente a aluna identificou seu líquido como oriundo da água ingerida:

Pesquisador: e de onde vem esse líquido?

Sofia: acho que assim:: do líquido que a gente bebe.

Tereza não elaborou qualquer representação sobre o fígado, vesícula ou pâncreas.

5.2.5 Glândulas salivares

Quanto à localização das glândulas salivares, observamos para cada aluno, aprendizagem significativa para ao menos um dos três principais pares de glândulas: parótida, submandibular e sublingual.

Alexandra indicou a presença de três pares de glândulas, sendo suas representações consistentes com o modelo científico, exceto pelas submandibulares, que foram representadas na região da bochecha:

Alexandra: ela sai aqui dos cantinho aqui, dos dois lados ((apontando no desenho na região onde estaria a parótida e fazendo movimento em direção à boca)) /.../ no caso é seis lugar, né? Aqui, dos dois, aqui, dos dois, e debaixo da língua, dos dois ((apontando no próprio rosto para seis regiões, duas a duas, de cada lado, Apêndice C1)).

Carlos apontou regiões consistentes para as parótidas e sublinguais, não citando as submandibulares:

Carlos: saliva, né? (++) daqui ((apontando para a região onde fica localizada a parótida no próprio corpo, Apêndice C2)) daqui que você sente mais ela saindo (+) e aqui debaixo aqui, ó ((apontando para debaixo da língua, Apêndice C2)).

Fernando procede da mesma forma que Carlos, mas curiosamente associa à produção da saliva o movimento da mandíbula e da língua. Consideramos isto uma provável relação com o fato de, nas animações do modelo 3DV, o movimento dessas partes preceder a aparição da saliva (vide tópico 6).

Raissa representa em seu desenho (Figura 23) o ducto parotídeo, e durante a entrevista localiza no próprio corpo os seis pares de glândulas salivares:

Raissa: tem um que vem por aqui e joga por debaixo ((apontando para região da submandibular e fazendo o trajeto com o dedo)), tem um outro que é aqui, que joga aos poucos ((apontando para região das parótidas e fazendo o trajeto com o dedo)) /.../ e o da língua é o que joga mais.

Percebemos uma correlação entre a resposta da aluna e a representação da secreção de saliva nas animações que, de fato, pode levar à conclusão de uma maior quantidade produzida abaixo da língua (vide tópico 6).

Ricardo localiza a região da parótida mas associa o frênulo da língua à produção de saliva também, embora este seja o local de liberação da secreção produzida pela submandibular:

Ricardo: tem umas que são produzida aqui atrás, outras aqui embaixo:: ((aponta para região da parótida e para o frênulo da língua, Apêndice C5)).

Simone associa corretamente locais condizentes com as sublinguais e parótidas, mas não relata as submandibulares:

Simone: três pontos, né? Embaixo da língua, aqui dos lados ((apontando para a região compatível com a parótida, Apêndice C6)) (1,5s) e um no céu da boca?

Embora o céu da boca contenha as salivares menores, não acreditamos que esta era a intenção de Simone quando se referiu a essa região, mas que ela representou de modo diverso alguma das animações.

Sofia aponta para as regiões das sublinguais e das submandibulares:

Sofia: embaixo da boca:: e debaixo da língua aqui ((regiões apontadas no Apêndice C7)).

No segundo momento da entrevista, contudo, Sofia no início da animação que se refere às parótidas, antes de ser mostrada a secreção de saliva, as associa à produção dela:

Sofia: essa daí é a da saliva, né? ((apontando com o dedo para a parótida esquerda no vídeo)) que é quando a gente mastiga o alimento.

Não consideramos em nossa análise esta afirmação para caracterizar aprendizagem da posição e função destas glândulas, devido à dificuldade em se precisar a influência retroativa das animações. Observamos também algo semelhante ao ocorrido com Fernando. A aluna parece associar o movimento de mastigação à produção de saliva.

Tereza indicou apenas a região referente à sublingual como local de produção de saliva.

6 CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS 3D E SUAS RELAÇÕES COM AS REPRESENTAÇÕES MENTAIS DOS ALUNOS

As representações mentais dos alunos, comparadas no tópico 5.2, foram analisadas com base nas observações feitas durante as atividades em sala. O segundo momento da entrevista final, que teve enfoque no uso individual dos modelos, também foi utilizado em nossa discussão.

De modo geral, o uso dos modelos 3D parece ter favorecido a formação de modelos mentais para explicar os processos do sistema digestório. Os aspectos para os quais isto não ocorreu foram aqueles apresentados de forma menos clara nos modelos, o que exigiu maior nível de abstração dos alunos. Quando não é possível compreender aquilo que se observa, não se é capaz de relacionar o material às idéias relevantes na estrutura cognitiva, as *idéias-âncora* (AUSUBEL, 2000).

A abstração foi um dos principais fatores apontados por Palmero (2003), e Tauceda e Del Pino (2010) para que as figuras do livro didático fossem um entrave à formação de modelos mentais. Segundo os autores, a falta de um enfoque funcional; e descontextualização e fragmentação das estruturas representadas também contribuía neste sentido.

O enfoque dado foi funcional para os processos macroscópicos envolvidos na digestão - digestão mecânica, secreção de enzimas digestivas, e armazenamento e transporte de alimentos. Aspectos microscópicos da digestão e absorção de nutrientes, abrangendo a ação das enzimas, não estavam presentes nos modelos, o que talvez justifique em parte a dificuldade de se relacionar significativamente este conteúdo.

A descontextualização foi mais forte para órgãos que estavam presentes no modelo 3DR e que não eram representados no 3DV, exigindo aprendizagem exclusivamente mecânica. A sobreposição de estruturas, a separação de um mesmo órgão em duas ou mais partes, com atribuição de mais de um botão para cada parte, e a indicação discreta das conexões entre órgãos distintos, foram alguns dos aspectos que contribuía para uma visão fragmentada de certas estruturas.

Os alunos, em sua maioria, estiveram engajados nas atividades com os modelos 3D, indicando não ter sido um grande problema o fator motivacional, sem o qual não há aprendizagem significativa (AUSUBEL, 1968). De acordo com os relatos dos alunos, houve preferência quanto à utilização deste tipo de abordagem, quando comparado ao uso exclusivo do quadro e do livro.

As características dos modelos tridimensionais reais e virtuais, e de seu uso concomitante, foram analisadas quanto à capacidade de favorecer, ou não, a construção, pelos alunos, de representações mentais consistentes com o modelo científico. Os resultados foram agrupados de acordo com aquelas: (a) *predominantes no Modelo 3DR*; (b) *específicas do Modelo 3DV*; (c) *específicas do uso concomitante de Modelos 3DR e 3DV*; e (d) *comuns a Modelos 3DR e 3DV*.

6.1 PREDOMINANTES NO MODELO 3DR

As principais características associadas ao Modelo 3DR que tiveram relação com as representações dos alunos foram as referentes a: (a) *indicação de volume e sobreposição de elementos*; (b) *fragmentação de um mesmo órgão*; e (c) *indicação discreta de conexões entre órgãos*.

6.1.1 Indicação de volume e sobreposição de elementos

Todo modelo 3DR possui, por definição, volume. A forma e a profundidade com que seus componentes, reentrâncias, curvaturas e demais aspectos tridimensionais são representados, contudo, é variável. Modelos 3DR permitem a percepção direta multi-sensorial de símbolos (MAUREL; BERTACCHINI, 2008), que em nosso estudo parece ter estimulado a formação de representações mentais tridimensionais que serviam como auxílio à memória.

Carlos, por exemplo, recorre à experiência tridimensional com o modelo 3DR para tentar responder à pergunta quanto a sua localização:

Carlos: /.../ fica por trás também, né? (++) depois que tu tirou tudo lá, tava lá atrás o pâncreas.

As escolhas de materiais e nível de detalhamento refletem demandas de fidedignidade, custo, resistência, mobilidade e encaixe das partes (ORLY, 2000). Como resultado, na confecção de modelos 3DR, são elegidos alguns itens a serem representados verdadeiramente em três dimensões, em detrimento de outros que, por vezes, nem chegam a estar presentes ou

ficam sobrepostos por outros. Fabricantes e educadores nem sempre têm consciência da extensão de suas escolhas, que podem dificultar ou até mesmo impossibilitar a visualização de determinadas estruturas e a compreensão de alguns processos.

No Modelo 3DR que utilizamos, identificamos estruturas do sistema digestório que eram representadas apenas parcialmente em três dimensões, ou estavam encobertas por outras. Os casos mais relevantes foram os da *faringe e esôfago* (Figura 4C e D), *intestino delgado* (Figura 4H, I e J), e *reto* (Figura 4R, S e T).

Como resultado, os alunos tiveram dificuldades em correlacionar suas representações mentais prévias ao que estavam visualizando, associando a elas, em alguns casos, estruturas semelhantes que estavam melhor representadas espacialmente.

Faringe e Esôfago

O esôfago fazia parte de um bloco único no qual também estavam presentes pulmões, brônquios, veias e artérias. Somado a isso, a faringe, com a qual ele se conecta, em camadas inferiores do pescoço, não era mostrada no modelo (Figura 4C). Isto, associado ao fato de o caminho percorrido pelo ar até os pulmões não ter sido representado no modelo 3DV, parece ter sido um dos responsáveis pelos baixos índices de *aprendizagem significativa* para a conexão com as vias aéreas na região da epiglote.

A passagem dos alimentos da boca ao estômago, por sua vez, foi associada por Fernando, Raissa e Sofia, no segundo momento da entrevista, a uma estrutura diversa do esôfago.

Fernando havia elaborado um modelo mental no qual a passagem de alimentos líquidos e sólidos se dava por uma via única (vide tópico 5.2.1). Ao se deparar novamente com o Modelo 3DR no segundo momento da entrevista final, o aluno analisa recursivamente seu modelo chegando à conclusão de que havia duas passagens, relacionando-as à veia jugular interna e à artéria carótida comum, que eram bem evidentes no modelo (Figura 4C).

Interessante notar o papel dos *subsunçores* nesse caso, uma vez que Fernando apontou na primeira entrevista um caminho distinto para líquidos e sólidos com início na região do pescoço (vide tópico 4.2.1). A deficiência do modelo parece ter favorecido a *interferência pró-ativa* de sua representação mental prévia, nos conceitos recém aprendidos:

Fernando (segundo momento - entrevista final): fiquei em dúvida porque eu tô vendo aqui duas:: entendeu? Duas:: tem duas::, no caso seria dois canal, entendeu? Que tá vindo daqui, ó ((apontando para a veia jugular interna)) descendo pra cá:: esse outro ((apontando para a artéria carótida comum)) tá fazendo mais ou meno o mesmo sentido.

Em Raissa e Sofia observamos algo um pouco distinto no segundo momento da entrevista final. As alunas mantêm suas representações mentais de caminho único para alimentos sólidos e líquidos, mas o associam em parte à veia jugular interna.

Intestino Delgado

O jejuno-íleo é apresentado como um bloco maciço (Figura 4I e O) cujas conexões com os demais órgãos são pouco evidentes (Figura 4M e N) mesmo após sua retirada do modelo. Este fato parece ter contribuído para a formação de representações mentais confusas quanto a seu formato e conexões.

Os desenhos apresentam o intestino delgado como uma estrutura: de dois tubos conectados (Alexandra, Figura 20); espiralada (Carlos e Ricardo, Figuras 21 e 24); enovelada (Fernando e Raissa, Figura 22 e 23); senoidal (Simone, Figura 25); e com projeções indefinidas (Tereza, Figura 27). Sofia não desenhou o intestino delgado (Figura 26). Embora os desenhos sejam influenciados pela competência do aluno em se expressar pictoricamente, houve certa correlação entre eles e as representações mentais de cada um.

Alexandra e Simone elaboraram modelos mentais condizentes com seus desenhos. Ricardo, por sua vez, não elaborou um modelo mental do órgão, indicando que a estrutura em espiral era uma imagem mental do intestino delgado. O mesmo é verdade para Tereza. Fernando teve dificuldade em relacionar o intestino delgado ao duodeno, o qual parece ser compreendido como órgão distinto.

A sobreposição do intestino grosso (Figura 4H e I), aliada à fragmentação do órgão e atribuição de um botão/animação exclusivo para ele (vide tópicos 6.1.2 e 6.3.2) parecem ser os motivos determinantes dessa ocorrência.

Retto

Problemas com a identificação do reto e sua conexão com o restante do intestino grosso, foram verificados em alguns desenhos como os de Alexandra (Figura 10) e Ricardo (Figura. 24). Embora esses alunos mencionem a conexão com o intestino grosso, a posição exata onde isso ocorre não é clara.

Uma das características que se mostrou particularmente problemática durante as atividades foi a separação entre o reto e o útero, que constituíam um único bloco. A visão do reto quando este está inserido no modelo não indica também um aspecto tubular, que só pode ser visualizado quando a peça é retirada e aberta (Figuras 4R, S e T). Isto foi associado também à fragmentação do órgão (vide 6.1.2).

6.1.2 Fragmentação de um mesmo órgão

Esta característica foi particularmente relevante para o *duodeno* (intestino delgado) e *retto* (intestino grosso).

Intestino delgado (duodeno)

A fragmentação do duodeno, mostrado como uma peça distinta do restante do intestino delgado, influenciou as representações mentais dos alunos, que passaram a entendê-lo como um órgão distinto. Isto também foi atribuído à sobreposição do duodeno pelo intestino grosso (vide tópico 6.1.1) e à utilização de botão exclusivo da interface para ele (vide tópico 6.3.2).

Fernando e Raissa o representaram como um tubo longo, conectado ao restante do órgão. Fernando o descreve como “um canal” que “dá acesso” ao intestino delgado. Raissa, por sua vez, se refere a ele como a “outra tripa” (vide tópico 5.2.3):

Raissa: não, ele não vem direto aqui pro fina. Ele passa por outra tripa:: processo aqui que vai mastigano e depois joga pra cá ((apontando para o intestino delgado no desenho, Figura 23)) /.../.

Intestino grosso (reto)

Isto também foi verificado para a porção final do intestino grosso, terminando no reto. Consideramos este fato com maior cautela, uma vez que os alunos tinham dificuldade em abordar questões associadas a fezes e anus, optando por não representá-los em seus desenhos, mesmo quando suas representações mentais eram condizentes com uma conexão direta.

Apesar disso, a posição exata da conexão entre o intestino grosso e o ânus parece obscura para alguns alunos, a exemplo de Alexandra e Ricardo que conectaram a bexiga a sua porção final (Figuras 20 e 24). Durante as atividades em sala, essa também foi uma dúvida recorrente, uma vez que os alunos não reconheciam a indicação do reto no modelo como um tubo (Figura 4R). Quando a peça era retirada, o problema persistia, sendo atribuído, neste último caso, à falha indicação de separação com o útero (vide tópico 6.1.1).

6.1.3 Indicação discreta de conexões entre órgãos

A indicação de conexão entre os órgãos foi o fator isolado associado ao modelo 3DR que mais dificultou a formação de modelos mentais consistentes com o modelo científico. Este fator está relacionado tanto a *órgãos contínuos* (faringe, esôfago, estômago, intestino delgado e grosso) como *anexos* (fígado, vesícula, pâncreas e glândulas salivares).

Órgãos contínuos

Entre as mais problemáticas para os órgãos contínuos estão aquelas entre: faringe-esôfago; esôfago-estômago; duodeno-jejuno; íleo-ceco; e cólon-reto. A conexão entre faringe e esôfago não está representada e é tratada no tópico 6.1.1.

Entre esôfago e estômago, a visualização das conexões é problemática por dois motivos: sobreposição quando o fígado está presente (Figura 4F); e representação do esôfago juntamente com outras estruturas em um bloco maciço (Figura 4C). Dificuldades de representação foram observadas em Fernando, Raissa e Sofia (vide tópico 6.1.1).

O duodeno, por sua vez, era completamente sobreposto pelo estômago e fígado (Figura 4E), e parcialmente sobreposto pelo intestino grosso e o jejuno-íleo. Sua conexão com o estômago não era um problema desde que retirado o fígado (Figura 4G). Com o jejuno-íleo, contudo, a conexão era de difícil visualização e requeria a retirada do mesmo (Figura 4M e O), o que correlacionamos com a dificuldade dos alunos em estabelecer esta ligação.

A valva ileocecal, que controla o fluxo de alimento liquefeito proveniente do intestino delgado (PARKER, 2007), não era associada a uma ligação entre estas partes anatômicas mesmo quando o jejuno-íleo era retirado. A separação entre os órgãos que formam o tubo e a não indicação do aspecto tubular nos pontos de ligação, especialmente do intestino delgado, parecem ter sido os maiores problemas.

Entre o cólon e o reto (tratado no tópico 6.1.1) a separação entre os órgãos e a dificuldade de visualizar o ponto de contato entre ambos no modelo (Figuras 4P e R) foram as maiores dificuldades quando de sua utilização em sala.

Órgãos anexos

Para os órgãos anexos, as maiores dificuldades estão associadas às conexões dos ductos: biliar; pancreático; parotídeo e sublingual. Estes ductos e suas conexões estavam mal ou não representados (Figuras 4A, B, J e L), o que explica em parte porque os alunos os representaram dissociados do trato digestório. O caso mais emblemático foi o do pâncreas, que exceto por Alexandra, não foi corretamente associado a nenhuma função digestiva (vide tópico 5.2.4).

6.2 ESPECÍFICAS DO MODELO 3DV

As principais características que influenciaram as representações mentais dos alunos foram: (a) *enquadramento da cena e mudanças de ângulo de câmera*; (b) *uso de transparência*; (c) *velocidade da animação e volume de partículas*; e (d) *movimento não relacionado ao fenômeno representado*.

6.2.1 Enquadramento da cena e mudanças de ângulo de câmera

Mudanças de ângulo de câmera, com rotações ao redor do modelo completo ou do órgão que se desejava-se focar, associadas ao enquadramento muito próximo da câmera, dificultaram aos alunos localizar espacialmente o pâncreas, a vesícula e a valva ileocecal.

No caso do pâncreas, a câmera era aproximada do modelo e em seguida era feito um giro de 500° tendo o pâncreas como foco. O objetivo do giro era contextualizar a posição da estrutura em relação aos órgãos ao seu redor. Observamos, contudo, durante as atividades em sala, e posteriormente na etapa de avaliação, que o efeito era exatamente o contrário: ao final da rotação o aluno já não era mais capaz de identificar a posição da região representada.

Outro fator que parece ter contribuído negativamente para as representações dos alunos, diz respeito ao enquadramento do órgão, com o objetivo de que pudessem ser visualizadas as partículas que correspondiam à secreção, que após o giro focava somente na metade dele.

Essa proximidade deu margem à interpretação de que o duto pudesse estar conectado ao trato em sua porção anterior e que o líquido pancreático fosse originário da dieta. O relato de Simone é bem explícito nesse sentido (vide tópico 5.2.4).

No caso da vesícula, o ângulo de rotação era cerca de 270° - do momento em que ela era focalizada até a sua aproximação - tendo sido observados problemas semelhantes ao relatado para o pâncreas.

A valva ileocecal não era precedida de giro, mas apenas de uma aproximação direta da câmera. O foco aproximado, contudo, parece ter sido suficiente para que os alunos a indicassem no modelo 3DR em local diverso do representado.

6.2.2 Uso de transparência

O uso de efeitos de transparência foi associado à dificuldade dos alunos em relacionar o pâncreas ao trato digestório. Durante a animação que indicava a passagem de líquido de seus dutos para o duodeno, o pâncreas se tornava completamente transparente para permitir a visualização dos dutos e, ao final, era novamente apresentado.

Nas atividades em sala e no segundo momento da entrevista final, dificilmente a animação era corretamente associada ao órgão, embora outros aspectos contribuam para isto,

como diferenças de cor entre o modelo 3DR e o 3DV. Em nossa avaliação, a aplicação do efeito sobre o órgão dificultou aos alunos perceber que o ducto pertencia a ele.

6.2.3 Velocidade da animação e volume de partículas

A velocidade com que os eventos eram representados nos modelos 3DV foi associada diretamente à velocidade dos eventos reais, não sendo entendidas como uma relação abstrata. O caso mais evidente dessa ocorrência pode ser verificado pelo relato de Carlos quanto à velocidade comparada dos movimentos do estômago e intestino:

Carlos: do mesmo jeito que o estômago faz ele faz, só que num processo mais lento, que o processo do estômago ele fica mais, né? ((fazendo movimentos rápidos com as mãos)) como foi visto na aula aí ((aponta para o quadro onde eram projetadas as imagens)) fica mais rápido, aqui ele fica mais lento.

Outro fator que foi representado pelos alunos com correspondência direta ao modelo diz respeito à quantidade de saliva produzida por cada uma das glândulas salivares. Os alunos correlacionaram a quantidade de partículas que simbolizavam a saliva na animação à realidade, chegando à conclusão de que as sublinguais seriam as principais responsáveis pela secreção na boca.

O relato de Raissa é bem ilustrativo nesse sentido:

Raissa: tem um que vem por aqui e joga por debaixo ((apontando para região da submandibular e fazendo o trajeto com o dedo)), tem um outro que é aqui, que joga aos poucos ((apontando para região das parótidas e fazendo o trajeto com o dedo)) /.../ e o da língua é o que joga mais.

6.2.4 Movimento não relacionado ao fenômeno representado

Particularmente interessante foi a associação de movimento da mandíbula (Fernando e Sofia) e da língua (Fernando) à produção de saliva nas parótidas e sublinguais, respectivamente. Respostas de Fernando no primeiro momento da entrevista final:

Fernando (quanto às parótidas): acho que com a movimentação, ela vai soltando aquele:: líquido, né? /.../ ((apontando para a região das parótidas, Apêndice C1)) eu sinto que vem alguma coisa daqui, ó.

Fernando (quanto às sublinguais): acho que é mais ou menos na língua, professor, que se você não movimentar a língua a boca fica seca e com a movimentação da língua você vê que ela sempre tá molhada, entendeu?

De fato, nas cenas em que estes processos são representados, há a movimentação da mandíbula ou da língua precedendo a aparição das partículas que representam a saliva.

6.3 ESPECÍFICAS DO USO CONCOMITANTE DE MODELOS 3DR E 3DV

A utilização concomitante de modelos 3DR e 3DV teve características peculiares que integram elementos de ambos, sendo aquelas que mais influenciaram as representações mentais dos alunos: (a) *seqüência e controle de animações*; (b) *atribuição e controle de ações a partir do Modelo 3DR*; e (c) *correlação entre elementos dos modelos*.

6.3.1 Sequência e controle das animações

Ausubel e Robinson, em trabalho publicado já em 1969 (p. 339, tradução nossa), apontam as potencialidades da utilização de animações para promover experiências que de outra forma estariam:

[...] totalmente não disponíveis ou disponíveis com grande custo e dificuldade, por exemplo, closes de operações médicas, demonstrações de aconselhamento e ensino em sala de aula, descrição de regiões remotas e eventos complexos²⁸.

Curiosamente, chamamos atenção no item 6.2.1 para os cuidados com a utilização de “closes” em animações, que em certos casos foram um entrave à aprendizagem significativa, conceituada pelo próprio Ausubel (o que não invalida sua afirmação).

²⁸ No original em inglês (AUSUBEL; ROBINSON, 1969, P.339): "[...] totally unavailable or available only with great expense and difficulty, for example, close-ups of surgical operations, demonstrations of counseling and classroom teaching, description of remote regions and complex events".

Salientamos aqui, outro ponto que deve ser levado em consideração, especialmente quando se associa animações de modelos 3DV a modelos 3DR, e diz respeito à seqüência e controle das animações.

Em nosso estudo notamos que a navegação não linear pelas animações – os alunos podiam escolher qual botão queriam apertar no modelo independente de ordem pré-estabelecida – nem sempre favorecia a *aprendizagem significativa*. Embora seja interessante permitir ao aluno selecionar aquelas porções das animações que tenha mais dúvida ou curiosidade, a digestão e passagem de alimentos pelo trato digestório segue uma linearidade.

Acreditamos que esse tipo de navegação tenha dificultado aos alunos perceber a ordem dos eventos, e talvez seja mais indicada para um momento posterior no processo de ensino-aprendizagem do tema.

Os processos aos quais se referem os botões devem ser representados de imediato. O tempo transcorrido até que a câmera focasse o órgão de interesse, embora curto em termos absolutos, em média de sete segundos, foi suficiente para que houvesse dispersão durante as aulas, contribuindo de modo negativo para a motivação (condição *sine qua non* para uma aprendizagem significativa). A contextualização da estrutura, motivo pelo qual optamos por iniciar as animações de um ângulo mais afastado, já está sendo feita no momento em que o aluno seleciona o botão ao qual o órgão se refere no modelo 3DR. Esta é justamente uma das principais vantagens de seu uso concomitante.

Outro ponto relevante foi o controle pouco intuitivo sobre a animação recém carregada. Após iniciada a animação, o aluno deveria aguardar o seu término para iniciar outra ou recorrer ao “mouse” para acelerá-la na barra de rolagem do vídeo. Isto gerou certa ansiedade nos alunos que, por vezes, selecionavam equivocadamente um botão cuja animação já havia sido visualizada e tinham que aguardar o seu término.

Uma possibilidade de resolução para o problema seria a adição de botões de controle ao modelo ou sua base, unificando dessa forma a navegação em uma única interface.

6.3.2 Atribuição e controle de ações a partir do Modelo 3DR

A distribuição dos botões no Modelo 3DR se pautou na seqüência de animações, na proporção de um pra um. O duodeno recebeu um botão isolado, embora não seja classificado como um órgão distinto, porque recebe as secreções do fígado e pâncreas, motivo pelo qual

optamos por representar o evento separadamente. Essa separação parece ter contribuído para que os alunos, a exemplo de Fernando, Raissa e Simone, o considerassem como um órgão distinto. Isto pode ser verificado no relato de Simone:

Simone: aí passa por um negócio lá atrás que eu num sei, aí de lá que vai pro intestino, eu esqueci o nome, professor.

Outra ocorrência de confusão quanto à correspondência dos botões foi verificada para o intestino grosso. O órgão apresenta formato alongado com mudança de direção entre cólon ascendente, cólon transverso e cólon descendente. O posicionamento do botão sobre o cólon transverso parece ter criado a impressão de que ele se referia apenas a esse segmento, ou que o evento que seria visualizado nas animações partiria daquele ponto ou de suas imediações. O resultado disso foi a atribuição, durante as atividades em sala e no segundo momento da entrevista final, da localização da valva ileocecal no início do cólon transverso.

Este fato indica a necessidade de sinalização no modelo 3DR ou, no caso de isso não ser possível, no modelo 3DV para a região a que corresponde o botão e aquela à qual está conectado.

6.3.3 Correlação entre elementos dos modelos

Moreira (2006) chama atenção para a importância da utilização de uma diversidade de materiais para o ensino visando à aprendizagem significativa. Essa diversidade, por sua vez, implica em representações distintas de um mesmo tema.

Os modelos com os quais trabalhamos eram diferentes entre si, não apenas no que diz respeito às características inerentes de cada modo de representação, mas também no que se refere aos elementos representados, suas cores, texturas e posições.

Correlação de cor, textura e posição

Os modelos 3DR e 3DV apresentavam elementos análogos para os principais órgãos do sistema digestório, mas com cores, texturas e posições distintas. A maior diferença relativa se

deu para o pâncreas que no modelo 3DR era esbranquiçado (Figura 4J), e no modelo 3DV, amarelado (Figura 4B).

Verificamos que durante as atividades, os alunos tiveram dificuldade em relacionar as estruturas, não reconhecendo o pâncreas nas animações, mesmo quando estas eram seguidamente repetidas.

Supressão no modelo 3DV de estruturas presentes no 3DR

O modelo 3DV era composto basicamente por sistema esquelético e digestório. O circulatório, muscular, tegumentar, nervoso, imunológico, endócrino, respiratório, reprodutor e urinário não estavam representados. O modelo 3DR representava, ao menos em parte, todos estes sistemas, com uma gama muito maior de órgãos.

A supressão no modelo 3DV de estruturas presentes no 3DR fez com que os alunos tivessem dificuldades ao tentar relacioná-los. Isto foi verdade para Fernando, Raissa e Sofia, que associaram as veias ao transporte de alimentos (tópico 6.1.1). O baço, no modelo 3DR, também foi apontado por Fernando como correspondendo ao pâncreas.

Relacionando elementos estáticos do Modelo 3DR aos dinâmicos no Modelo 3DV

Embora as diferenças de representação impliquem algumas dificuldades em se relacionar estruturas, os alunos em sua totalidade afirmaram que a utilização conjunta facilitava o entendimento. Dentre os principais fatores apontados está a representação dinâmica no Modelo 3DV de órgãos que são apresentados estaticamente no Modelo 3DR:

Alexandra: o que eu fiz no papel foi porque eu lembrava da animação que a gente tinha assistido, senão eu não tinha a menor noção (...) aqui ele mostra o caminho certinho, né? e:: mas aí a gente tem que ver aqui ((apontando para o modelo 3DR)) porque olhando só aqui não vai saber, né? ((apontando para o modelo 3DV)).

Carlos: os dois, porque aqui você não sabe o que tá fazendo, né? ((apontando para o Modelo 3DR)), aqui você sabe o que tá fazendo ((apontando para o Modelo 3DV)).

Fernando: os dois junto é melhor, entendeu? Porque você tem dúvida, as vezes mexe aqui ((apontando para o botão no Modelo 3DR)) cê vai ver o processo todinho ali ((apontando para o Modelo 3DV)) /.../ agora o mais difícil é aquela só falada /.../.

Raissa: a vantagem desse é que você vê os processos ((apontando para o Modelo 3DV)), e a vantagem desse daqui porque você vê como é o *design* do seu corpo ((apontando para o Modelo 3DR)).

Ricardo: é a mesma coisa só que ali ((apontando para o Modelo 3DV)) explica melhor (...) melhor usar os dois juntos.

Simone: aqui eu to vendo uma:: imagem ((apontando para o Modelo 3DR)), ali ele roda ((apontando para o Modelo 3DV)), vê embaixo, atrás, assim:: o movimento da comida passando:: aqui ((apontando novamente para o modelo 3DR)) eu to vendo estático né?

Sofia: /.../ esse aqui é melhor porque ele mostra como que tá acontecendo ((apontando para o Modelo 3DV)), e esse porque a gente vê de perto, pode pegar, que mostra tudo ((apontando para o modelo 3DR)) (...) o vídeo mostra mais como acontece, o que tá acontecendo. Porque ele vai mexendo, vai mostrando como é que o alimento entra:: como é que ele é triturado /.../ da onde vem a saliva aqui ((apontando para o Modelo 3DV)).

Tereza: /.../ no computador você vê acontecendo, mas os dois são legal.

6.4 COMUNS A MODELOS 3DR E 3DV

Como características comuns aos modelos 3DR, 3DV e à utilização concomitante de ambos, temos: (a) *aumento da motivação*; (b) *possibilidade de utilização em grupo*; e (c) *níveis de complexidade e interpretação*.

6.4.1 Aumento da motivação

De acordo com Ausubel (1968), independente de quão potencialmente significativo possa ser o material, se a intenção do sujeito for a memorização literal e arbitrária, a aprendizagem

será mecânica. Moreira (2006) reforça esse ponto de vista ao afirmar que a *pré-disposição do sujeito para aprender* é um dos principais fatores que limitam a aprendizagem significativa.

A utilização de modelos 3DR tem mostrado maior grau de satisfação, por parte dos alunos, quando comparado, por exemplo, à utilização de peças cadavéricas para o estudo de anatomia (PORTUGAL *et. al.*, 2011).

Embora não tenhamos feito um estudo comparativo com peças cadavéricas ou aulas tradicionais (utilizando quadro negro e as figuras do livro didático), os relatos dos alunos indicam uma boa aceitação para o uso de modelos 3DR e 3DV em sala de aula:

Alexandra: nossa, super legal, interessante (...) fica bem fácil de você saber direitinho como é que funciona.

Carlos: a figura também você aprende, mas aqui é melhor (...) aqui tá tudo:: tá mostrando tudo aqui ((apontando para o modelo 3DR)) você tem aqui o coração, tem aqui o estômago, tem o intestino delgado, tem o intestino grosso, tem o:: fígado, tem o:: pâncreas /.../

Fernando: /.../ se tivesse essa aula diretamente você aprenderia bem mais rápido, né? Porque aqui você tá vendo as coisa, entendeu? ((apontando para o modelo 3DR)) (...) porque aula falada é falar, né? Você não tá vendo, não tá tocando, entendeu? Cê tá só ouvindo, e aqui não, cê tá:: além de cê tá falando cê tá vendo aqui o processo todinho ((apontando para o Modelo 3DV)) /.../

Raissa: não dava pra ter idéia de que tudo que a gente come passa por um processo (...) melhor assim porque assim você sabe por onde passa tudo que você come, o que acontece com o que você joga pra dentro.

Ricardo: interessante né? que dá prazente entender (...) aqui você vê melhor, uai. Todas parte do corpo (+) acho que a informação é melhor sobre o corpo da gente

Simone: eu prefiro:: visualizando mesmo, pegando:: (...) acho que ajuda sim, acho que a mente quando você olha é diferente de:: você só ouvir, se o professor tá falando ah, isso é aqueles negócio, aí você fica só assim, tentando imaginar como que seria aquilo.

Sofia: é melhor no modelo né? a aula fica mais:: é melhor de entender (...) no modelo a gente vê como que tá acontecendo o processo por dentro da gente e sem o modelo a gente só vê:: o professor falando aí fica mais:: difícil de imaginar como é que passa

Tereza: achei ótimo os dois junto.

6.4.2 Possibilidade de utilização em grupo

A utilização em grupo dos modelos apresentou pontos positivos e negativos. Como aspectos positivos temos a troca de informações entre os alunos, que traziam relatos de suas experiências, o que mostrou ser um auxílio à memória em alguns casos. Este foi o caso para Alexandra, que ao tentar recordar uma estrutura visualizada utilizou o relato da amiga:

Alexandra: /.../ aí quando a gente come, ele solta aquele liquidozinho que vai pelo:: intestino delgado, né? No caso, ele não entra no estômago não. E a comida já sai do estômago, aí quando ela vai descer pro intestino delgado aí ele solta o liquidozinho, né? No:: como é que chama? Aquele liquidozinho lá, amargo lá, esqueci o nome, que fica junto com o fígado, é a:: esqueci (+) que a menina até fez cirurgia lá. Eu que esqueci o nome.

Maurel e Bertacchini (2008) chamam atenção para este fenômeno ao afirmar que a utilização de modelos 3DR pode se dar de modo colaborativo e interativo, e promovendo o estreitamento de relações interpessoais na expressão de conhecimento. Este fenômeno é corroborado pelo relato de alguns alunos, como Raissa:

Raissa: acho que com a turma toda, porque com a turma toda você pode aprender com o colega. Aprender com o que o colega tá falando.

Como principal aspecto negativo temos a impossibilidade de interação com o modelo a todo momento, uma vez que a seleção das animações obedecia às preferências de um usuário de cada vez. Dessa forma, quando um aluno selecionava uma animação, o outro devia esperar até que esta fosse terminada para só na próxima rodada visualizar a que desejava. O relato de Carlos expressa bem esse sentimento:

Carlos: mexendo só é muito melhor (...) na aula junto você pega menos. Se tiver aprendido um poquinho lá naquela aula e você vendo aqui você aprende tudo.

6.4.3 Níveis de complexidade e interpretação

De modo geral, consideramos os modelos com um nível de complexidade e interpretação de médio a médio-alto para os estudantes, dentro do espaço-design concebido por Sharpe, Lumsden e Woolridge (2008), ilustrado na Figura 1.

Os alunos, no geral, tiveram dificuldade de significar boa parte dos órgãos do modelo 3DR, especialmente aqueles que não foram trabalhados em sala. A presença de estruturas como veias e artérias na região do pescoço parece ter sido um problema para Fernando, Raissa e Sofia na identificação do esôfago.

Fernando, em particular, elaborou uma imagem mental dessa região cheia de caminhos sem significado para ele, o que teve influência em seu desenho e aprendizagem (vide tópico 6.1.1).

As conexões entre os órgãos exigiram maior nível de interpretação, uma vez que não eram mostradas de forma clara, exigindo dos alunos que fizessem inferências à partir do posicionamento dos órgãos. Estas inferências nem sempre eram feitas de modo correto, resultando numa alta incidência de aprendizagem mecânica. Isto foi igualmente verdade para regiões não representadas como a faringe.

Para o Modelo 3DV o maior nível de complexidade residiu nas representações das secreções do fígado, vesícula e pâncreas que tiveram um baixo nível de aprendizagem significativa.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nosso estudo aponta para a possibilidade de utilização concomitante de modelos 3DR e 3DV no ensino de biologia. Para que essa abordagem seja capaz de promover a *aprendizagem significativa*, contudo, é necessário que os preceitos desse tipo de ensino sejam levados em consideração, bem como as particularidades de cada um desses modelos e de sua associação.

Uma experiência de aplicação para o ensino de anatomia e fisiologia do sistema digestório, em uma turma de EJA da região administrativa de Ceilândia (DF), foi relatada e analisada. Embora se vislumbre a possibilidade de uso dessa abordagem, as representações dos alunos ao final das atividades em sala mostraram indícios de aprendizagem exclusivamente mecânica para diversos aspectos do referido sistema, com grande influência de interferências pró e retroativas.

As principais características que mostraram afetar as representações mentais desses alunos foram: (a) predominantes no Modelo 3DR - *indicação de volume e sobreposição de elementos, fragmentação de um mesmo órgão, e indicação discreta de conexões entre órgãos*; (b) específicas do Modelo 3DV - *enquadramento da cena e mudanças de ângulo de câmera, uso de transparência, velocidade da animação e volume de partículas, e movimento não relacionado ao fenômeno representado*; (c) específicas do uso concomitante - *seqüência e controle de animações, atribuição e controle de ações a partir do Modelo 3DR, e correlação entre elementos dos modelos*; e (d) comuns a Modelos 3DR e 3DV - *aumento da motivação, possibilidade de utilização em grupo, e níveis de complexidade e interpretação*. A maior parte das características citadas pode ser facilmente modificada para facilitar o entendimento e interação.

No caso dos modelos 3DR, a escolha de materiais apropriados (que sejam flexíveis e que possam representar a continuidade do trato digestório), a possibilidade de supressão de órgãos que não serão utilizados em um dado momento (tornando-os menos complexos), e a indicação consistente de seus aspectos tridimensionais, estão entre as possibilidades de aperfeiçoamento.

Os modelos 3DV, por sua vez, devem utilizar mudanças de ângulo de câmera e transparências com parcimônia, enquadrando as cenas sem perder a idéia do todo, representando apenas os aspectos dinâmicos que possuem ligação direta com o fenômeno, e da maneira mais fiel possível, pois podem ser interpretados como equivalentes àqueles do mundo real.

Quando utilizados de maneira concomitante, deve-se facilitar o controle das animações, preferencialmente com botões posicionados diretamente sobre o modelo 3DR (tornando a interface mais direta e intuitiva). Os elementos do modelo 3DV devem ter características visuais similares às do modelo 3DR para facilitar o entendimento. Por fim, as atribuições de ações a partir do Modelo 3DR devem, idealmente, permitir a identificação clara do órgão ou região que se está selecionando.

Ressaltamos aqui o caráter experimental da interface física, que pode ter seus botões embutidos no modelo 3DR, quando de sua fabricação, ou mesmo prescindir de botões, caso seja utilizado mecanismo de reconhecimento de *Realidade Aumentada* (RA). Este tipo de abordagem, contudo, exige a utilização de máquinas com maior capacidade de processamento, a utilização de uma câmera de vídeo e de marcadores. Este último pode ser dispensado futuramente à medida que os *softwares* de reconhecimento são aperfeiçoados.

Aspectos não relacionados aos modelos de forma direta, mas que devem ser considerados, incluem: abordagem funcional para todas as etapas do processo digestório, incluindo-se aqueles em escala microscópica; papel do professor como mediador, explicando e contextualizando os modelos; e ensino englobando os sistemas circulatório, respiratório e urinário.

No que diz respeito às metodologias utilizadas para o estudo das representações mentais, destacamos a importância do uso da entrevista aliada aos desenhos. Em nossas observações, nem sempre aquilo que se via nos desenhos era condizente com as concepções dos alunos, e, por vezes, aquilo que não estava desenhado mas que se encontrava na estrutura cognitiva do sujeito, foi o mais relevante na análise.

Além dos modos verbal e gráfico-pictóricos, outros modos de representação podem ser utilizados para tentar acessar o que os alunos imaginam. Para alunos que não possuem grande desenvoltura com o papel, pode ser uma alternativa viável a utilização do modo gestual, como foi feito para Sofia em certos momentos.

Quanto à análise das representações mentais, chamamos atenção para seu aspecto plural. Os alunos, na maior parte das vezes, se valem de mais de uma representação para resolver um único problema. Essa característica não costuma ser levada em consideração nos estudos sobre o tema, nos quais é frequentemente visto um esforço em classificá-las em categorias estanques e únicas.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, Marcelo M.; LAMOUNIER, Joel A.; COLOSIMO, Enrico A. Prevalência de sobrepeso e obesidade em crianças e adolescentes das regiões Sudeste e Nordeste. **Jornal de Pediatria**, p. 335-340, 2002.

ACLAND'S VIDEO ATLAS OF HUMAN ANATOMY. **Anatomy in Real-Life 3D**. Disponível em: <<http://aclandanatomy.com>>. Acesso em: 15 set. 2011.

AMARAL, Sandra Regina; COSTA, Fabiano Gonçalves. **Estratégias para o Ensino de Ciências: Modelos Tridimensionais - uma nova abordagem no ensino do conceito de célula**. 2010. 22 f. Trabalho de conclusão de curso (Programa de Desenvolvimento Educacional) - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2010.

AMON, Tomaz. Web3D – a Tool for Modern Education in Biology. **WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine**. v. 7, n. 3, p. 200-222, 2010.

ANATOMIC. Disponível em: <<http://www.anatomic.com.br/>>. Acesso em: 10 jun. 2011.

ANDRÉ, Marli Eliza Dalmazo Afonso. **Estudo de caso em Pesquisa e Avaliação Educacional**. 3 ed. Brasília: Líber, 2008. 68 p.

ARAÚJO-JORGE, Tania C. *et. al.* Microscopy Images as Interactive Tools in Cell Modeling and Cell Biology Education. **Cell Biology Education**, v. 3, p. 99–110, 2004.

AUSUBEL, David P. **Educational Psychology: a Cognitive View**. New York: Holt Rinehart and Winston, 1968. 685p.

AUSUBEL, David P. **The Acquisition and Retention of Knowledge: A Cognitive View**. 2. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2010. 210 p. (original de 2000).

AUSUBEL, David P.; ROBINSON, Floyd G. **School Learning: an Introduction to Educational Psychology**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1969. 691p.

AUTODESK MAYA PRESS. **The Art of Maya: An Introduction to 3D Computer Graphics**. 4. ed. San Rafael, EUA: Autodesk, 2007. 256 p.

BANET, E.; NUÑEZ, F. Ideas de los alumnos sobre la digestion: aspectos anatomicos. **Enseñanza de las ciencias**. v. 6, n. 1, p. 30-37, 1988.

BELL, Beverly; FREYBERG, Peter. El lenguaje en la clase de ciencias. In: OSBORNE, Roger; FREYBERG, Peter. **El Aprendizaje de las Ciencias: influencia de las "ideas previas" de los alumnos**. Madrid: Narcea, 1998. 305 p. (original de 1991).

BLUNDELL, Barry G. **An Introduction to Computer Graphics and Creative 3-D Environments**. Londres: Springer-Verlag, 2008. 501p.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, lei nº 9394 de 1996**. Estabele as diretrizes e bases da educação nacional. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/lei9394_ldbn1.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2011.

_____. Câmara de Educação Básica do Conselho Nacional de Educação. **Resolução CNE/CEB nº 1, de 5 de Julho de 2000**. Estabelece as Diretrizes Curriculares nacionais para a Educação de Jovens e Adultos. Disponível em: Acesso em: 3 jul. 2011.

_____. Câmara de Educação Básica do Conselho Nacional de Educação. **Resolução CNE/CEB nº 3, de 15 de janeiro de 2010**. Institui as Diretrizes Operacionais para a Educação de Jovens e Adultos nos aspectos relativos à duração dos cursos e idade mínima para ingresso nos cursos de EJA; idade mínima e certificação nos exames de EJA; e Educação de Jovens e Adultos desenvolvida por meio da Educação a Distância. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br>>. Acesso em 23 Abr. 2012.

_____. Câmara de Educação Básica do Conselho Nacional de Educação. **Resolução CNE/CEB nº 2, de 30 de janeiro de 2012**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br>>. Acesso em 23 Abr. 2012.

CASTIONI, Remi. Educação e inserção ocupacional no Distrito Federal e na Região Administrativa de Ceilândia. In: ANGELIM, M. Luiza; BRUZZI, Rita; CASTIONI, Remi; HILÁRIO, Renato; TELES, Lucio. **PROEJA-Transiarte: aproximar escolas e construir novos sentidos para a educação de jovens e adultos trabalhadores**. Brasília: Editora Verbena, 2011.

DERAKHSHANI, Dariush. **Introducing Maya 2009**. Indianapolis: Wiley, 2009. 603 p.

ECOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE. **Visible Human Server**. Disponível em: <<http://visiblehuman.epfl.ch/index.php>>. Acesso em: 09 jan 2012.

EL-KHALILI, Nuha. 3D Web-Based Anatomy Computer-Aided Learning Tools. **The International Arab Journal of Information Technology**. v. 2, n. 3, p. 248-252, 2005.

ESTEBAN, M. Paz Sandín. **Pesquisa Qualitativa em Educação: fundamentos e tradições**. Porto Alegre: AMGH, 2010. 268 p.

GASKELL, George. Entrevistas Individuais e Grupais. In: BAUER, Martin W.; GASKELL, George. **Pesquisa Qualitativa com Texto, Imagem e Som: um manual prático**. 7. ed. Petrópolis: Vozes, 2008. 516 p.

GILBERT, John K.; BOULTER, Carolyn J. **Developing Models in Science Education**. Dordrecht, Holanda: Kluwer academic Publisherrs, 2000. 389 p.

GILBERT, John K.; BOULTER, Carolyn J.; ELMER, Roger. Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In: GILBERT, John K.; BOULTER, Carolyn J. **Developing Models in Science Education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisherrs, 2000. 400 p.

GRECA, Ileana; MOREIRA, Marco Antonio. Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo

electromagnético em alunos de física general, estudantes de postgrado y físicos profesionales. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.1, n. 1, p.95-108, 1996.

HILDEBRAND, Milton. **Análise da estrutura dos vertebrados**. São Paulo: Atheneu, 1995. 700 p.

HIRAYAMA, Makoto J. **A viscoelastic figure model of tongue for understanding speech articulation**. 2004. Disponível em: <http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/ICA-2010/cdromICA2010/papers/p695.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2011.

JOHNSON-LAIRD, Philip N. **Mental Models: Toward a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness**. Cambridge, MA.: Harvard University Press, 1983. 513 p.

JORGE, Maria Manuel de Araújo. **Da epistemologia à Biologia**. Lisboa: Instituto Piaget, 1994. 290 p.

JUSTI, Rosária. Modelos e Modelagem no Ensino de Química: Um olhar sobre aspectos essenciais pouco discutidos. In: SANTOS, Wildson Luiz P.; MALDANER, Aloisio. **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Unijuí, 2010. 368 p.

KINCHELOE, Joe L. O poder da bricolagem: ampliando os métodos de pesquisa. In: KINCHELOE, Joe L.; BERRY, Kathleen S. **Pesquisa em Educação: Conceituando a Bricolagem**. Porto Alegre: Artmed, 2007. 208 p.

KONDO, Daisuke; KIYAMA, Ryugo; TAKAHASHI, Yuzo. Dynamic Anatomical Model for Medical Education using Free Form Projection Display. 2007. Disponível em: <<http://australia.vsmm.org/papers/kondo.pdf>>. Acesso em: 5 mai. 2011.

LÉVY, Pierre. **O que é o virtual?**. São Paulo: Editora 34, 1996. 160 p.

MARCUSCHI, Luiz Antônio. **Análise da Conversação**. São Paulo: Ática, 2006, 96p.

MAUREL, Pierre; BERTACCHINI, Yann. **Conception, Representation & Mediation in Participatory Land Planning Projects: 3D Physical Models Artefacts**. 2008. Disponível em: <<http://hal-agroparistech.archives-ouvertes.fr/docs/.../MT2008-PUB00025201.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2011.

MILGRAM, Paul. A taxonomy of mixed reality visual displays. **IEICE Transactions on Information Systems**, v. E77-D, n.12, 1994.

MONTEIRO, Bruno S. *et. al.* AnatomI 3D: Um Atlas Digital Baseado em Realidade Virtual para Ensino de Medicina. 2006. Disponível em: <http://www.de.ufpb.br/~labteve/publi/2006_svr1.pdf>. Acesso em 2 jul. 2011.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999. 130p.

MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elcie, F. S. **Aprendizagem significativa: a Teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982. 112p.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa**: da visão clássica à visão crítica. 2006. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/visaoclasicavisaocritica.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2011.

MOREIRA, Marco Antônio. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 2006b. 186p.

MOREIRA, Marco Antonio; KREY, Isabel. Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Gauss em nível de física geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 353-360, 2006.

MOREIRA, Marco Antonio; LAGRECA, Maria do Carmo Baptista. Representações Mentais dos Alunos em Mecânica Clássica: Três Casos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 3, n. 2, p. 83-106, 1998.

MOREIRA, Marco Antonio. Modelos Mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**. v.1, n.3, p.193-232, 1996.

NOGUEIRA, Maria Inês *et. al.* 3D Pet Boneco: Criatividade e Ação quando explorando o Tema Água e Corpo Humano. **The Hands-on Science Network**, p. 1-5, 2008.

NICHOLSON, Daren T. *et. al.* Can virtual reality improve anatomy education? A randomised controlled study of a computer-generated three-dimensional anatomical ear model. **Medical Education**, n. 40, p. 1081–1087, 2006.

OLIVEIRA, Silmara Sartoreto. Concepções alternativas e ensino de biologia: como utilizar estratégias diferenciadas na formação inicial de licenciados. **Educar**, n. 26, p. 233-250, 2005.

OLRY, Regis. Wax, Wooden, Ivory, Cardboard, Bronze, Fabric, Plaster, Rubber and Plastic Anatomical Models: Praiseworthy Precursors of Plastinated Specimens. **J Int Soc Plastination**, v. 15, n. 1, p. 30-35, 2000.

ORLANDO, Tereza Cristina *et. al.* Planejamento, Montagem e Aplicação de Modelos Didáticos para Abordagem de Biologia Celular e Molecular no Ensino Médio por Graduandos de Ciências Biológicas. **Revista Brasileira de ensino de bioquímica e biologia molecular**, n. 1, 2009.

PALMERO, Maria Luz Rodríguez; ACOSTA, Javier Marrero; MOREIRA, Marco Antonio. La teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird y sus principios: una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del curso de orientación universitaria. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.6, n.3, p. 243-268, 2001.

PALMERO, Maria Luz Rodríguez. La célula vista por el alumnado. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 229-246, 2003.

PARDEW, Les; SEEGMILLER, Don. **Mastering Digital 2D and 3D Art**. Boston, MA: Thomson Course Technology PTR, 2005. 328 p.

PARKER, Steve. **O livro do corpo humano**. São Paulo: Ciranda Cultural, 2007. 256 p.

PATNODE, Jason. **Character Modeling with Maya and ZBrush: Professional Polygonal Modeling Techniques**. Burlington: Elsevier, 2008. 400p.

PIXOLOGIC. **ZBrush Overview**. Disponível em: <http://www.pixologic.com/zbrush/features/01_UI/>. Acesso em: 20 mai. 2011.

PORTUGAL, Hélio Sérgio Pinto *et. al.* Modelo Pélvico Sintético como uma Ferramenta Didática Efetiva Comparada à Pelve Cadavérica. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 35, n. 4, p. 502-506, 2011.

QUEIROZ, Danielle Teixeira; VALL, Janaina; SOUZA, Ângela Maria Alves; VIEIRA, Neiva Francenely Cunha. Observação Participante na Pesquisa Qualitativa: conceitos e aplicações na área da saúde. **Revista Enfermagem UERJ**, v. 15, n.2, p.276-283, 2007.

RAPP, David N. **Mental Models: Theoretical Issues for Visualizations in Science Education**. In: GILBERT, John K. *Visualizations in Science Education*. Netherlands: Springer, 2005.

SHARPE, Jason; LUMSDEN, Charles John; WOOLRIDGE, Nicholas. **In Silico: 3D Animation and Simulation of Cell Biology with Maya and MEL**. Burlington, MA: Elsevier, 2008. 622 p.

SIQUEIRA, José Eduardo. De coração para coração: uma conversa entre amigos. **O Mundo da Saúde**, v.31, n. 2, p. 265-272, 2007.

TAUCEDA, Karen Cavalcanti; DEL PINO, José Cláudio. Modelos e outras representações mentais no estudo do DNA em alunos do ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.15, n.2, p. 337-354, 2010.

TELES, Lúcio. **Reconfigurações estéticas virtuais na transiarte**. In: MARTINS, Raimundo. *Visualidade e Educação*. Goiânia: Editora da Universidade Federal de Goiás, 2007.

TRIVIÑOS, Augusto N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 2010.

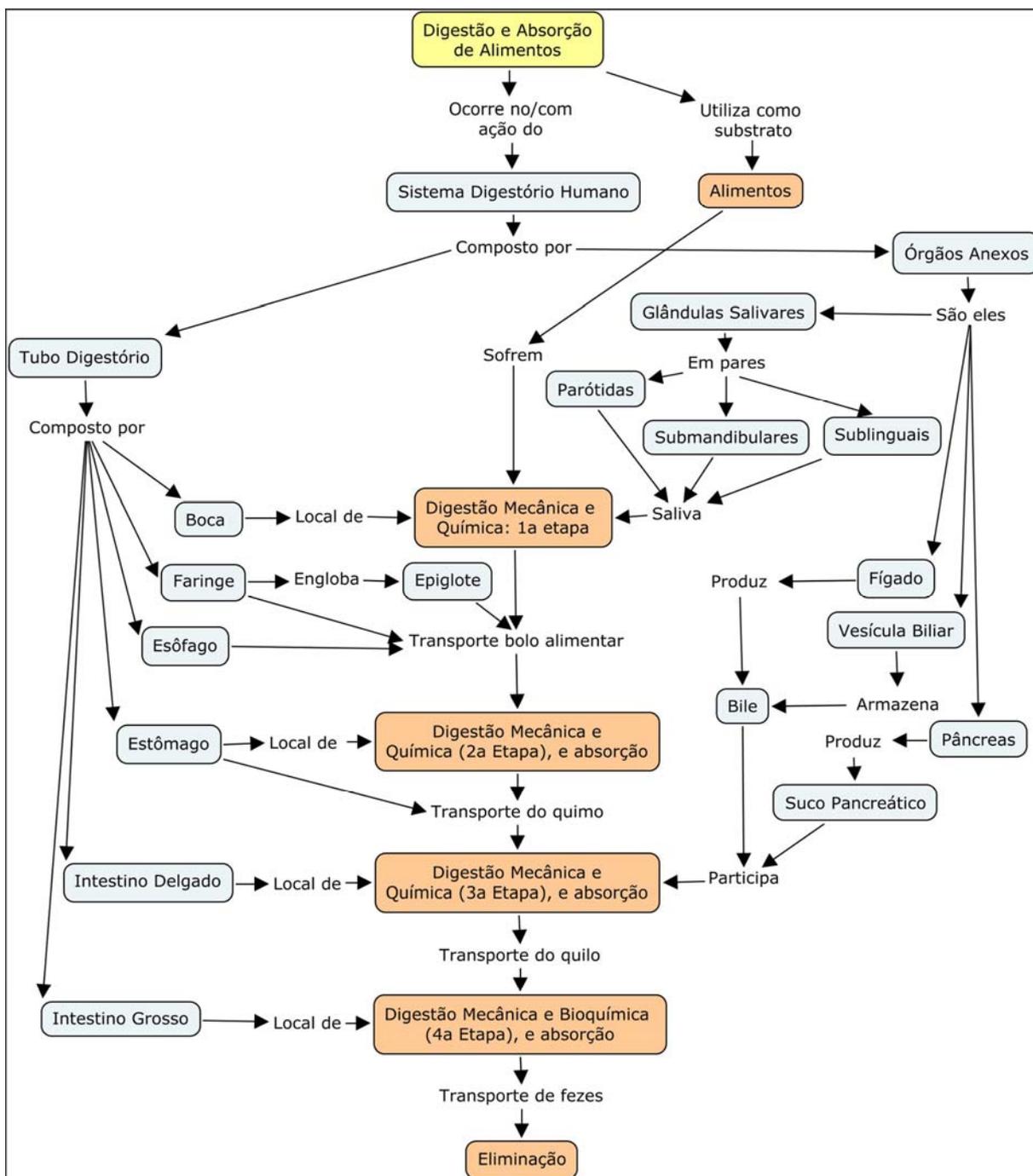
U.S. NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE. **The visible Human Project**. Disponível em: <http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html>. Acesso em: 09 jan. 2012.

VENTURELLI, Suzete; TELES, Lúcio. **Introdução à Arte Digital**. Publicado no Creative Commons. www.creativecommons.com.br.

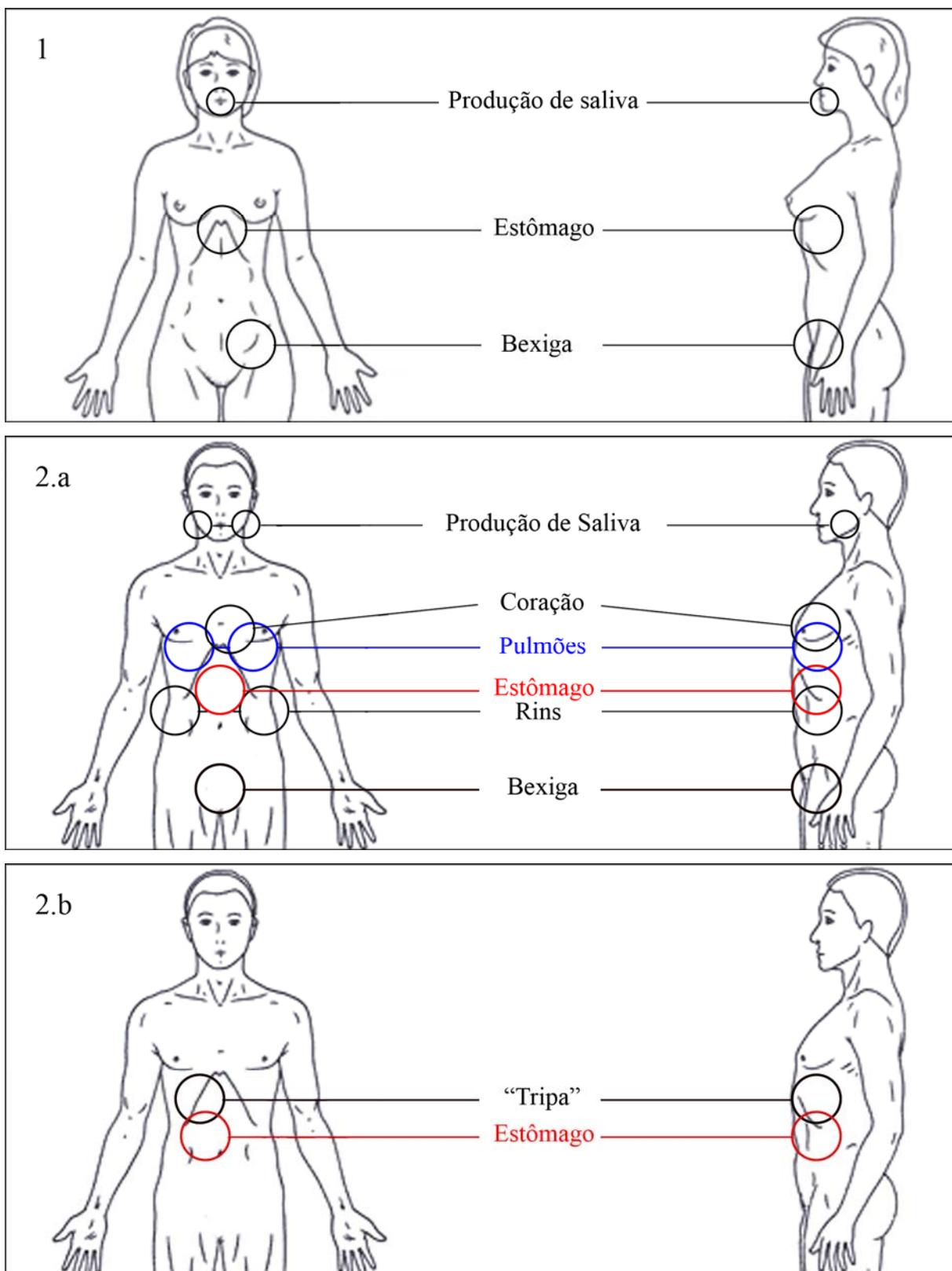
VOSNIADOU, Stella. Mental Models of the Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood. **Cognitive Psychology**. v. 24, p. 535-585, 1992.

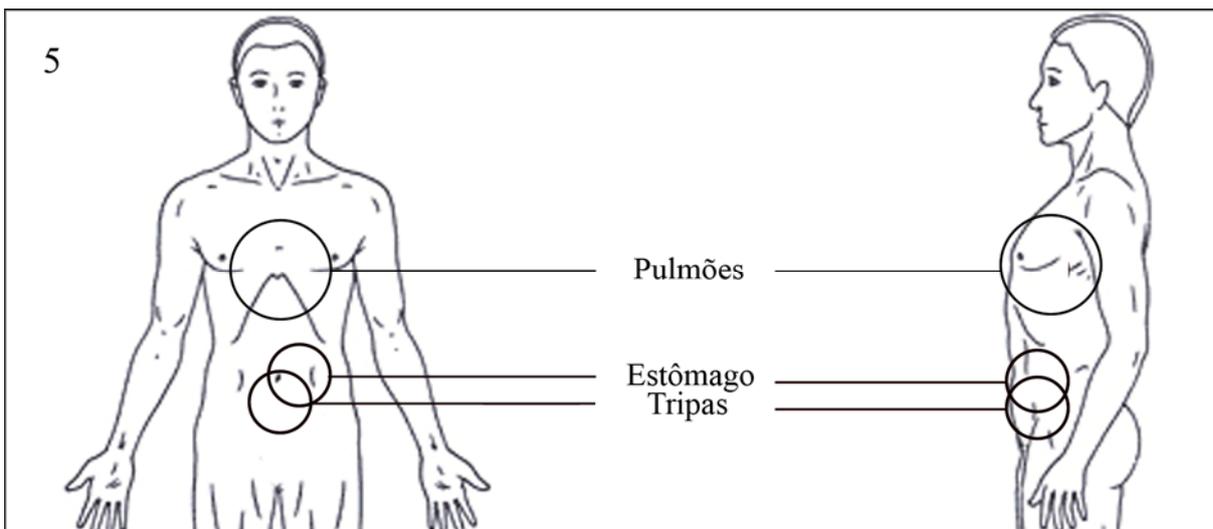
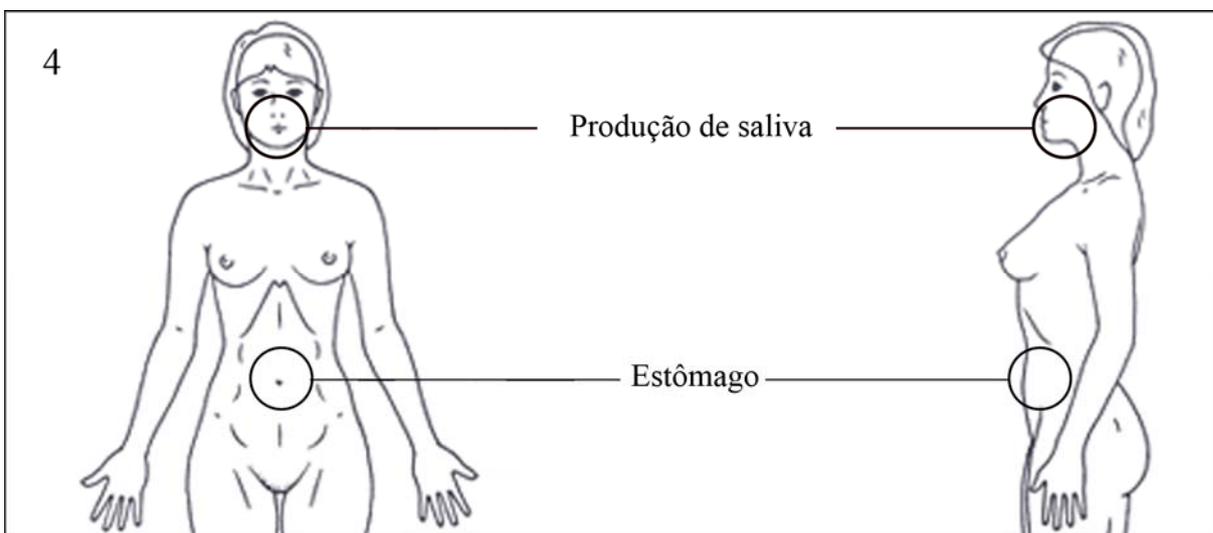
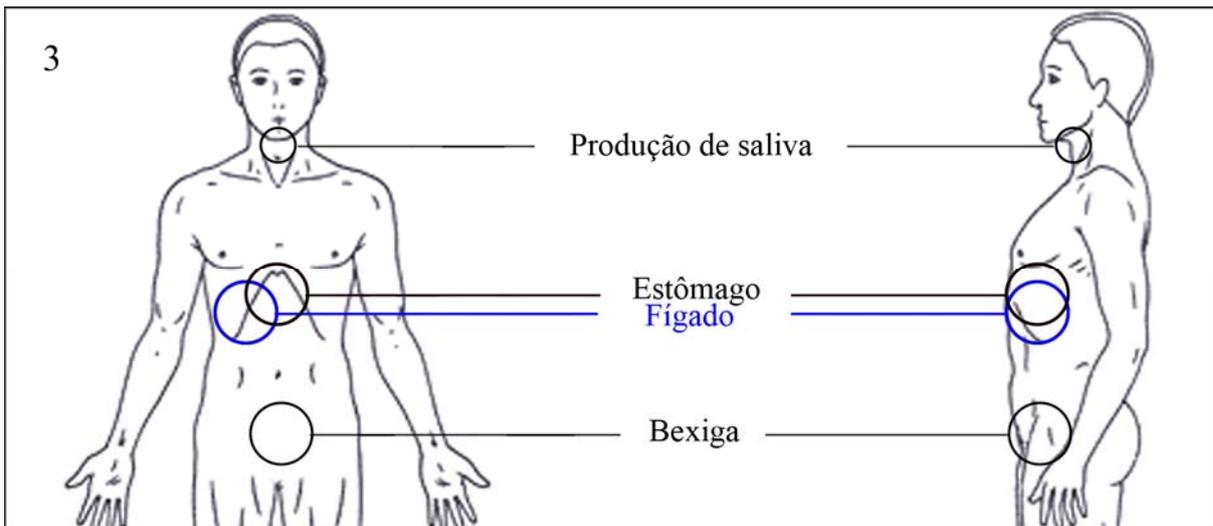
YAMADA, Shigehito *et. al.* Graphic and Movie Illustrations of Human Prenatal Development and Their Application to Embryological Education Based on the Human Embryo Specimens in the Kyoto Collection. **Developmental Dynamics**, n. 235, p. 468 – 477, 2006.

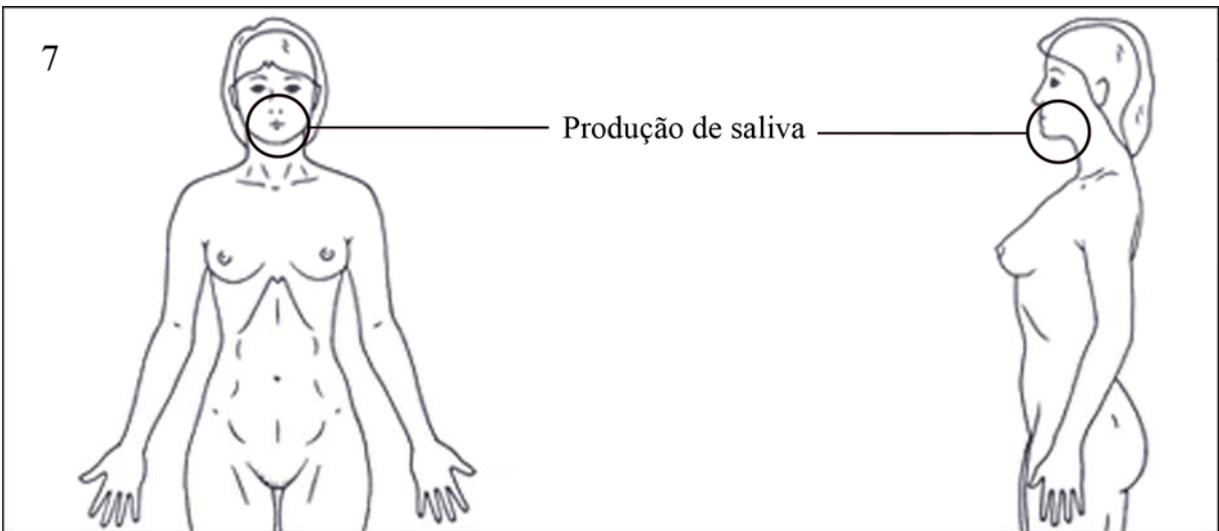
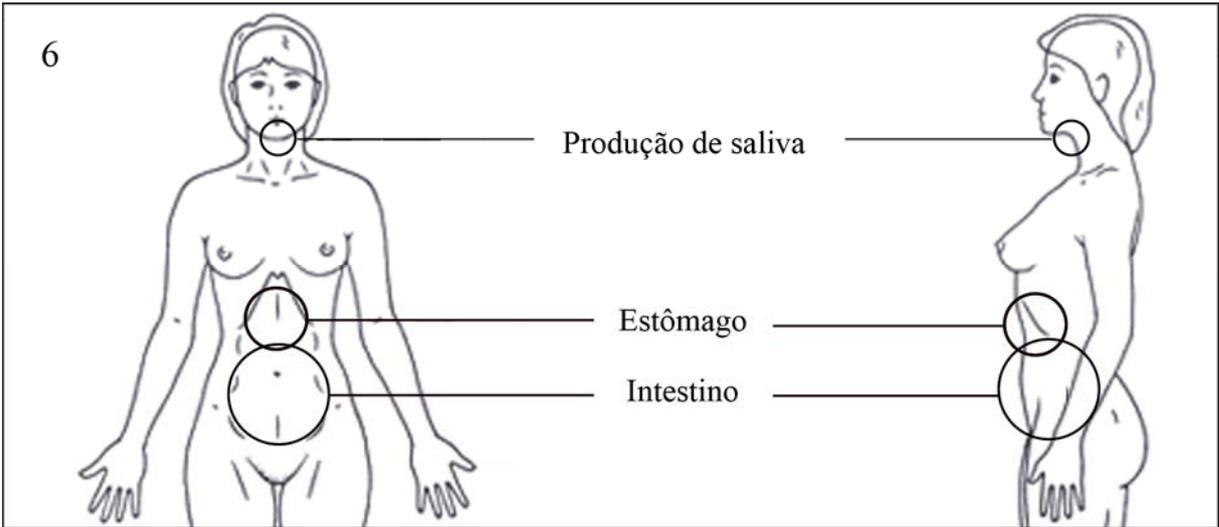
APÊNDICE A - MAPA CONCEITUAL SISTEMA DIGESTÓRIO



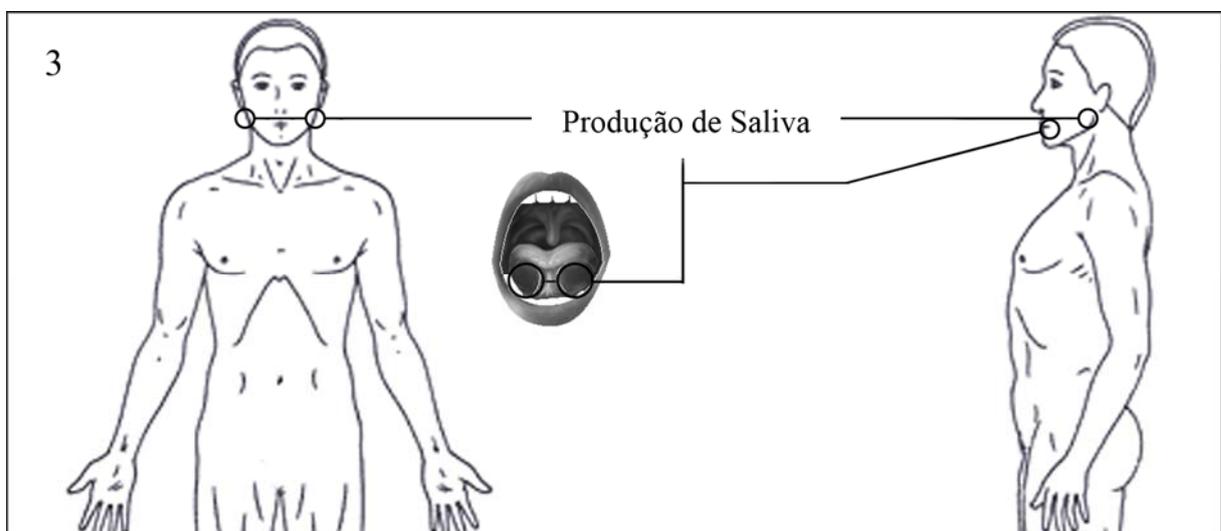
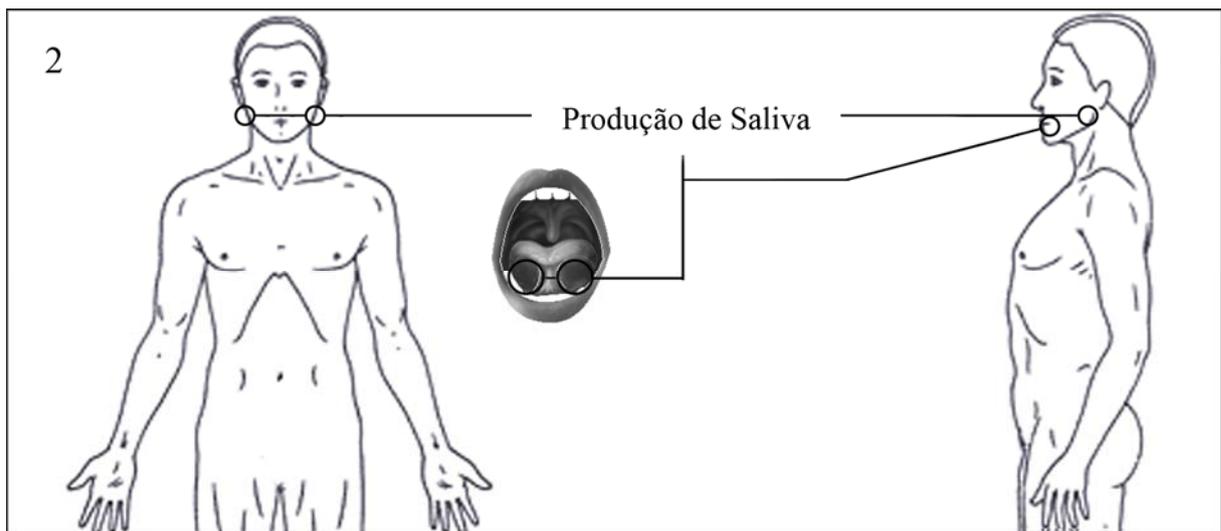
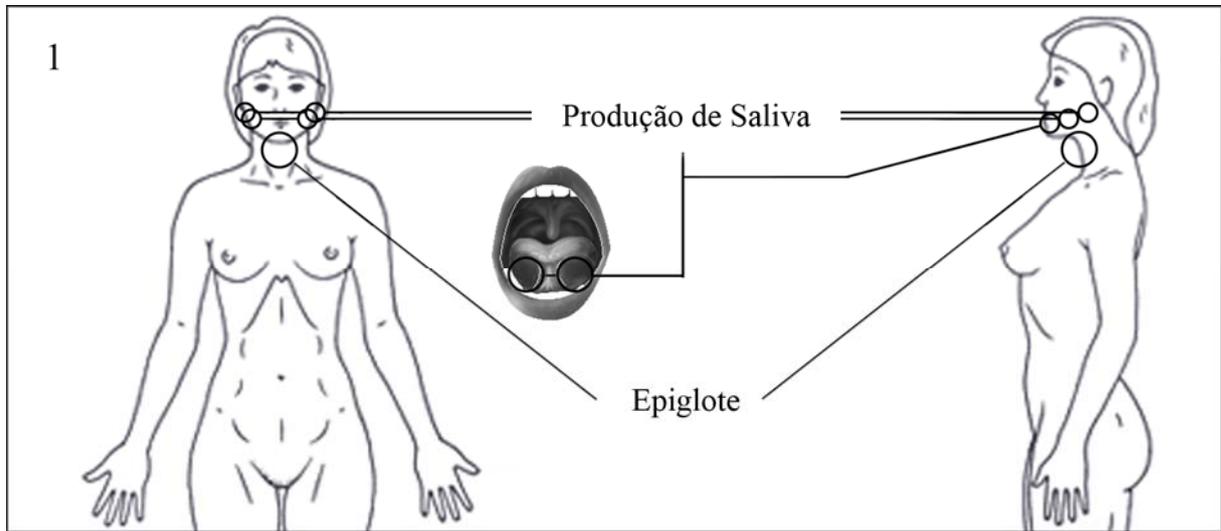
APÊNDICE B - LOCALIZAÇÃO DE REGIÕES NO PRÓPRIO CORPO 1

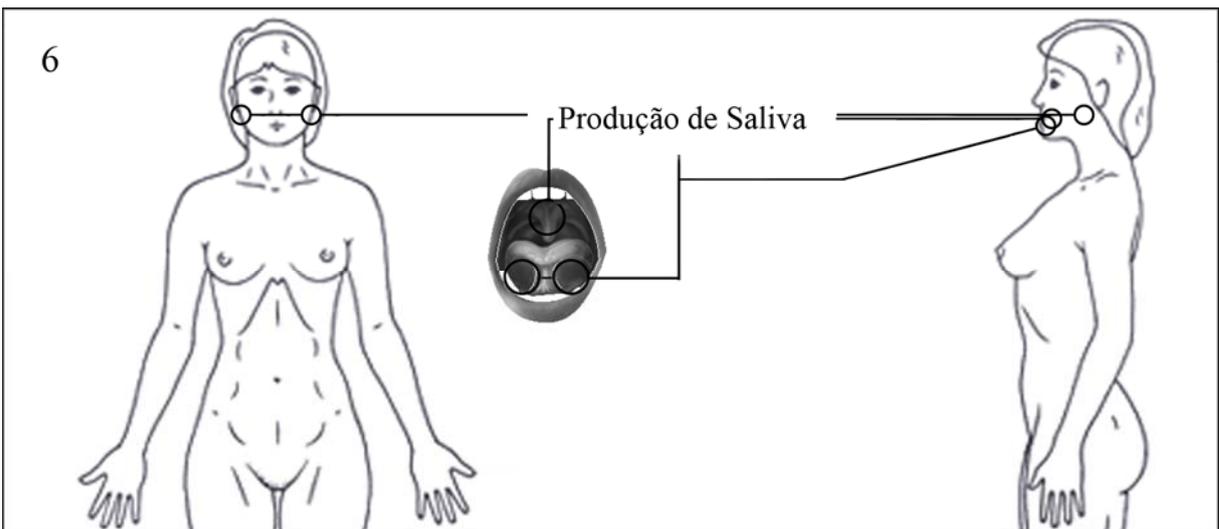
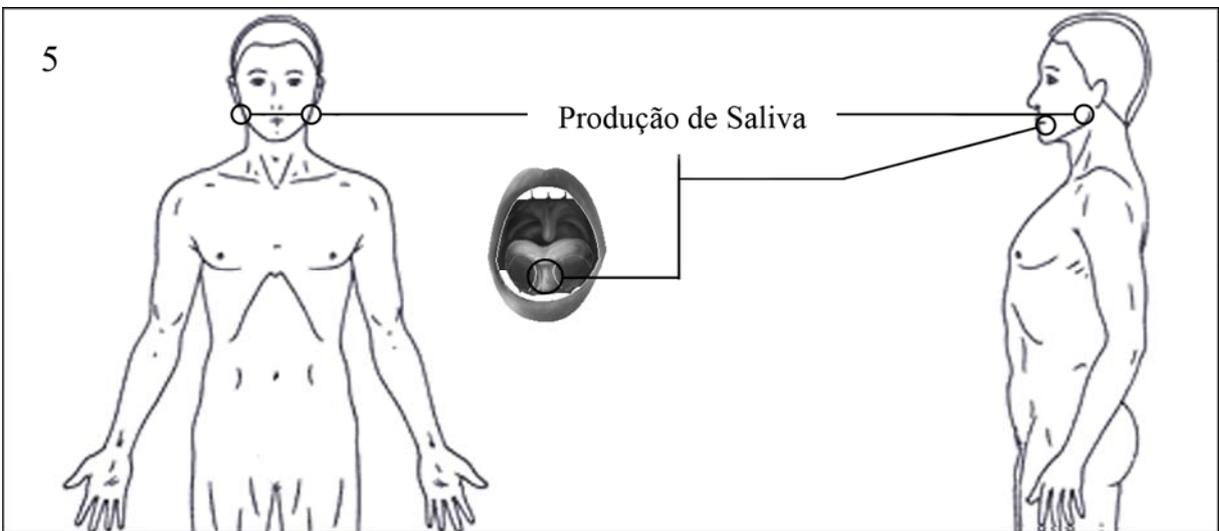
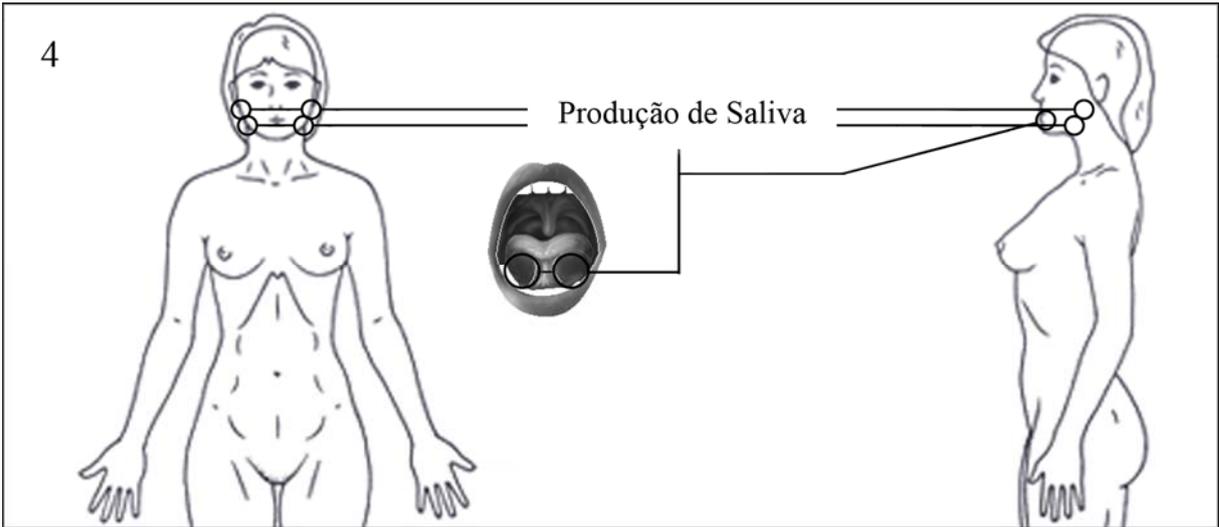


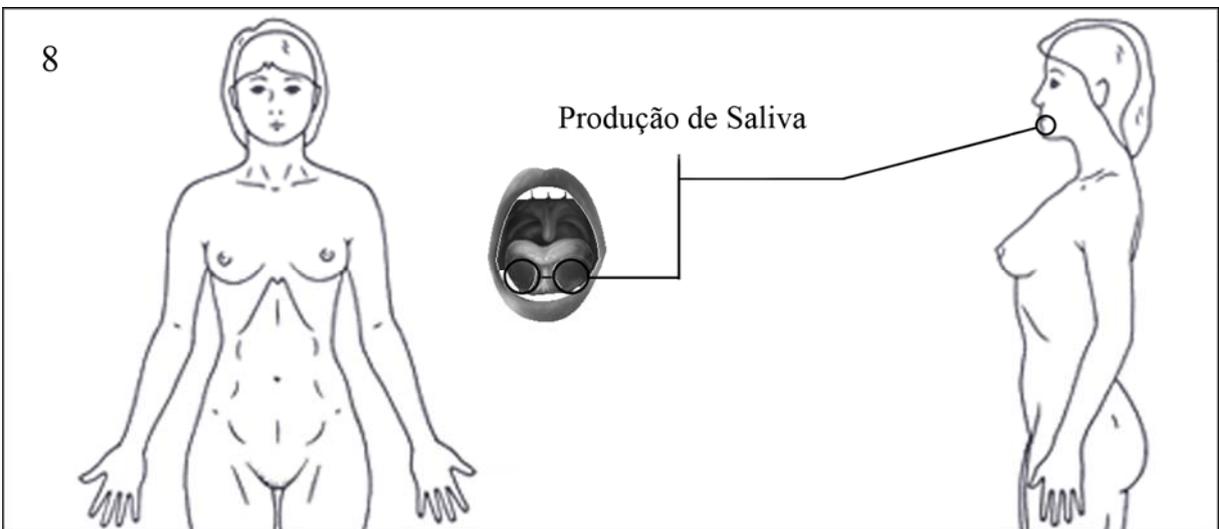
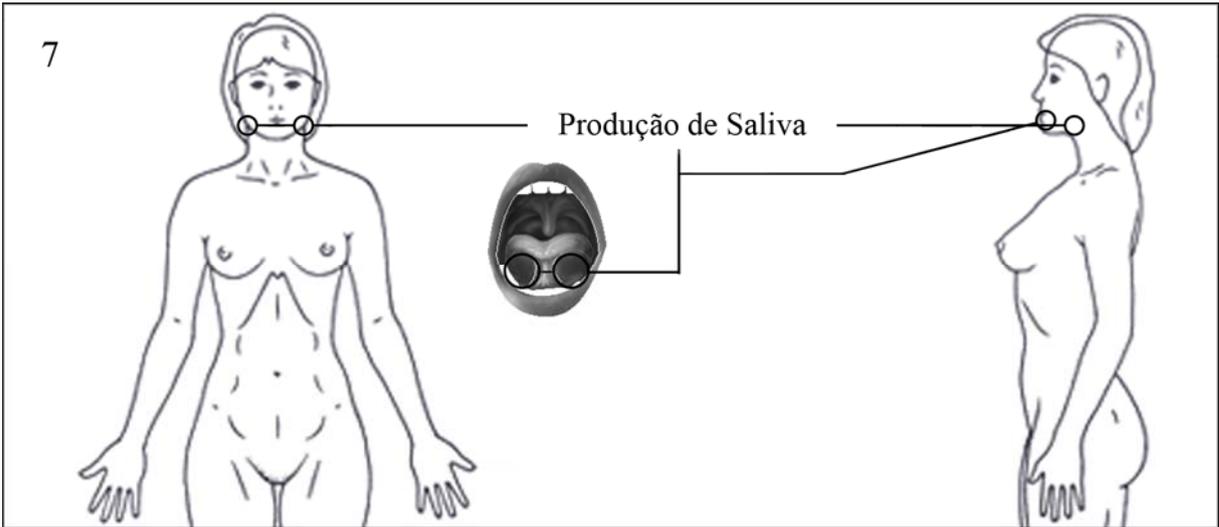




APÊNDICE C - LOCALIZAÇÃO DE REGIÕES NO PRÓPRIO CORPO 2







ANEXO A - SÍMBOLOS USADOS NA TRANSCRIÇÃO DE TRECHOS DAS ENTREVISTAS E DIÁLOGOS

Convenções de transcrição adotadas por Marcuschi (2006):

[[Início de turno simultâneo
[Início de sobreposição de vozes entre locutores em um mesmo turno
(+)	Pausa de até 0,5 segundo (intervalos superiores são indicados com mais de um sinal)
(1,5s)	Pausas superiores a 1,5 segundos são indicadas numericamente
()	Dúvidas e suposições
(())	Comentários do pesquisador
/	Fala interrompida bruscamente
/.../	Corte na transcrição
::	Alongamento silábico
CAIXA ALTA	Maior ênfase ou acento