UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

FABIO MORAES GOIS

**EMOÇÃO, TOMADA DE DECISÃO E MUDANÇA
CONCEITUAL: UM ESTUDO SOBRE CONCEPÇÕES
ALTERNATIVAS E CIENTÍFICAS EM BIOLOGIA**

São Paulo

2014

FABIO MORAES GOIS

Emoção, tomada de decisão e mudança conceitual: um estudo sobre concepções alternativas e científicas em biologia

Dissertação apresentada ao Instituto de
Biotecnologia da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Fisiologia Geral

Orientador: Prof. Dr. Hamilton Haddad Júnior

São Paulo

2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo da Publicação

Instituto de Biociências - Universidade de São Paulo

Gois, Fabio Moraes.

Emoção, tomada de decisão e mudança conceitual: um estudo sobre concepções alternativas e científicas em biologia.

80 p.

Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Fisiologia Geral. 2013.

1. mudança conceitual 2. concepções alternativas 3. ensino de biologia 4. emoção 5. tomada de decisão 6. estresse

Nome: GOIS, Fabio Moraes

Título: Emoção, tomada de decisão e mudança conceitual: um estudo sobre concepções alternativas e científicas em biologia.

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências da
Universidade de São Paulo para obtenção do título de
Mestre em Anatomia

Aprovado em:

Banca Examinadora

Orientador: Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof.(a) Dr.(a) _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof.(a) Dr.(a) _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

*À minha família,
pelo apoio incondicional aos meus estudos e formação.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Hamilton Haddad Júnior, por me orientar e permitir o meu desenvolvimento profissional e pessoal durante a execução desse trabalho. Por se mostrar um parceiro confiável e dedicado no fazer científico. Sua postura e interesse pela ciência me servem de exemplo em minha formação e me incentivaram a buscar sempre novos conhecimentos. Mais do que isso, espero poder contar com sua amizade e parceria por muitos anos.

Ao Prof. Dr. Guilherme Brockington, por se mostrar disposto a me auxiliar sempre que necessário e por sua empolgação contagiante com a ciência. Obrigado por participar ativamente de meu trabalho como inspirador e como colaborador. Sua participação foi determinante em minha formação.

Ao Prof. Dr. André Frazão Helene e todo o pessoal do Laboratório de Ciências da Cognição pela seção do espaço para a realização dos experimentos e pelas conversas levadas entre um experimento e outro.

Ao pessoal do Laboratório de Neurociência Cognitiva e Aprendizagem, Luana, Charles, Thiago, Fernanda, Dalmo, Ingrid e Vivian o meu muito obrigado pelas discussões, sugestões e críticas no decorrer desse trabalho. Elas foram muito importantes em todo esse processo.

Pai e Mãe, qualquer coisa que eu escreva aqui será insuficiente para demonstrar o quão grato eu sou por todo esforço que vocês sempre fizeram para que eu pudesse chegar até aqui. Creio que eu não tenha noção do quanto vocês se sacrificaram pra que eu pudesse seguir o caminho que escolhi. A vocês toda minha gratidão, admiração e amor.

Ao meu grande irmão Bruno por se tornar o amigo necessário que você se tornou. Ser seu irmão não foi minha escolha, mas tê-lo como amigo é uma escolha que mantenho com alegria. Obrigado por me receber em Mogi sempre com seu enorme sorriso.

À minha vó Maria, que dedicou muito à minha criação e pelo amor e carinho que sempre teve comigo. Obrigado Véia, em breve seu filho será Doutor, como a senhora me disse que gostaria de ver. Mas antes preciso ser Mestre!

Aos amigos de Mogi, que participaram de toda minha trajetória: Kaninha, Bertão, Dente, Rafão, Augustão, Chefe, Dede e todos os outros. A amizade de vocês é inerte ao passar do tempo e à distância que nos separa hoje em dia. Também aos amigos do apê pela companhia em todo esse processo: Leo e Juba, obrigado por tudo.

Aos amigos da Bio USP, em especial ao Safs, K.O., Quarta, Firme, Cabeça, P.H., Kate, Caçula, Trá, Fê, Fer, Cacá, Dani e Samara por serem os companheiros que vocês foram e por terem participação determinante em minha formação como a pessoa que em tornei nesses quase dez anos de convivência.

Ao pessoal do Colégio Claretiano – São Paulo, por me incentivarem a buscar mais e querer mais conhecimento. Com vocês me apaixonei pela profissão de professor. E a vocês devo muito do que sou hoje e de como vejo o mundo. Obrigado Pe. Cláudio, Solange, Estelinha e todos os colegas professores, por serem amigos tão bons pra mim. Também aos meus queridos alunos, dos quais tenho imenso orgulho de ter participado da formação.

Ao pessoal do Joga no Pagode que sempre me ajudou a esquecer dos problemas e relaxar, nos treinos, jogos, sambas ou nas viagens que fizemos jogando pela Bio. A todos vocês, muito obrigado.

À Branquinha, por ser minha companheira de todas as horas e por sua dedicação e carinho para comigo. Obrigado por todas as aulas que você assistiu para me incentivar, por todos os textos que você leu e por estar sempre ao meu lado sendo a alegria e o brilho dos meus dias.

Por fim, ao CNPq e ao programa de pós-graduação em Fisiologia do Instituto de Biociências da USP, pela concessão da bolsa de auxílio financeiro.

RESUMO

GOIS, F. M. Emoção, tomada de decisão e mudança conceitual: um estudo sobre concepções alternativas e científicas em biologia. 2014. (80) f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Concepções alternativas são compreensões não científicas estáveis e bastante resistentes a mudanças, forjadas pela experiência cotidiana dos indivíduos. Pesquisadores têm mobilizado esforços para entender como elas interagem com os conteúdos científicos presentes no contexto escolar e universitário. Tem ficado evidente que a mudança conceitual não depende apenas de processos puramente cognitivos. O ensino capaz de promover verdadeiramente uma mudança conceitual, deve integrar formas de aumentar o engajamento emocional dos estudantes, de modo que esta relação afetiva com o conhecimento faça com que suas crenças e pré-concepções sejam modificadas. Evidências tem demonstrado que processos cognitivos são fortemente influenciados tanto por aspectos racionais quanto emotivos. As emoções, por sua vez, são acompanhadas de marcadores somáticos, isto é, reações corporais fisiológicas, mediadas pelo sistema nervoso autônomo. Segundo alguns autores, elas são fundamentais nos processos de tomada de decisão. O presente estudo teve por objetivo desenvolver uma ferramenta para investigação do processo de mudança conceitual bem como aspectos fisiológicos desse processo. Para tanto, desenvolvemos um questionário que permite diferenciar biólogos de não-biólogos através de seu desempenho e identificamos 5 tipos diferentes de conceitos em biologia, quanto à sua compreensão e adoção. Avaliamos o vínculo afetivo que biólogos e não-biólogos possuem com concepções alternativas e científicas, através da resposta de condutância da pele. Verificamos que os não-biólogos apresentam maiores alterações na resposta de condutância da pele independentemente de estarem visualizando uma concepção alternativa ou científica. Mostramos, também, que questionários de resposta forçada, tão utilizados no ensino em geral, geram aumento da atividade eletrodérmica independentemente da formação do respondente, como uma possível resposta à condição de estresse.

Palavras-chave: mudança conceitual, concepções alternativas, ensino de biologia, emoção, tomada de decisão, estresse.

ABSTRACT

GOIS, F. M. Emotion, decision making and conceptual change: a study about misconceptions and scientific conceptions in biology. 2014. (80) f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

In students, misconceptions, or spontaneous conceptions, are comprehensions of natural phenomena forged by daily experience. These non-scientific viewpoints regarding the world are both solid and resistant to change. Besides the attempt to map misconceptions regarding a vast amount of natural phenomena, research in Science Education has also been dedicated to understanding how they interact with the scientific content in school and college programs. Some researchers have proposed that conceptual change is not dependent on purely rational processes. Evidence has shown that cognitive processes, such as perception, attention, learning, memory, decision-making, and problem resolution, are all strongly influenced by both rational aspects and emotional factors. Furthermore, the latter are accompanied by somatic markers, namely, corporal physiological reactions that act in the construction of emotional perceptive experiences. These markers are extremely important in the decision-making process, and it is hypothesized that before rationalizing a decision in terms of value analysis, they are instrumental in the unconscious reduction in the number of options that occurs. In this study, we developed a questionnaire that allows to differ biologists from non-biologists through its score and identified 5 different kinds of biological concepts, for their understanding and adoption. We evaluated the affective bonding that biologists and non-biologists have with the misconceptions and scientific conceptions, by its skin conductance response. We found that non-biologists presented higher skin conductance responses regardless of visualizing a misconception or a scientific conception. We showed that questionnaires with forced answer, so used in teaching, generates an increase on skin conductance responses, as a prospective response to stress condition.

Keywords: conceptual change, misconception, biology teaching, emotion, decision making, stress.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Concepções espontâneas (ou intuitivas), alternativas e científicas.....	11
1.2 Mudança conceitual, conflito cognitivo e fatores emocionais.....	12
1.3 Emoção e cognição.....	15
1.4 Atividade eletrodérmica.....	18
1.5 O uso de AED na pesquisa em Ensino de Ciências.....	22
2. OBJETIVOS.....	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1 O questionário.....	23
3.2 Os participantes.....	23
3.3 Procedimento experimental (coleta da RCP).....	24
3.4 Quantificação da RCP.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Desempenho no questionário.....	27
4.2 Resultados de RCP.....	52
5. DISCUSSÃO GERAL E CONCLUSÃO.....	60
5. BIBLIOGRAFIA.....	64
6. ANEXO 1.....	72
7. ANEXO 2.....	80

1. INTRODUÇÃO

1.1 Concepções espontâneas (ou intuitivas), alternativas e científicas

O Ensino de Ciências tem como uma de suas principais metas promover a alfabetização científica como uma primeira parte da formação dos estudantes. Essa formação inclui fornecer os meios de interpretação e explicação de fenômenos naturais com base em conhecimentos científicos com o intuito de formar cidadãos com domínio e uso desses conceitos, bem como de seus desdobramentos em diversas esferas do dia-a-dia (MILLAR & OSBORNE, 1998; SASSERON & CARVALHO, 2011).

Várias definições do que é uma concepção científica coexistem na filosofia da ciência. Dentro de uma visão positivista, como a defendida por Hempel, deve-se considerar uma explicação científica como aquela capaz de satisfazer as exigências de relevância explicativa, isto é, a informação dada deve fornecer uma base sólida para acreditar não apenas que o fenômeno a ser explicado realmente ocorreu ou vai ocorrer. Ao mesmo tempo, deve também cumprir a exigência de verificabilidade, ou seja, a capacidade de sustentar a verificação empírica (HEMPEL, 1965). Já de acordo com Kuhn, uma concepção particular somente pode ser tomada como científica mediante seu aceite pela comunidade de pesquisadores da área, ou seja, se for consensual (KUHN, 1962). De qualquer forma, as concepções científicas são postulados embutidos em uma estrutura teórica atualmente aceita e, de preferência, empiricamente verificável.

A concepção behaviorista de que a mente dos aprendizes seriam “folhas em branco” – uma *tábula rasa* – foi substituída há algumas décadas pela visão construtivista de que os estudantes já chegam à escola com estruturas cognitivas formadas, contendo concepções espontâneas ou alternativas sobre os fenômenos naturais (COBERN, 2000; MATTHEWS, 1997). Concepções espontâneas são crenças pré-instrucionais, despossuídas de embasamento científico, as quais assumem o papel de interpretações aceitáveis de como a natureza funciona (VIENNOT, 1979; VOSNIADOU & MANSON 2012). São consideradas concepções alternativas interpretações errôneas, ou contraditórias, acerca da informação científica, quando os estudantes tendem a incorporar determinadas informações científicas dentro de suas estruturas teóricas de pensamento. Isso ocorre quando os

estudantes tentam reconciliar os itens inconsistentes da informação, forjando um modelo mental sintético, em busca da integração da informação científica junto ao seu, muitas vezes incongruente, conhecimento prévio (VOSNIADOU 1994; VOSNIADOU & MANSON 2012). Nas últimas décadas, a pesquisa em Ensino de Ciências tem repetidamente documentado concepções espontâneas e alternativas em muitas áreas, como a física, química e biologia. Viennot (1979) percebeu que as concepções que os estudantes levam à escola, sejam espontâneas ou alternativas, são robustas e difíceis de erradicar, enfatizando, assim, a dificuldade das escolas em lidar com o problema da mudança conceitual (VOSNIADOU, 2007a; VOSNIADOU, 2007b).

1.2 Mudança conceitual, conflito cognitivo e fatores emocionais

Além de mapear as concepções alternativas sobre uma vasta gama de fenômenos naturais, pesquisadores vêm tentando compreender suas possíveis interações com o conteúdo científico no contexto escolar. Dessas tentativas, emergiu gradualmente um programa de pesquisa em mudança conceitual. Esse programa busca não apenas explicar como as ideias prévias dos estudantes são relevantes na construção de uma nova concepção, mas também como os estudantes eventualmente abandonam suas concepções prévias para adotar as científicas. Para Carey (2000), uma importante meta da pesquisa em Ensino de Ciências é a compreensão dos mecanismos subjacentes ao processo de mudança conceitual, para que a cultura do Ensino de Ciências possa ser modificada.

Muitos modelos teóricos vêm sendo concebidos na tentativa de explicar como a mudança conceitual acontece (POSNER et al., 1982; HEWSON & HEWSON, 1992; THAGARD, 1992; MORTIMER, 1995; TYSON et al., 1997). Em certos casos, as estruturas de conhecimento alternativas que os estudantes trazem à escola aparentam ser similares às teorias antigas na história da ciência. Em 1982, Posner e colaboradores (1982) compararam a estrutura das revoluções científicas, proposta por Thomas Khun na filosofia da ciência, aos conceitos de assimilação e acomodação, propostos por Piaget na abordagem construtivista do processo de aprendizagem. Eles assumiram que os estudantes precisariam passar por uma mudança conceitual radical a fim de aprender os conceitos científicos. Essa

mudança possuiria bases racionais, e seria promovida pelos professores. O primeiro passo na indução da mudança conceitual por parte dos professores seria a geração de insatisfação referente aos conceitos existentes dos alunos. Isso seria possível através da criação de um conflito cognitivo, análogo ao estado de “crise” das revoluções científicas proposto por Khun, expondo anomalias, situações ou dados presentes nas concepções dos estudantes que seriam inexplicáveis de acordo com seus conceitos. Segundo o modelo do conflito cognitivo, a mudança conceitual aconteceria através da exposição de dados e situações aos estudantes que não corroboram suas interpretações acerca da natureza, criando, assim, uma insatisfação com suas concepções, a partir da qual surgiria um conflito cognitivo. Consequentemente, o conhecimento científico apareceria como uma solução plausível e inteligível para o problema apresentado, gerando uma mudança conceitual (CHAN et al., 1997; LIMÓN & MASON, 2002; KANG et al., 2004; VOSNIADOU, 2007). Hatano e Inagaki (2003, p. 410) apontam que,

“... quando as pessoas reconhecem e sentem que sua compreensão é inadequada, elas são motivadas a buscar subjetivamente uma compreensão adequada ou uma explicação satisfatória, e então podem envolver-se permanentemente na atividade de compreensão buscando informações adicionais do exterior, recuperando um pedaço do conhecimento anterior, gerando novas inferências, examinando a compatibilidade das inferências mais cuidadosamente, e assim por diante.”
(tradução nossa).

Esse sentimento poderia caracterizar um conflito cognitivo. A incongruência cognitiva poderia ser gerada pela surpresa (*“quando as pessoas encontram um evento ou informação que contradiz seu conhecimento prévio”*), perplexidade (*“quando as pessoas estão conscientes de ideias igualmente plausíveis, porém concorrentes em relação ao objeto ou procedimento alvo”*) ou uma falta de coordenação (*“quando as pessoas reconhecem que os pedaços de informações disponíveis não estão bem conectados”*) (HATANO & INAGAKI, 2003, p. 411).

Baseado nessa proposta, os professores deveriam primeiramente gerar um conflito cognitivo e depois introduzir o conceito científico adequado aos estudantes. Todavia, a fim de gerar uma acomodação real compatível com o processo de mudança conceitual, o novo conceito, além de ser inteligível e plausível, deveria

possibilitar o surgimento de um programa de pesquisa frutífero (POSNER et al., 1982). Em outras palavras, os estudantes precisam primeiro entender o que está sendo proposto e se convencerem de que a proposição é possível, para então estarem aptos a explicar uma variedade de novas anomalias que poderão surgir ou serem apresentadas pelo professor. A abordagem clássica de Posner inspirou a pesquisa e a prática do Ensino de Ciências por muitos anos. Nesse período, pesquisadores levantaram uma série de concepções intuitivas e alternativas, e posteriormente procuraram por estratégias que pudessem gerar conflitos que fizessem os estudantes substituírem suas pré-concepções pelas cientificamente aceitas.

Influenciados pelo trabalho inicial de Posner, diversas estratégias teóricas foram desenvolvidas com o intuito de gerar o conflito cognitivo. Geralmente, essas estratégias eram baseadas na identificação prévia do estado de conhecimento corrente dos alunos, seguida de confrontação com informações contraditórias advindas de textos, experimentos ou discussões e, finalmente, avaliações do grau de mudança entre as ideias iniciais dos estudantes e as ideias posteriores à intervenção (DREYFUS et al., 1990; GUZZETTI & GLASS, 1993; TILLEMA & KNOL, 1997; WEAVER, 1998).

Ao longo dos anos, porém, verificou-se que o modelo de mudança conceitual por conflito cognitivo não funcionava tão bem quanto o esperado. Foi demonstrado que, em muitos casos, mesmo após a exposição a situações de conflito, as concepções prévias persistem e os conceitos científicos são apenas superficialmente assimilados (DREYFUS et al., 1990; LIMÓN & CARRETERO, 1997; TILLEMA & KNOL, 1997; GUZZETTI, 2000; LIMÓN & MASON, 2002); ou ainda hipóteses *ad hoc* são criadas de forma a manter os conceitos prévios (MORTIMER, 1996). Em suma, mesmo quando expostos a situações que demonstram que sua visão de mundo não explica um fenômeno natural particular, os alunos resistem à aceitação e substituição por um modelo científico, tendendo a permanecer ligados às concepções prévias e alternativas.

O insucesso na aplicação da estratégia de conflito cognitivo tem sido atribuído a diversas causas. Dentre elas, é apontado o uso excessivo de operações puramente lógicas do pensamento, usando apenas a racionalidade científica para

validar as explicações. Aspectos motivacionais e afetivos, bem como atitudes e fatores sociais não seriam levados suficientemente em conta nessas abordagens (LIMÓN, 2001). Segundo alguns autores, a fim de promover uma verdadeira mudança conceitual, um ensino eficaz deveria incorporar maneiras para aumentar o envolvimento emocional do aluno, criando assim uma relação afetiva com o conhecimento para modificar suas crenças e conceitos prévios (PINTRICH et al., 1993; ALEXANDER, 2001; SINATRA & PINTRICH, 2003). Thagard (2002) afirma ainda que o vínculo afetivo das pessoas com seus próprios sistemas de pensamento é um dos maiores impedimentos à mudança conceitual. No entanto, esse aspecto tem sido ignorado na maioria das discussões cognitivas e científicas.

Numa reelaboração de seu modelo inicial, Striker e Posner (1992) enfatizam o papel da matriz de relações íntimas entre conceitos, categorias ontológicas e crenças epistemológicas na resistência à mudança no processo de interação do aprendiz com novas ideias. Contrastando com a ideia de mudança conceitual, Mortimer (1995, 1996) apresenta o modelo de perfil conceitual, segundo o qual as ideias presentes na mente dos estudantes evoluem com a aceitação de novas interpretações da natureza, que adquirem maior ou menor importância em uma hierarquia de conceitos. Segundo Mortimer, esses conceitos acumulados sofrem uma forte influência do contexto, tanto do ambiente no qual cada conceito foi desenvolvido, como da ocasião de seu uso. Vosniadou (1994), por sua vez, afirma que a mudança conceitual é um processo lento e gradual, que leva tempo para ocorrer. Segundo essa autora, a revisão de visões de mundo e concepções dos alunos, bem como sua substituição por concepções científicas, ocorre ao longo da escolaridade, não se tratando apenas de uma questão de espontaneamente apresentar aos alunos fatos contra-intuitivos. Pugh (2009) defende ainda a utilização de métodos que promovam experiências transformativas, as quais se mostrem eficazes em promover o engajamento dos estudantes.

1.3 Emoção e cognição

Tradicionalmente, o termo cognição refere-se a um conjunto de processos sofisticados – tais como memória, atenção, linguagem, resolução de problemas, planejamento, dentre outros – com o engajamento de regiões corticais do cérebro

humano. Emoção, por sua vez, não pode ser definida de maneira tão estrita como cognição (PESSOA, 2008). Enquanto Arnold (1960) postulou atos emocionais como avaliadores de eventos, Rolls (2005) definiu emoção como “um estado provocado por recompensa e punição”. Ao passo que alguns autores focaram sua atenção nas emoções básicas (EKMAN, 1992), outros têm estudado as mais complexas como inveja, orgulho ou preconceito (HAIDT, 2003; MOLL, 2005; KUBOTA, 2012). Antonio Damasio (1999) enfocou a interdependência das reações corporais com as emoções; desse modo, ele sustenta que as reações viscerais a estímulos são fundamentais na experiência emocional. Oatley (2004) considera as emoções como reações dependentes de nosso conhecimento e relacionadas à urgência de uma ação. Apesar dessas interpretações, não há um consenso sobre o que é uma emoção, e diversos autores concordam que a definição de emoção não é essencial para seu estudo (OATLEY et al, 2006; RAMACHANDRAN, 2012; PESSOA, 2013), uma vez que a compreensão de um fenômeno é fundamental para que este seja definido.

As estruturas cerebrais profundamente relacionadas às emoções são, com frequência, subcorticais, como a amígdala, o estriado ventral e o hipotálamo, em oposição às cognitivas, que são corticais. Essas estruturas, consideradas primitivas e conservadas pela seleção natural, são extremamente conectadas a outras regiões cerebrais, em especial pode-se salientar a massiva conectividade existente entre a amígdala e o córtex (YOUNG, 1994, PESSOA, 2008; PESSOA, 2011). A alta conectividade da amígdala e de seus núcleos (como o núcleo lateral e núcleo assessorio basal) permite classificá-la como uma estrutura central na integração de informações. (PETROVICH, CANTERAS, & SWANSON 2001; MODHA & SINGH, 2010; PESSOA, 2011)

A relação entre cognição e emoção tem fascinado filósofos por séculos (PESSOA, 2008), sendo que esses dois processos foram quase sempre considerados dispares. Como apontado por Bless (2001), uma das razões para essa atitude poderia ser “a predominante visão no pensamento ocidental, mantida desde Platão, a qual defende que afeição é uma força perigosa e invasiva que subverte o pensamento racional”. Essa ideia tem surgido em diversas teorias, incluindo as de Freud, Tarde e LeBon (BLESS, 2001). Psicólogos cognitivos ainda tendem a

postular que as emoções não tomam parte nos processos cognitivos. Isso possivelmente poderia estar relacionado ao fato da maioria das interpretações do cérebro humano fazerem uso de metáforas computacionais, com a exclusão geral das emoções no processamento cognitivo (SHANNON & WEAVER, 1962; LAZARUS, 1984; PHELPS, 2006). Zajonc (1980) foi um dos primeiros cientistas cognitivos a especular sobre a possibilidade de as emoções serem processadas como parte das experiências, embora apenas para as de qualidade afetiva.

Ao longo das últimas décadas, a compreensão das relações entre emoções e cognição tem sido o objetivo de diversas pesquisas em neurociência (DAMASIO, 1999/2005; LE DOUX, 1998). Um número crescente de evidências tem demonstrado que processos cognitivos, como percepção, atenção, aprendizagem, memória, tomada de decisão e resolução de problemas, são fortemente influenciados tanto por fatores racionais como por emocionais (FORGAS, 1992; BLESS, 2001). Originalmente, pensava-se que emoções positivas diminuiriam o esforço necessário para o processamento de informações, enquanto emoções negativas o aumentariam (CLARK & ISEN, 1982). Contudo, estudos recentes têm mostrado que as consequências do afeto no processamento de informações poderiam ser melhor compreendidas em termos da dicotomia entre acomodação e assimilação, tais quais propostas por Piaget (BLESS & FIEDLER, 2006). Enquanto a acomodação envolve focar em demandas externas, como atenção dedicada a estímulos circundantes, a assimilação seria um processo complementar, que emprega o conhecimento existente como um guia na produção de conhecimento novo. Essa comparação emergiu de evidências de que emoções positivas promovem processos mais assimilativos, enquanto as negativas promovem estratégias mais acomodativas (FORGAS, 2008). Por isso, pequenas mudanças no estado afetivo dos indivíduos são capazes de produzir uma distinguível diferença no processamento da informação pelo sistema nervoso e, conseqüentemente, no processo cognitivo.

O número de estudos acerca da interação da razão com a emoção no processo de aprendizagem científica nas escolas cresceu nas últimas décadas (ALSOP, 2003), com melhores avaliações de elementos afetivos na construção do conhecimento do aluno. Teixeira e Mortimer (2003) estudaram as reações emocionais de alunos durante as aulas de química. Custódio (2007) investigou a

dimensão afetiva das explicações dos alunos sobre o mundo. Brockington (2011), utilizando o conceito de marcadores somáticos de Damásio (1994/2005), realizou um estudo pioneiro que reuniu conceitos básicos teóricos e metodológicos da neurofisiologia das emoções no conhecimento em física. Estes marcadores consistem em reações fisiológicas mediadas por elementos do sistema nervoso autônomo, tais como taquicardia, taquipnéia, vasoconstrição da pele e vasos esplânicos, vasodilatação em músculos esqueléticos, piloereção, suor e liberação de adrenalina da medula adrenal (FOLKOW, 2000). De acordo com Damásio, os marcadores somáticos são reações fisiológicas mediadas por elementos do sistema nervoso autônomo, sendo fundamentais no processo de tomada de decisão. Antes de racionalizar a decisão com base na análise de custo/benefício, o corpo reduziria, inconscientemente, o número de possibilidades de acordo com os marcadores somáticos formados durante a experiência ao longo da vida do indivíduo. Esses marcadores seriam criados ao longo da ontogenia, no processo de aprendizagem e de inserção cultural. Cada situação de vida daria origem a um estado do corpo, que estaria associada a uma sensação. Assim, marcadores somáticos começam a participar no processo de avaliação inconsciente que ocorre durante a tomada de decisões.

No presente trabalho optou-se por usar a atividade eletrodérmica conhecida como resposta de condutância da pele (RCP), como marcador somático a fim de investigar o papel dos fatores emocionais no uso do conhecimento em biologia. Como será discutido a seguir, esse marcador em específico foi escolhido devido a sua confiabilidade na coleta dos dados.

1.4 Atividade eletrodérmica

A pele possui uma densa inervação relacionada à sua variedade de funções, como exploração sensório-motora, termorregulação, comunicação emocional, dentre outras. A inervação autonômica das glândulas sudoríparas permite o registro de variações na sudorese, como resultado de ativação do sistema autônomo simpático. Aplicando uma leve corrente elétrica na pele e, simultaneamente, medindo sua condutância, é possível registrar as variações correspondentes à ativação simpática. Essa medida é chamada de atividade eletrodérmica (AED). A AED consiste em

mudanças do nível de condutância basal (NCB) da pele e eventos transitórios rápidos, isto é, respostas de condutância da pele (RCPs), também chamadas de resposta galvânica da pele (RGP) (VENABLES & CHRISTIE 1980; FOWLES et al., 1981; DAWSON et al., 2000; CRITCHLEY, 2002; SEQUEIRA, 2009; BOUSCEIN 2012). Essa atividade reflete a ativação do eixo simpático do sistema nervoso autônomo.

Além de regular os processos vegetativos que mantém a homeostase do ambiente interno, o sistema nervoso autônomo também modula funções homeostáticas de acordo com as demandas comportamentais, balanceando as atividades simpáticas com as subdivisões autonômicas parassimpáticas ao longo do tempo (CRITCHLEY, 2002). O sistema nervoso simpático possui ainda a função de facilitar várias formas de ações motoras viscerais, como aumento da frequência cardíaca, da pressão sanguínea e da sudorese, além de deslocar sangue das vísceras para a musculatura dos membros. Ademais, a preparação motora e o esforço muscular são acompanhados de aumentos na AED simultâneos à aceleração cardiovascular. Essas mudanças fisiológicas também ocorrem na preparação de comportamentos específicos, tais quais as respostas de luta ou fuga (VISSING, 1991).

Variações de sudorese são marcadores úteis de eventos que possuam significância particular para cada indivíduo (SEQUEIRA, 2009). Dados de humanos, coletados em associação com eletrofisiologia cognitiva e técnicas de neuroimagem, permitem inferir como ocorre o controle central da AED. Estudos anatômicos sugerem que os controles superiores da ativação simpática e da AED são modulados por uma matriz neural que envolve os córtices pré-frontal e parietal, bem como estruturas límbicas, como o cíngulo, e os lobos temporais com certo grau de lateralização sentido o hemisfério direito, mais especificamente à sua área motora e somatossensorial. A amígdala possui um importante papel no controle da AED, contribuindo com sua geração para salientar estímulos que ganharam significado emocional ao longo do aprendizado por experiência ou por condicionamento (CRITCHLEY, 2002), um fator fundamental no presente estudo.

As regiões da pele que estão prontamente suscetíveis ao registro eletrodérmico são diretamente inervadas por neurônios sudomotores pós-

ganglionares desmielinizados nas glândulas sudoríparas écrinas, espalhadas por toda a pele, e com maior densidade nas regiões palmar e plantar (aproximadamente 400/mm²) (CRITCHLEY, 2002). Os neurônios sudomotores, localizados nos gânglios das cadeias simpáticas laterais (JÄNIG & KÜMMEL, 1981), desempenham o papel de transmissores entre os neurônios pré-ganglionares ipsilaterais da medula espinhal e os neurônios pós-ganglionares, e são diretamente influenciados pelos neurônios sudomotores espinhais localizados no núcleo intermédio-lateral da medula espinhal em si (CABOT, 1990). Eles estão constantemente sob impulsos excitatórios e inibitórios dos centros supra-espinhais, correspondendo principalmente ao prosencéfalo e regiões hipotalâmicas, e à formação reticular do tronco encefálico. As estruturas reticulares possuem efeitos excitatórios (sistema reticular excitatório, SRE) ou inibitórios (sistema reticular inibitório, SRI) na RCP por todo caminho descendente dos circuitos neurais (SEQUEIRA, 2009). Uma representação dessa organização, extraída de Sequeira (2009), está apresentada na **Figura 1**.

Figura 1: Representação global do controle central da atividade eletrodérmica a partir de dados de animais e humanos. Impulsos excitatórios (+) e inibitórios (-). As influências descendentes são integradas pelos neurônios pré-ganglionares (PGN) localizados na medula espinhal. Estes neurônios enviam o impulso final para o gânglio simpático (G) e para as glândulas sudoríparas (SG). A medula espinhal está sob forte controle do sistema de ativação (RAS) e inibição (RIS) reticular, os quais, por sua vez, são principalmente influenciados pelas regiões frontal (Fro), parietal (Par), cingulado (Cin) e amigdalóide (Amy) do cérebro. Note que essas regiões são capazes de ativar ou inibir as estruturas reticulares do tronco encefálico, enquanto as fibras corticoespinhais (CT) podem atuar tanto no nível reticular como espinhal. Outras abreviações: Hip, hipocampo; Occ, occipital; Tem, temporal (extraído de SEQUEIRA, 2009).

A medida de AED tem sido extensamente utilizada em humanos e outros animais, como macacos, ratos e gatos por mais de um século (SEQUEIRA & ROY, 1997). Seguindo as publicações de guias em pesquisa com AED da Society for Psychophysiological Research (FOWLES, 1981), o método de condutância da pele tem se tornado a técnica padrão para registro e análise de AED.

Em nosso estudo, o método de RCP foi escolhido para medição do vínculo afetivo com o conhecimento em biologia. Essa escolha considerou a condutância da pele como um indicador adequado de envolvimento afetivo ou emocional em um processo de escolha ou julgamento. A RCP compreende uma singela e curta flutuação na condutância da pele que dura alguns segundos, e que usualmente segue um padrão característico inicial de crescimento abrupto, seguido por um pequeno pico, e então por um retorno à linha de base relativamente lento, como mostrado na **Figura 2**. Tipicamente durando de 1 a 3 segundos, a latência é o tempo entre o início do estímulo e a geração de uma RCP. O período de subida (*rise-time*) é o tempo entre o início da RCP e seu pico de amplitude, também tipicamente com duração de 1 a 3 segundos. Amplitude é a diferença entre condutividade no momento inicial (linha de base) e no pico. Embora o meio-tempo de recuperação seja às vezes usado, ele é altamente correlacionado com o período de subida e, portanto, um pouco redundante (VENABLES & CHRISTIE, 1980; FIGNER, 2010).

Figura 2: Um sinal não filtrado de condutância da pele, mostrando os componentes da resposta utilizados para caracterizar quantitativamente as RCPs. Um marcador correspondente ao início do estímulo também está demonstrado como parte do curso do tempo (extraído de FIGNER, 2010).

1.5 O uso de AED na pesquisa em Ensino de Ciências

Inspirado pelos achados de Damasio em relação à influência dos marcadores somáticos na construção da percepção e da experiência emocional (DAMASIO et al., 1996; DAMASIO, 2005; BECHARA et al., 2005), Brockington (2011) utilizou-se do método da RCP durante a resolução de um questionário contendo concepções alternativas e intuitivas sobre Física, respondido por pós-graduandos físicos e não-físicos nos Estados Unidos. Brockington encontrou uma diferença considerável entre as RCPs dos dois grupos. Os físicos apresentaram uma RCP maior do que os não-físicos quando defrontados com as alternativas corretas cientificamente, indicando um vínculo afetivo com o conhecimento apresentado no questionário. A hipótese levantada pelo pesquisador foi a de que o conhecimento em física possui um intenso significado afetivo para os físicos, diferentemente do caso dos não-físicos. Por meio do significado afetivo em associação com outros processos cognitivos, os físicos reconheceriam e se sentiriam confortáveis com os conteúdos científicos sobre física apresentados a eles. Os não-físicos, por outro lado, se sentiriam mais confortáveis com suas concepções alternativas ou pré-concepções, que teriam maior significado para eles e estaria de acordo com o aprendizado adquirido através de suas experiências de aprendizado. De acordo com Critchley (2002), esse sentimento poderia ser expresso na RCP dos sujeitos uma vez que atua sobre a geração de estímulos salientes.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho foi desenvolver uma ferramenta para investigação do processo de mudança conceitual na Biologia. Adicionalmente, adaptar e sofisticar a metodologia desenvolvida por Brockington (2011) ao conteúdo de Biologia. Utilizando-se do mesmo marcador somático, buscamos avaliar o vínculo afetivo de biólogos e não-biólogos com o conhecimento em Biologia.

Com isso, esperamos contribuir tanto para o desenvolvimento de novas metodologias de investigação no Ensino de Ciências quanto para avançar na compreensão dos mecanismos neurais e cognitivos subjacentes ao processo de mudança conceitual.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 O questionário

Para investigar o processo de mudança conceitual na Biologia, foi confeccionado um questionário contendo concepções espontâneas e alternativas das ciências biológicas, o qual foi aplicado a estudantes de diversos níveis do ensino dessa área da ciência. O questionário desenvolvido possuía 40 questões, das quais 20 eram de biologia e 20 eram controles (questões de história e geografia). As questões de biologia foram adaptadas, em sua maioria, do banco de questões da *American Association for the Advancement of Science* website (AAAS), que possui uma vasta gama de questões contendo concepções prévias e alternativas sobre diversos temas do Ensino de Ciências já testadas e validadas por pesquisadores da área. Além disso, a bibliografia especializada na área também foi consultada (BIZZO, 1994; DA LUZ, 2007; INAGAKI & HATANO, 2006) e professores do Instituto de Biociências da USP foram entrevistados a fim de se construir questões que possuísem erros comuns detectados por eles no Ensino de Biologia em diversos níveis. As questões do grupo controle foram adaptadas de vestibulares das principais universidades brasileiras de anos anteriores ao de 2011 e pode ser verificado no ANEXO 1.

O questionário de biologia foi posteriormente aplicado a 161 alunos do ensino médio (E.M.) do colégio de aplicação da Universidade Federal de Juiz de Fora e a 162 alunos do primeiro semestre do curso de Ciências Biológicas (C.B.) da mesma universidade, a fim de validar as concepções nele presentes e construir um panorama geral de aceitação dessas concepções em diversos níveis do ensino de Biologia.

3.2 Os participantes

Para investigar as relações entre o conhecimento científico e as emoções, dividimos os participantes em dois grupos: biólogos (18 indivíduos) e não-biólogos (18 indivíduos) de acordo com sua formação acadêmica. Para o grupo dos biólogos, foram aceitos voluntários que já tivessem concluído o curso de bacharelado e/ou licenciatura em Ciências Biológicas e que estivessem cursando pós-graduação nos níveis de mestrado ou doutorado. O grupo dos não-biólogos foi formado por

voluntários com título de bacharel ou licenciado em cursos da área de humanas que estivessem cursando pós-graduação em suas respectivas áreas nos níveis de mestrado ou doutorado. Não foram aceitos os voluntários da área de Geografia física, devido às similaridades entre o conteúdo estudado por essa área com alguns conteúdos do Ensino de Biologia, nem os que declararam ter feito uso de medicamentos betabloqueadores no período de uma semana anterior à coleta dos dados.

3.3 Procedimento experimental (coleta da RCP)

Os voluntários eram recebidos e levados a uma sala com isolamento acústico do Instituto de Biociências da USP, com a temperatura regulada em torno de 21 graus. Eram então instruídos a se sentar confortavelmente em uma cadeira na qual realizariam o experimento. Antes de iniciar o experimento em si, os sujeitos passavam por um treino instrucional (ANEXO 2) para se familiarizar com a interface do programa. Durante o treino, os eletrodos de um BIOPAC MP36 eram ligados aos dedos indicador e médio da mão não dominante dos indivíduos. Após a execução do treino, o experimento era iniciado. O programa de execução do experimento foi escrito em MatLab, e planejado para enviar um marcador temporal a cada troca de tela ou surgimento de janelas, a fim de permitir a análise de cada momento específico do experimento, conforme mostrado na **Figura 3**.

Figura 3: Imagem de registro de RCP de um dos sujeitos durante a realização do questionário. **A** e **C** correspondem ao marcador temporal de surgimento de uma imagem e troca para a próxima imagem, respectivamente. **B** corresponde à curva de RCP em microsiemens (μ S) do indivíduo.

No início, uma cruz permanecia na tela por 2 minutos para que se obtivesse a linha de base da RCP dos indivíduos. Ao fim desses dois minutos, surgia na tela a pergunta a ser respondida, seguida de quatro alternativas (A, B, C e D), das quais uma era cientificamente correta e as outras concepções alternativas, prévias ou simplesmente erradas. Cada uma das 40 questões era apresentada aleatoriamente. Ao surgir uma pergunta, o sujeito deveria lê-la e, assim que se certificasse de que compreendeu o que estava sendo perguntado, clicar com o mouse em qualquer local da tela. Ao clicar, as alternativas A, B, C e D, eram apresentadas automaticamente por um intervalo variável de 7 a 9 segundos cada, sendo impossível passá-las clicando. Em seguida, as quatro alternativas eram apresentadas simultaneamente na tela e o sujeito clicava sobre a alternativa escolhida. Ao final de cada pergunta, a mesma cruz do início do experimento reaparecia por um intervalo de 3 a 5 segundos para separar a questão de sua sucessora. A **Figura 4** apresenta a sequência de eventos para cada questão.

Figura 4: Sequência temporal do questionário. Cada questão era precedida por uma cruz que separava a questão de sua antecessora permanecendo na tela por 3 a 5 segundos. Após a cruz, surgia na tela uma pergunta. Esta pergunta permanecia na tela até que o sujeito clicasse com o

mouse. Os sujeitos eram instruídos a somente clicar quando tivessem compreendido por completo cada pergunta. Em seguida cada uma das alternativas (A, B, C e D) permanecia na tela por um intervalo variável de 7 a 9 segundos, sendo impossível passar a questão antes do período determinado pelo programa. Após as quatro alternativas aparecerem separadamente elas reapareciam juntas no momento da resposta e o sujeito deveria clicar com o mouse sobre a alternativa escolhida.

3.4 Quantificação da RCP

Um programa em MatLab foi escrito com o intuito de quantificar a área abaixo da curva de RCP dos indivíduos durante a realização do questionário. Esse programa identificava a linha de base do indivíduo a partir da medida inicial de RCP de repouso (**Figura 5-D**). O programa reconhecia os marcadores temporais e excluía as extremidades – os primeiros e os últimos 5% de cada intervalo – conforme indicado na **Figura 5-E1** e **E2**. Essa exclusão teve o intuito de evitar calcular alterações de RCP que não tivessem sido geradas pela imagem apresentada no momento correspondente. No intervalo entre essas extremidades excluídas calculava-se, então, a área sob a curva a partir da linha de base, como indica a **Figura 5**.

Figura 5: Esquema para demonstração do cálculo da alteração da RCP. A linha **D** indica a linha de base, tomada a partir da RCP nula, obtida no início do experimento. Para calcular a área debaixo da curva de RCP as extremidades entre os marcadores temporais de início e final de uma imagem eram excluídas (**E1** e **E2**) e era considerado apenas o intervalo indicado pela seta **F**. Assim, a área abaixo da curva – indicado pela hachura – era calculada quantificando a alteração de condutância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desempenho no questionário

Conforme mostrado na **Tabela 1**, o percentual de acerto dos biólogos para as questões de Biologia foi de 88,9%, enquanto os não-biólogos acertaram 52,8% das questões em média. Com esses resultados, podemos verificar que as questões de biologia conseguiram selecionar os especialistas da área, uma vez que os biólogos possuem um desempenho superior ao dos não-biólogos. Observamos que o desempenho inferior dos não-biólogos deve-se ao fato de, na média, eles optarem pelas concepções alternativas com as quais construímos o questionário – ao contrário dos biólogos.

O desempenho de ambos os grupos é bem semelhante quanto aos acertos nas questões controle. Enquanto os biólogos acertaram 72,1% dessas questões, os não-biólogos acertaram 71,7%. Isso indica que as questões controle funcionaram realmente como controle para os dois grupos, conforme se esperaria de questões que foram selecionadas de vestibulares, sem a inclusão deliberada de concepções alternativas. Dado que biólogos e não-biólogos foram expostos a esse tipo de questões quando ingressaram em suas respectivas universidades, esse desempenho equivalente seria esperado. Os dados do questionário controle, não serão mais analisados.

Tabela 1: Porcentagem de acertos de Biólogos, não-biólogos, ingressantes em Ciências Biológicas e alunos do Ensino Médio (EM) para as questões de Biologia e Controle. Os ingressantes e os EM não responderam às questões controle pois estas somente foram aplicadas aos participantes da coleta de dados fisiológicos.

	Biologia	Controle
Biólogos	88,9%	72,1%
Não-biólogos	52,8%	71,7%
Ingressantes C.B.	58,3%	-
E.M.	46,7%	-

O desempenho médio dos grupos experimentais (18 biólogos e 18 não-biólogos) foi também comparado ao desempenho dos 162 ingressantes em C.B. e dos 162 alunos de E.M.. Podemos perceber o desempenho semelhante dos não-

biólogos com esses dois grupos, que acertaram respectivamente 58,3% e 46,7% do questionário, em média. Isso também indica a capacidade do questionário em selecionar somente especialistas no conteúdo de biologia, aqui caracterizados pelos participantes que concluíram uma graduação em Ciências Biológicas e realizam pós-graduação na área.

De maneira geral, os dados apresentados permitem verificar que os alunos do Ensino Médio possuem menor porcentagem de acerto (46,7%) seguido dos não-biólogos (52,8%), ingressantes em Ciências Biológicas (58,3%) e biólogos (88,9%). A partir desses resultados, também é possível notar que aproximadamente metade do questionário não possuía concepções alternativas com a força esperada, ou seja, os sujeitos dos grupos de não especialistas na área (não-biólogos, estudantes do Ensino Médio e ingressantes em Ciências Biológicas) escolheram a alternativa cientificamente correta em aproximadamente metade dos casos. O grupo dos biólogos, por sua vez, apresentou um desempenho que pode ser considerado alto (88,9%) no questionário, como esperado, alcançando em diversas situações 100% de acertos. Esse resultado demonstra que, durante a formação dos biólogos, ocorre um abandono das concepções alternativas e adoção de concepções científicas, pelo menos em situações como a reproduzida em nosso experimento. Em todo o questionário, são poucos os casos nos quais a porcentagem de acertos dos biólogos é inferior a 80%.

Considerando-se porcentagens de acertos <30% como um desempenho insatisfatório, >30% e <70% como intermediário e >70% como um desempenho satisfatório, pode-se perceber a existência no questionário de alguns grupos de conceitos: **conceitos do tipo I** - conceitos amplamente mal compreendidos, nos quais estudantes do E.M. e C.B. tem desempenho insatisfatório e Biólogos tem desempenho intermediário; **conceitos do tipo II** – conceitos com desenvolvimento, nos quais estudantes do E.M. tem desempenho insatisfatório, ingressantes em C.B. tem desempenho intermediário e Biólogos tem desempenho satisfatório; **conceitos do tipo III** – conceitos de compreensão intermediária, nos quais tanto alunos do E.M. quanto ingressantes em C.B. tem desempenho intermediário e biólogos tem desempenho satisfatório; **conceitos do tipo IV** – conceitos em consolidação, nos quais estudantes do E.M. tem desempenho intermediário e ingressantes em C.B.

tem desempenho satisfatório; **conceitos do tipo V** – conceitos de amplo domínio, nos quais todos os grupos tem desempenho satisfatório.¹

Tabela 2: Desempenho (em % de acertos) dos grupos de estudantes do E.M., ingressantes em C.B. e biólogos nas questões de biologia. ■ desempenho insatisfatório (<30% de acertos), ■ desempenho intermediário (>30% e <70%) e ■ desempenho satisfatório (>70%). Com base nesses desempenhos as questões tiveram seus conceitos classificados em do tipo I, II, III, IV e V.

	Desempenho em % de acertos																			
Questão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
E.M.	7	2	2	23	26	25	53	42	63	53	50	49	54	52	61	50	72	81	92	80
C.B.	7	7	14	60	67	53	61	49	57	59	65	61	64	62	82	71	71	83	96	75
Biólogos	44	56	50	100	100	94	83	100	100	89	100	100	100	94	83	94	100	89	100	100
Tipo	I		II				III								IV		V			

O detalhamento do desempenho de todos os grupos nessas questões está apresentado a seguir junto com as **Questões** de 1 a 20. Nelas são apresentadas as perguntas de biologia (primeiro quadro de cada prancha), as alternativas disponíveis (alternativa correta indicada com o quadrado verde ■ e concepções alternativas com o quadrado vermelho ■), bem como o desempenho, na forma de porcentagem, dos grupos respondentes do questionário (as barras verdes correspondem à porcentagem de acerto de cada grupo e as barras vermelhas à porcentagem de escolha de cada concepção alternativa conforme indicado no eixo horizontal). Ao lado do rótulo de cada questão, encontra-se o tipo de conceito nela encontrado, segundo a classificação apresentada acima.

¹ Essa classificação não levou em conta o grupo dos não-biólogos para que fosse possível perceber a interferência da especialização no desempenho referente aos conceitos apresentados no questionário.

Questão 1. Conceito do tipo I - conceitos amplamente mal compreendidos.

Sobre excreções, podemos afirmar:

<p>A. ☒</p> <p>Urina é considerada excreção, mas não as fezes.</p>	<p>B. ☐</p> <p>Fezes são consideradas excreções, mas não a urina.</p>
<p>C. ☐</p> <p>Ambos, urina e fezes, são considerados excreções.</p>	<p>D. ☐</p> <p>Nem urina, nem fezes são consideradas excreções.</p>

Questão 2. Conceito do tipo I - conceitos amplamente mal compreendidos.

Sobre o código genético, podemos afirmar:	
<p>A. ☐</p> <p>É o conjunto de genes de uma espécie.</p>	<p>B. ☐</p> <p>É específico para cada indivíduo.</p>
<p>C. ☐</p> <p>É a correspondência entre uma trinca de bases nitrogenadas e um aminoácido.</p>	<p>D. ☐</p> <p>É a sequência de bases nitrogenadas no DNA de uma espécie.</p>

Questão 3. Conceito do tipo I - conceitos amplamente mal compreendidos.

<p>Como é transportada a maior parte do CO₂ no sangue humano?</p>	
<p>A. </p> <p>Por difusão.</p>	<p>B. </p> <p>Na forma de íons de bicarbonato.</p>
<p>C. </p> <p>Ligado à hemoglobina.</p>	<p>D. </p> <p>Pelos glóbulos vermelhos.</p>

Questão 4. Conceito do tipo II – conceitos com desenvolvimento.

O parentesco evolutivo entre humanos, raposas e chimpanzés está corretamente apresentado em:

Questão 5. Conceito do tipo II – conceitos com desenvolvimento.

No processo evolutivo:

<p>A. </p> <p>Os organismos se adaptam ao ambiente.</p>	<p>B. </p> <p>Os organismos são aperfeiçoados.</p>
<p>C. </p> <p>Os organismos não aperfeiçoados são eliminados</p>	<p>D. </p> <p>Os organismos mais aptos sobrevivem.</p>

Questão 6. Conceito do tipo II – conceitos com desenvolvimento.

Qual das afirmações abaixo é VERDADEIRA sobre os genes?

<p>A. ☐ Genes são características.</p>	<p>B. ☐ Genes são proteínas.</p>
<p>C. ☒ Genes são sequências de nucleotídeos.</p>	<p>D. ☐ Genes são sequências de aminoácidos.</p>

Questão 7. Conceito do tipo III – conceitos de compreensão intermediária.

Nas plantas, fotossíntese, respiração e períodos do dia estão corretamente relacionados em:

Questão 8. Conceito do tipo III – conceitos de compreensão intermediária.

Qual das estruturas a seguir é usada no armazenamento de moléculas do alimento?

<p>A. </p> <p>Tecidos de gordura nos animais, bulbos e sementes nas plantas.</p>	<p>B. </p> <p>Tecidos de gordura nos animais, mas não bulbos e sementes nas plantas.</p>
<p>C. </p> <p>Tecidos de gordura nos animais e sementes em plantas, mas não bulbos em plantas.</p>	<p>D. </p> <p>Nenhuma das estruturas citadas é usada pra armazenar moléculas dos alimentos.</p>

Questão 9. Conceito do tipo III – conceitos de compreensão intermediária.

Sobre as células, podemos afirmar:	
<p>A. </p> <p>Todos os seres vivos são feitos de muitas células, e todas as células são do mesmo tamanho e da mesma forma.</p>	<p>B. </p> <p>Todos os seres vivos são feitos de muitas células, mas nem todas as células são do mesmo tamanho e forma.</p>
<p>C. </p> <p>Todas as células são do mesmo tamanho e da mesma forma, mas nem todos os seres vivos são feitos de muitas células.</p>	<p>D. </p> <p>Nem todas as células são do mesmo tamanho e forma, e nem todos os seres vivos são feitos de muitas células.</p>

Questão 10. Conceito do tipo III – conceitos de compreensão intermediária.

Qual dos tipos celulares a seguir realiza funções básicas, como obtenção de energia dos alimentos?	
<p>A. ☐</p> <p>Células animais, mas não células bacterianas.</p>	<p>B. ☐</p> <p>Células bacterianas, mas não células animais.</p>
<p>C. ☐</p> <p>Ambas, células animais e bacterianas.</p>	<p>D. ☐</p> <p>Nem células bacterianas, nem células animais.</p>

Questão 11. Conceito do tipo III – conceitos de compreensão intermediária.

Qual das afirmações a seguir é VERDADEIRA?

<p>A. ☐</p> <p>DNA é feito de proteínas.</p>	<p>B. ☐</p> <p>Proteínas são feitas de DNA.</p>
<p>C. ☐</p> <p>DNA é feito de aminoácidos.</p>	<p>D. ☐</p> <p>Proteínas são feitas de aminoácidos.</p>

Questão 12. Conceito do tipo III – conceitos de compreensão intermediária.

Diferentes tipos de moléculas de proteína são feitas dentro das células de um organismo como o humano. Pode ser influenciado pela ação dessas moléculas de proteína:

<p>A. ☒</p> <p>Tanto características físicas humanas como comportamentais.</p>	<p>B. ☐</p> <p>Uma característica física humana, mas não seu comportamento.</p>
<p>C. ☐</p> <p>O comportamento de um humano, mas não suas características físicas.</p>	<p>D. ☐</p> <p>Nem características físicas humanas, nem comportamentais.</p>

Questão 13. Conceito do tipo III – conceitos de compreensão intermediária.

No homem, quais dos seguintes fatores pode ser influenciado pelo seu DNA.

<p>A. ☒</p> <p>Tanto características físicas humanas como comportamentais.</p>	<p>B. ☐</p> <p>Uma característica física humana, mas não seu comportamento.</p>
<p>C. ☐</p> <p>O comportamento de um humano, mas não suas características físicas.</p>	<p>D. ☐</p> <p>Nem características físicas humanas, nem comportamentais.</p>

Questão 14. Conceito do tipo III – conceitos de compreensão intermediária.

Questão 15. Conceito do tipo IV – conceitos em consolidação.

Sobre a extinção de espécies, podemos afirmar:

<p>A. ☐</p> <p>Pouquíssimas espécies foram extintas. A maioria continua existindo.</p>	<p>B. ☐</p> <p>Existiram alguns eventos nos quais muitas espécies foram extintas ao mesmo tempo. Com exceção desses eventos, extinções são muito raras.</p>
<p>C. ☐</p> <p>Até recentemente, espécies raramente eram extintas. Os humanos têm causado a maioria das extinções.</p>	<p>D. ☐</p> <p>Muitas espécies vêm sendo extintas ao longo da história da vida na terra.</p>

Questão 16. Conceito do tipo IV – conceitos em consolidação.

Vasos sanguíneos microscópicos (capilares) são encontrados:

<p>A. </p> <p>No cérebro, pulmões e intestinos, e também nos braços, pernas, mãos e pés.</p>	<p>B. </p> <p>No cérebro, pulmões e intestinos, mas não nos braços, pernas, mãos e pés.</p>
<p>C. </p> <p>Nos braços, pernas, mãos e pés, mas não em no cérebro, pulmões e intestinos.</p>	<p>D. </p> <p>Nem nos braços, pernas, mãos e pés, tão pouco em órgãos no cérebro, pulmões ou intestinos.</p>

Questão 17. Conceito do tipo V – conceitos de amplo domínio.

Todas as figuras a seguir apresentam competição entre animais, EXCETO:

Questão 18. Conceito do tipo V – conceitos de amplo domínio.

Podemos afirmar sobre as condições ambientais na terra:

<p>A. ☐</p> <p>Sempre foram as mesmas, a não ser por mínimas mudanças de ano pra ano.</p>	<p>B. ☐</p> <p>Mudaram no passado, mas não estão mudando hoje em dia.</p>
<p>C. ☐</p> <p>Não mudaram no passado, mas estão mudando hoje em dia.</p>	<p>D. ☐</p> <p>Mudaram no passado e continuam mudando hoje em dia.</p>

Questão 19. Conceito do tipo V – conceitos de amplo domínio.

Células vermelhas do sangue carregam oxigênio. Qual dos tipos celulares a seguir utiliza o oxigênio carregado pelas células vermelhas do sangue?

<p>A. </p> <p>Tanto células dos pulmões como células do resto do corpo.</p>	<p>B. </p> <p>Células dos pulmões, mas não células do resto do corpo.</p>
<p>C. </p> <p>Células de todo o corpo, exceto as dos pulmões.</p>	<p>D. </p> <p>Nem células do corpo, nem células dos pulmões.</p>

Questão 20. Conceito do tipo V – conceitos de amplo domínio.

Qual das afirmações a seguir é VERDADEIRA sobre plantas e animais?

<p>A. ☒</p> <p>Existem tanto semelhanças como diferenças entre plantas e animais.</p>	<p>B. ☐</p> <p>Existem semelhanças, mas não diferenças entre plantas e animais.</p>
<p>C. ☐</p> <p>Existem diferenças, mas não semelhanças entre plantas e animais.</p>	<p>D. ☐</p> <p>Não há como dizer se plantas e animais tem semelhanças ou diferenças.</p>

Nas questões 1, 2 e 3, todos os grupos, independente do estágio de formação, apresentam uma porcentagem muito baixa de acertos (<15% para estudantes do EM e ingressantes em C.B. e <60% para os biólogos). Essas questões foram, portanto, classificadas como questões do tipo **I** e apresentam conceitos que precisam de bastante atenção quando apresentados. Verifica-se que a mudança conceitual nesses casos encontra uma forte resistência.

Nas questões 4, 5 e 6, classificadas como possuidoras de conceitos do tipo **II**, conforme a especialização dos indivíduos avança, o número de acertos nessas questões aumenta. Desta forma, é possível considerá-los mais suscetíveis à mudança conceitual, uma vez que sua compreensão parece crescer ao longo do tempo. Nessas questões, o grupo de alunos do E.M. apresenta uma porcentagem de acerto baixa (<30%), a qual cresce já no primeiro ano do curso de Ciências Biológicas (>50% e <70%) e alcança níveis altos de acertos no grupo dos Biólogos (>90%). Já nas questões 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14, verificou-se um desempenho intermediário entre os estudantes de E.M. e ingressantes em C.B. (>40% e <70%) e, por isso, seus conceitos foram classificados como do tipo **III**. Nos biólogos, a porcentagem de acertos nesses conceitos supera os 80%. Isso indica que tratam-se de conceitos que somente são apreendidos plenamente com o estudo mais profundo dos temas.

As questões 15 e 16 apresentaram variações entre os alunos do E.M. e os ingressantes em C.B.. Ainda assim, verifica-se nelas um desempenho intermediário nos estudantes do E.M. e ingressantes em C.B. e satisfatório entre os biólogos que nos permitiu classificá-las como questões com conceitos do tipo **IV**. Enquanto os alunos do E.M. apresentam uma porcentagem de acerto em torno de 50%, os ingressantes em C.B. acertam entre 70% e 85% e se aproximam mais da porcentagem de acerto encontrada entre os biólogos (sempre >80%). Isso demonstra que esses conceitos, embora não de aceitação intermediária, são consolidados com o aumento da especialização.

Por fim, as questões 17, 18, 19 e 20 aparentemente não possuem concepções alternativas fortes, uma vez que a porcentagem de acerto desses grupos nessas questões é elevada em todos os grupos estudados (>70%), permitindo classificá-las como possuidores de conceitos do tipo **V**, ou seja, de amplo

domínio, independentemente do grau de especialização. Sendo assim, são de menor interesse ao estudo dos processos de mudança conceitual, quando comparadas às outras, uma vez que os conceitos científicos, nesses temas, já são amplamente aceitos.

4.2 Resultados de RCP

Com o intuito inicial de investigar se a RCP poderia ser um preditor da escolha feita pelos participantes, realizamos inicialmente uma ANOVA de medidas repetidas com as médias dos registros de RCP de cada indivíduo no momento da visualização das alternativas, considerando os fatores Questão (*questões de biologia x questões controle*) e Escolha (*alternativas escolhidas x alternativas não-escolhidas*) como intra-grupos, e o fator Especialidade (*biólogos x não-biólogos*) como fator entre-grupos. Encontramos um efeito principal significativo para os fatores *Especialidade* ($F(1,34) = 4,18$; $P < 0,05$) e *Questão* ($F(1,34) = 4,48$; $P < 0,05$). Não foi encontrada interação significativa entre esses fatores investigados (**Figuras 6, 7 e 8**).

Figura 6: Resposta de condutância da pele (RCP) em microsiemens (μS) dos biólogos e dos não-biólogos durante toda a execução do questionário. Os biólogos apresentaram menores valores de RCP do que os não-biólogos quando considerado todo o intervalo de tempo referente à realização do experimento. As barras indicam um intervalo de confiança de 95%.

De uma maneira geral, observamos que os não-biólogos apresentaram medidas de RCP superiores aos biólogos. Isso poderia ser explicado pelo fato desse último grupo ser formado apenas por estudantes da área de humanidades, e que, por essa razão, não estão acostumados ao ambiente de experimentação, ao contrário dos biólogos. Dessa maneira, os maiores registros de RCP nesse grupo podem simplesmente refletir um maior estado geral de estresse desse grupo frente a todo o procedimento realizado. Veremos que essa diferença entre biólogos e não-biólogos está presente também em outras situações. Além disso, o fato de o questionário de biologia ter sido desenvolvido e validado pelos resultados de desempenho, estritamente com concepções alternativas comumente aceitas por indivíduos não especialistas na área, pode também gerar estresse nos respondentes não especialistas.

Figura 7: Resposta de condutância da pele (RCP) em microsiemens (μS) de todos os indivíduos em um só conjunto (biólogos e não-biólogos) para as questões de biologia e controle. As barras indicam um intervalo de confiança de 95%.

Também observamos RCPs significativamente superiores nas questões de biologia quando comparadas às questões controle – nos dois grupos estudados. Eventualmente, podemos supor que a natureza das questões de biologia exija um tipo de processamento com maior esforço cognitivo, ou maior demanda de estruturas límbicas. Podemos, ainda, supor que, devido ao fato de as questões de biologia terem sido propositalmente desenvolvidas para captar concepções alternativas nessa disciplina, como já mencionado, a presença dessas concepções seja responsável pela diferença observada na **Figura 7**. Ou seja, as concepções alternativas eventualmente geraram situações de conflito cognitivo, expressas pelos aumentos da condutância verificados em ambos os grupos.

Figura 8: Resposta de condutância da pele (RCP) em microsiemens (μS) para biólogos e não-biólogos para cada tipo de questão comparando o momento da visualização das alternativas escolhidas (E) com a média das três alternativas não-escolhidas (NE). As barras indicam um intervalo de confiança de 95%.

Não encontramos, como era inicialmente esperado, uma condutância significativamente maior nas alternativas escolhidas (em comparação com as não-escolhidas) – o que poderia caracterizar esse marcador somático como um preditor do processo de tomada de decisão. Entretanto, como podemos observar na **Figura 8**, as alternativas não-escolhidas pelos não-biólogos nas questões de biologia são as que apresentam maiores RCPs. De fato, uma ANOVA comparando somente esse fator (*Escolha*) entre os dois grupos estudados, evidencia um aumento estatisticamente significativo [$F(1, 34)=4,6278, p=,039$] entre os não-biólogos. Ou seja, mesmo optando por não escolher essas alternativas, o que se verifica é uma resposta de condutância maior nesses casos.

Uma ANOVA de medidas repetidas com as médias dos registros de RCP no momento em que os participantes efetuavam a escolha entre as alternativas – considerando o fator Questão (*questões de biologia x questões controle*) como intra-grupo e o fator Especialidade (*biólogos x não-biólogos*) como fator entre-grupos – não encontrou nenhum efeito principal com significância estatística. Também não foi encontrada interação significativa entre os fatores investigados (**Figura 9**). Embora não significativo estatisticamente, observamos novamente um aumento na RCP dos não-biólogos, agora no momento da resposta.

Figura 9: Resposta de condutância da pele (RCP) em microsiemens (μS) de biólogos (azul) e não-biólogos (vermelho) para as questões de biologia e controle no momento da resposta, ou seja, no momento em que os indivíduos visualizavam as quatro alternativas e tinham obrigatoriamente que escolher uma. As barras indicam um intervalo de confiança de 95%.

Uma ANOVA, na qual que o fator Momento (*visualizando a escolhida x escolhendo*) é o fator intra-grupo e o fator Especialidade (*biólogos x não-biólogos*) é fator entre-grupos, revela um efeito muito significativo para o fator *Momento* ($F(1,34)$

= 21,71; $P < 0,0001$). Isso mostra um pronunciado aumento da RCP entre o momento em que os voluntários visualizavam a alternativa que iriam escolher e o momento em que eles efetivamente realizavam essa escolha (**Figura 10**). No momento em que as quatro alternativas eram simultaneamente apresentadas (após a visualização de cada uma individualmente), o voluntário necessariamente tinha que emitir uma resposta, o que caracteriza a tarefa empregada como um teste de escolha forçada. Dessa forma, nesse instante – no qual o participante está sob pressão máxima – o aumento da condutância é esperado. A diferença entre as RCPs no momento de visualização e no momento de escolha caracterizariam um perfil temporal dessa medida ao longo do processo de tomada de decisão. Como mencionado anteriormente, as emoções podem ser interpretadas como reações dependentes e relacionadas ao nosso conhecimento da urgência de uma ação (OATLEY, 2004), o que explicaria a diferença tão significativa.

Deve-se salientar ainda o fato de que as alternativas permaneciam na tela por um período de tempo relativamente curto (7-9s). Esse fato é importante uma vez que respostas de estresse, em geral, são mais facilmente registradas por meio da RCP em intervalos de tempo da ordem de dezenas de segundos a alguns minutos (NAQVI, 2006). Assim sendo, o momento da visualização das alternativas provavelmente dificulta a captação de respostas de estresse. Em oposição, o momento da resposta permitia aos sujeitos refletir por mais tempo acerca da pergunta e das alternativas, o que facilita a captação de RCPs relacionadas ao estresse.

Uma ANOVA de medidas repetidas com as médias dos registros de RCP contendo os fatores Questão (*questões de biologia e questões controle*) e Momento (*visualizando a escolhida x escolhendo*) como intra-grupos, e o fator Especialidade (*biólogos e não-biólogos*) como fator entre-grupos, não encontrou efeitos de interação significativos entre esses fatores (**Figura 11**).

Para a verificação do papel emocional no processo de mudança conceitual, selecionamos as questões que apresentaram maior diferença no número de acertos entre o grupo dos não-biólogos e o grupo dos biólogos (diferença mínima de 40% entre os grupos). Ainda, não apenas consideramos as questões que apresentaram grande diferença de acertos entre esses dois grupos mas também, aquelas nas

quais os biólogos apresentaram desempenho extremamente alto (> 90% de acertos). Essa escolha se justifica pelo fato de, nesses casos, o conceito abordado por essas questões ser de amplo domínio apenas do grupo dos biólogos (especialistas), indicando que esses já passaram pelos processos de mudança conceitual correspondentes. Assim sendo, as questões utilizadas nas análises de RCP dos participantes desses grupos foram as questões 4, 6, 8, 11, 12, 13 e 14, ou seja, apenas questões com conceitos do tipo II e do tipo III (ver respectivas na seção de desempenho).

Figura 10: Resposta de condutância da pele (RCP) em microsiemens (μS) de biólogos e não-biólogos no momento da visualização da alternativa escolhida e no momento da resposta. As barras indicam um intervalo de confiança de 95%.

Realizamos então uma ANOVA de medidas repetidas com as médias dos registros de RCP no momento da visualização das alternativas das questões de biologia, contendo o fator Concepção (*alternativa x científicas*) como intra-grupo e o fator Especialidade (*biólogos e não-biólogos*) como fator entre-grupos. Não foram

encontrados efeitos significativos nesses fatores, nem interação significativa (**Figura 12**). Novamente, os não-biólogos apresentaram RCPs maiores do que os biólogos.

Figura 11: Resposta de condutância da pele (RCP) em microsiemens (μS) de biólogos (azul) e não-biólogos (vermelho) no momento da visualização da alternativa escolhida (Vis) e no momento da resposta (Res) para as questões de biologia e controle. As barras indicam um intervalo de confiança de 95%.

Figura 12: Resposta de condutância da pele (RCP) em microsiemens (μS) para as 7 questões selecionadas (4, 6, 8, 11, 12, 13 e 14) por possuírem concepções alternativas verificadas na comparação de desempenho entre biólogos e não-biólogos. Em azul, a RCP dos biólogos e em vermelho a RCP dos não-biólogos no momento da visualização das concepções científicas e das concepções alternativas. As barras indicam um intervalo de confiança de 95%.

5. DISCUSSÃO GERAL E CONCLUSÃO

Os resultados de desempenho indicaram que, de uma maneira geral, o questionário desenvolvido foi capaz de diferenciar especialistas de não especialistas em biologia. A partir dele, é possível inferir se o respondente é ou não um especialista em biologia. Os resultados permitiram também identificar alguns tipos de questões em relação aos conceitos nelas apresentados. Conforme exposto, algumas questões apresentaram aumento claro na porcentagem de acertos com o avanço da especialização dos indivíduos (questões com conceitos do tipo II). Outras, mostraram conceitos nos quais o desempenho é intermediário entre os grupos de não-biólogos (conceitos do tipo III). O questionário permitiu, ainda, verificar desde conceitos nos quais o ensino superior consolida um conhecimento já estabelecido

pelos grupos não especialistas (conceitos do tipo IV), bem como conceitos com desempenhos extremos de acertos – os indivíduos acertam independentemente da formação e, portanto, não há concepções alternativas fortes (conceitos do tipo V) – e de erros – os indivíduos erram independentemente da formação (conceitos do tipo I).

Ainda assim, a partir dos resultados obtidos, acreditamos que essa ferramenta pode (e deve) ser aperfeiçoada, utilizando somente questões em que se verifique efetiva mudança conceitual (como as questões 4, 6, 8, 11, 12, 13 e 14, por exemplo). Ressaltamos que o desenvolvimento de ferramentas desse tipo é de suma importância no auxílio à pesquisa em mudança conceitual em biologia. Dispor de ferramentas que permitam analisar como indivíduos com diferentes formações lidam com conceitos da biologia é fundamental para que possamos compreender melhor os processos de aprendizagem na área e, assim, melhorar as práticas de ensino. Em um futuro próximo, essas e outras questões devem ser aplicadas a um número maior de indivíduos a fim de possibilitar estudos mais aprofundados acerca dos processos de mudança conceitual com possíveis contribuições das neurociências cognitivas.

Os resultados de condutância evidenciaram que a RCP dos não-biólogos é maior que a dos biólogos, independentemente da situação em que a medida é registrada. Uma interpretação possível para isso seria o estresse. Na literatura, a maior parte dos trabalhos que se utiliza de medidas de RCP para estudar efeitos de estresse, o faz relacionando-os a situações que oferecem (ou fingem oferecer) algum tipo de risco à integridade física, como choques elétricos, faíscas, sons altos ou apresentando imagens com alta carga emocional, como acidentes, ferimentos e etc (BOUCSEIN, 2012). Entretanto, autores como Erdmann, Janke, and Bisping² (1984 apud BOUCSEIN, 2012, P. 388) realizaram um estudo no qual os participantes demonstraram maiores RCPs quando obrigados a falar em público, do que quando expostos a sons de alta intensidade ou eletrochoques. Dessa forma, podemos interpretar esses dados gerais de maior RCP por parte dos não-biólogos

² Erdmann, G., Janke, W., & Bisping, R. Wirkungen und Vergleich der Wirkungen von vier experimentellen Belastungssituationen. **Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie**, 31, 521–543, 1984.

como uma resposta à condição de estresse. É provável que, devido à situação experimental, os não-biólogos tenham se sentido sob julgamento, uma vez que existem respostas consideradas certas ou erradas. Ainda, não podemos esquecer que esses sujeitos encontravam-se em uma situação experimental à qual não estão habituados e cujo conteúdo não é de seu amplo domínio.

Gregson et al (2014) verificou que AED está relacionada à moderação de estresse perante pares. Em seu estudo, Gregson verificou que a AED participa na moderação de crianças vitimizadas por pares e em suas externalizações de insatisfação. Segundo seus dados, crianças com baixa atividade eletrodérmica em situações de conflito com pares tendem a apresentar dificuldades em lidar com tais problemas, enquanto os que apresentam maiores variações de AED lidam melhor com situações conflituosas. Seu estudo mostra que conflitos com pares são capazes de gerar significativas alterações na atividade eletrodérmica da pele. Frente à dificuldade em responder um questionário aplicado por um semelhante (um pós-graduando), e à pressão de apresentar um desempenho razoável, somada ao conteúdo desse questionário, os sujeitos de nossa pesquisa, em especial os não-biólogos, podem ter apresentado resposta semelhante às crianças de Gregson.

O tipo de procedimento adotado (questionário + RCP) parece ser uma interessante ferramenta para a investigação dos eventos subjacentes ao processo de tomada de decisão durante uma tarefa de múltipla escolha, tão frequentemente utilizada em avaliações no Ensino de Ciências (KRASILCHIK, 2012). Nossos resultados deixam claro o efeito da resposta forçada na RCP dos indivíduos. Esses efeitos devem ser considerados não apenas no Ensino de Ciências, como também na aplicação de avaliações em geral.

Os registros de RCP se mostraram parcialmente adequados para o estudo dos vínculos afetivos dos estudantes com as concepções científicas, possivelmente por não possuímos ainda uma ferramenta adequada de avaliação de desempenho. Salientamos que, com o aprimoramento dessa ferramenta, acreditamos que as investigações sobre as relações entre afetividade e conhecimento científico poderão ser melhor estudadas a partir de registros de RCP, uma vez que esse tipo de medida é utilizado com sucesso em diversas situações.

Ressaltamos que o presente estudo foi um trabalho essencialmente exploratório e pioneiro. Embora tenha sido inspirado em um trabalho efetuado no Ensino de Física, os resultados aqui encontrados foram divergentes dos obtidos por Brockington (2011). Diversas razões podem ser aventadas para esse fato: desde diferenças na amostra estudada (o sistema educacional brasileiro é diferente do americano), até a natureza do conhecimento de Biologia, que pode ser essencialmente diversa da natureza do conhecimento de Física. Vale mencionar o fato de que as concepções alternativas de Física são mapeadas há muito tempo, e muito bem descritas na literatura. No Ensino de Biologia, esse é um fenômeno muito mais recente, com o qual o presente estudo certamente pretende colaborar. Acreditamos que a associação de registros psicofisiológicos, como o empregado aqui, pode futuramente enriquecer a investigação na área de Ensino de Ciências e no processo de aprendizagem em geral. Futuros trabalhos seguramente são necessários para avaliar essa possibilidade.

Finalmente, acreditamos que, como demonstram os trabalhos de Damásio e de outros pesquisadores que concebem os aspectos afetivos e emocionais – mesmo os mais básicos e viscerais – como constituintes fundamentais da cognição humana, não há motivos que justifiquem, do ponto de vista neurofisiológico, a concepção de uma cognição “fria”, racional, puramente lógica e científica. Ainda que o processo de aprendizagem não se encerre em estruturas cerebrais apenas, e dependa certamente de fatores sociais, históricos e culturais, sua base biológica é inegável. Dessa maneira, não parece razoável diminuir o papel das emoções tanto na análise de processos cognitivos, quanto no ensino e aprendizagem de ciências praticado em nosso sistema de ensino.

6. BIBLIOGRAFIA

AAAS. American Association for the Advancement of Science. Disponível em: <<http://assessment.aaas.org/topics>>. Acesso em: 21 Ago. 2014.

ALEXANDER, P. A. **Persuasion: Rethinking the nature of change in student's knowledge and beliefs**. International Journal of Science Education, 35:301-307, 2001.

ALSOP, S. **Science education and affect**. International Journal of Science Education, 25:1043-1047, 2003.

ARNOLD, M. B. **Emotion and personality**. Columbia University Press. 1960.

BECHARA, A. et al. **The Iowa Gambling Task and the somatic marker hypothesis: Some questions and answers**. Trends in Cognitive Sciences, 9:159-162, 2005.

BIZZO, N. **From Down House Landford to Brazilian High School Students: What has happened to evolutionary knowledge on the way?** Journal of Research in Science Teaching, 31: 537-556, 1994.

BLESS, H.; FIEDLER, K. **Mood and the regulation of information processing and behavior**. In J. P. FORGAS, Affect in social thinking and behavior. New York: Psychology Press, 65-84, 2006.

BLESS, H. **The interplay of affect and cognition**. In Forgas JP. (ed), Feeling and Thinking: The Role of Affect in Social Cognition. Cambridge University Press, 2001.

BOUSCEIN, W. Applications of Electrodermal Recording. In:_____. **Electrodermal activity**. Springer, 2012.

BROCKINGTON, J. G. O. **Neurociência e Educação: Investigando o Papel das Emoções na Aquisição e Uso do Conhecimento Científico**. FE-USP, São Paulo, 2011.

CABOT, J. B. **Sympathetic preganglionic neurons: cytoarchitecture, ltrastructure, and biophysical properties**. In: LOEWY, A. D., SPYER, K. M. Central Regulation of Autonomic Functions. Oxford university Press, 44-67, 1990.

CAREY, S. **Science Education as Conceptual Change**. Journal of Applied Developmental Psychology, 21: 13-19, 2000.

CHAN, C. et al. **Knowledge building as a mediator of conflict in conceptual change**. Cognition and Instruction, 15: 1-40, 1997.

CLARK, M. S.; ISEN, A. M. **Toward understanding the relationship between feeling states and social behavior**. Cognitive Social Psychology, Elsevier, New York, 73 -108, 1982.

COBERN, W. W. **Everyday thoughts about nature**. Dordrecht: Kluwer, 2000.

CRITCHLEY, H. D. **Book Review: Electrodermal Responses: What Happens in the Brain** The Neuroscientist, 8: 132-142, 2002.

CUSTÓDIO, J. F. **Explicando Explicações na Educação Científica: Domínio Cognitivo, Status Afetivo e Sentimento de Entendimento**. UFSC, Florianópolis, 2007.

DA LUZ, M. R. M. P. **Glucose as the sole metabolic Fuel: a study on the possible influence of teachers' knowledge on the establishment of a misconception among Brazilian high school students**. Advances in Physiology Education, 32: 225-230, 2008.

DAMASIO, A. **Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain**. Penguin, 2005.

DAMASIO, A. **The feeling of what happens: body and emotion in the making of consciousness**. Harcourt Brace, New York, 1999.

DAMASIO, A. et al. **The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex**. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 351:1413-1420, 1996.

DAWSON, M. E.; SCHELL, A. M.; FILION, D. L. **The electrodermal system**. In: CACIOPPO, J. T.; TASSINARY, L. G.; BERNTSON, G. C. Handbook of psychophysiology. 2nd ed. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2000.

DREYFUS, A. et al. **Applying the “cognitive conflict” strategy for conceptual change – some implications, difficulties and problems**. Science Education, 74:555-569, 1990.

EKMAN, P. **An argument for basic emotions.** *Cognition and Emotion*, 6:169–200, 1992.

FIGNER, B.; MURPHY, R. O. **Using skin conductance in judgment and decision making research.** In: SCHULTE-MECKLENBECK, M.; KUEHBERGER, A.; & RANYARD, R. *A Handbook of process tracing methods for decision research*. New York, NY: Psychology Press, 2010.

FOWLES, D. C. et al. **Committee report: publication recommendations for electrodermal measurements.** *Psychophysiology*, 18:232–239, 1981.

FOLKOW, B. **Perspectives on the integrative functions of the “sympatho-adrenomedullary system”.** *Autonomic Neuroscience*, 83:101–115, 2000.

FORGAS, J. P. **Affect and Cognition.** *Perspectives on Psychological Science*, 3: 94-101, 2008.

FORGAS, J. P. **Affect in social judgments and decisions: A multi-process model.** *Advances in Experimental Social Psychology*, 25:227-275, 1992.

GREGSON, K. D.; TU, K. M.; ERATH, S. A. **Sweating under pressure: skin conductance level reactivity moderates the association between peer victimization and externalizing behavior.** *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 55: 22–30, 2014.

GUZZETTI, B. **Learning counter-intuitive science concepts: What we have learned from over a decade of research?** *Reading & Writing Quarterly*, 16:89-98, 2000.

GUZZETTI, B. J.; GLASS, G. V. **Promoting conceptual change in science: A comparative metaanalysis of instructional interventions from reading education and science education.** *Reading Research Quarterly*, 28:116–159, 1993.

HAIDT, J. **The moral emotions.** In: DAVIDSON, R. J.; SCHERER, K. R. & GOLDSMITH, H. H. *Handbook of Affective Sciences*. Oxford University Press, 852–870, 2003.

HATANO, G. INAGAKI, K. **When Is Conceptual Change Intended? A Cognitive-Sociocultural View.** In: SINATRA, G.; PINTRICH, P. *Intentional Conceptual Change*. Mahwah: Erlbaum Associates, 2003.

HEMPEL, C. G. **Aspects of Scientific Explanation and other Essays in the Philosophy of Science**. New York: Free Press, 1965.

HEWSON, P.; HEWSON, M. **The status of student's conceptions**. In: DUIT, F. G. R. & NIEDDERER, H. *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel: Institute for Science Education at the University of Kiel, 1992.

INAGAKI, K. HATANO, G. **Young Children's Conception of the Biological World**. *Current Directions in Psychological Science*, 15: 177-181, 2006.

JÄNIG, W.; KÜMMEL, H. **Organization of the Sympathetic Innervation Supplying the Hairless skin of the Cat's Paw**. *Journal of the Autonomic Nervous System*, 3:215—230, 1981.

KANG, S. et al. **Reexamining the role of cognitive conflict in science concept learning**. *Research in Science Education*, 34:71-96, 2004.

KRASILCHIK, M. **Prática de Ensino de Biologia**. Editora da Universidade de São Paulo, 4ª ed. Ver. e ampl., 3ª reimpr., 139-167, 2012.

KUBOTA, J. T. et al. **The neuroscience of race**. *Nature Neuroscience*, Vol. 15, 7:940-948, 2012.

KUHN, T. **The Structure of Scientific Revolutions**. Chicago: University of Chicago Press, 1962.

LAZARUS, R. S. **On the primacy of cognition**. *American Psychologist*. 37:1019–1024, 1984.

LE DOUX J. **The Emotional Brain**. New York: Simon & Schuster, 1998.

LIMÓN, M.; MASON, S. **Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice**. Kluwer Academic Publisher, 2002.

LIMÓN, M. **On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: a critical appraisal**. *Learn and instruction*, 11:357-380, 2001.

LIMÓN, M.; CARRETERO, M. **Conceptual change and anomalous data: A case study in the domain of natural sciences**. *European Journal of Psychology of Education*, 12:213-230, 1997.

MATTHEWS, M. R. **Introductory comments on philosophy and constructivism**

in science education. Science & Education, 6:15-28, 1997.

MILLAR, R.; OSBORNE, J. **Beyond 2000: Science education for the future.** London: King's College London, 1998.

MODHA, D. S.; SINGH, R. **Network architecture of the long-distance pathways in the macaque brain.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107: 13485-13490, 2010.

MOLL, J., et al. **The neural basis of human moral cognition.** Nature Reviews, Neuroscience, 6:799–809, 2005.

MORTIMER, E. **Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: Para Onde Vamos?** Investigações em Ensino de Ciências, 1:20-39, 1996.

MORTIMER, E. **Conceptual change or conceptual profile change?** Science & Education, 4:267-285, 1995.

NAQVI, N.; SHIV, B.; BECHARA, A. **The Role of Emotion in Decision Making: A Cognitive Neuroscience Perspective.** Current Directions in Psychological Science, 15: 260-264. 2006

OATLEY, K.; KELTNER, D.; JENKINS, J. M. **Understanding Emotions.** Blackwell Publishing. 2006.

OATLEY, K. **Emotions: A Brief History.** Blackwell Publishing. 2004.

PHELPS, E. A. **Emotion and Cognition: Insights from Studies of the Human Amygdala.** Annuals Reviews in Psychology, 57:27-53, 2006

PESSOA, L. **The Cognitive-Emotional Brain – From Interactions to Integration.** The MIT Press, 2013.

PESSOA, L. Reprint of: Emotion and cognition and the amygdala: from "what is it?" to "what's to be done?". **Neuropsychologia**, 49: 681-694, 2011

PESSOA, L. **On the relationship between emotion and cognition,** Nature Reviews, Neuroscience, 9:148-158, 2008.

PETROVICH, G. D.; CANTERAS, N. S.; SWANSON, L. W. **Combinatorial amygdalar inputs to hippocampal domains and hypothalamic behavior systems.** Brain Research Reviews, 38: 247-289. 2001.

PINTRICH, et al. **Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the processes of conceptual change.** Review of Educational Research, 63:167-199, 1993.

POSNER, G. et al. **Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change.** Science Education, 66:211-227, 1982.

PUGH, K. J. et al. **Motivation, Learning, and Transformative Experience: A Study of Deep Engagement in Science.** Science Education, 94:1–28, 2009.

RAMACHANDRAN, V. S. **Edge, 2012: What Is Your Favorite Deep, Elegant, or Beautiful Explanation? Genes, claustrum, and consciousness.** Disponível em: <<http://edge.org/responses/what-is-your-favorite-deep-elegant-or-beautiful-explanation>, 2012.>. Acesso em: 25 Junho, 2014.

ROLLS, E. T. **Emotion explained.** Oxford University Press, 2005.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. **Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica.** Investigações em Ensino de Ciências, 16: 59-77, 2011.

SEQUEIRA, H. et al. **Electrical autonomic correlates of emotion.** International Journal of Psychophysiology, 71: 50-56, 2009.

SEQUEIRA, H.; ROY, J.C. **Neural control of electrodermal activity.** Central Nervous Control of Autonomic Function, vol. 11. Harwood Academic Publishers, Amsterdam, 259–293, 1997.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication.** Urbana: University of Illinois Press, 1962.

SINATRA, G.; PINTRICH, P. **Intentional Conceptual Change.** Mahwah: Erlbaum Associates, 2003.

STRIKE, K. A.; POSNER, G. J. **A revisionist theory of conceptual change.** In: DUSCHL, R.; HAMILTON, R. Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice (pp. 147-176). Suny Press, 1992

TEIXEIRA, F. M. S.; MORTIMER, E. **How emotions shape the relationships between a chemistry teacher and her high school students.** International Journal of Science Education, 25:1095-1110, 2003.

THAGARD, P. **The passionate scientist: Emotion in scientific cognition.** In: Tire cognitive basis of science. CARRUTHERS, P.; STICH, S.; SIEGAL M. Cambridge University Press, 2002.

THAGARD, P. **The Structure of Conceptual Change.** Cambridge: MTI Press, 1992.

TILLEMA, H. KNOL, W. **Promoting student teacher learning through conceptual change or direct instruction.** Teacher and Teacher Education, 13:579-595, 1997.

TYSON, L. et al. **A multidimensional framework for interpreting conceptual changes events in the classroom.** Science Education, 81:4, 1997.

VENABLES, P. H.; CHRISTIE, M. J. **Electrodermal activity.** In: MARTIN, I.; VENABLES, P. H. Techniques in psychophysiology. New York: John Wiley, 1980.

VIENNOT, L. **Spontaneous reasoning in elementary dynamics.** International Journal of Science Education, 1:205-221, 1979.

VISSING, S. F.; SCHERRER, U.; VICTOR, R. G. **Stimulation of skin sympathetic nerve discharge by central command. Differential control of sympathetic outflow to skin and skeletal muscle during static exercise.** Circulation Research 69:228–38, 1991.

VOSNIADOU, S.; MANSON, L. **Conceptual Change Induced by Instruction: a complex interplay of multiple factors.** In: Educational Psychology Handbook: Vol. 2. Individual Differences and Cultural and *Contextual Factors*, HARRIS, K. R.; GRAHAM, S.; URDAN, T. American Psychological Association, 2012

VOSNIADOU, S. **The conceptual change approach and its re-framing.** In: VOSNIADOU, S.; BALTAS. A.; VAMVAKOISSI, X. Reframing the Conceptual Change Approach in Learning and Instruction, p.1-15. Oxford: Elsevier, 2007a.

VOSNIADOU, S. **Conceptual Change and Education.** Human Development, 50:47-54, 2007b.

VOSNIADOU, S. **Capturing and Modeling the Process of Conceptual Change.** Learning and Instruction, 4:45-69, 1994.

WEAVER, G. C. **Strategies in K-12 science instruction to promote conceptual change.** Science Education, 82, 455–472, 1998.

YOUNG, M. P. et al. **Analysis of connectivity: neural systems in the cerebral cortex.** Reviews in Neuroscience. 5:227–50, 1994.

ZAJONC, R. B. **Feeling and thinking: Preferences need no inferences.** American Psychologist, 35: 151-175, 1980.

ANEXO 1- Questões controle

1. Para apoiar a regra de que “a temperatura diminui com o aumento da latitude”, deveríamos tomar como exemplo os dados referentes às cidades de:
 - A. Recife, Cuiabá e Rio de Janeiro.
 - B. Recife, Rio de Janeiro e Porto Alegre.
 - C. Manaus, Recife e Cuiabá.
 - D. Manaus, Rio de Janeiro e Porto Alegre
2. O deslocamento das massas de ar, que dão origem aos ventos, se fazem sempre:
 - A. das áreas mais elevadas para as mais baixas.
 - B. das áreas de temperaturas mais altas para as de temperatura mais baixa.
 - C. das áreas de alta pressão para as de baixa pressão.
 - D. das áreas mais úmidas para as mais secas.
3. A bacia hidrográfica brasileira com maior possibilidade de navegação é:
 - A. Bacia do São Francisco.
 - B. Bacia do Paraná.
 - C. Bacia do Uruguai.
 - D. Bacia Amazônica.
4. O fenômeno representado no mapa da América do Sul, ao lado, corresponde à distribuição das:

5. Mandacaru, xiquexique e facheiro são algumas das espécies vegetais características de qual paisagem?

6. Migrações pendulares são:

- A. movimentos da população rural em direção aos grandes centros urbanos.
- B. troca de imigrantes entre as grandes regiões.
- C. deslocamento maciço de populações urbanas em direção ao campo.
- D. movimentos diários de trabalhadores entre o local de residência e o local de trabalho.

7. Uma explicação de caráter histórico para o maior número de adeptos do catolicismo no Brasil foi a existência, no passado colonial e monárquico da:

- A. incapacidade do cristianismo de incorporar aspectos de outras religiões.
- B. incorporação da ideia de liberdade religiosa na esfera pública.
- C. permissão para o funcionamento de igrejas não cristãs.
- D. relação de integração entre Estado e Igreja.

8. Geomorfologicamente a Serra do Mar é classificada como:

- A. uma escarpa de planalto.
- B. um altiplano.
- C. uma sucessão de montanhas.
- D. uma bacia de sedimentação.

9. O setor que mais utiliza ou consome energia elétrica no Brasil é:

- A. a indústria.
- B. os domicílios.
- C. o comércio.
- D. a iluminação pública.

10. A bacia hidrográfica com maior potencial hidráulico no Brasil é a bacia:

- A. Amazônica.
- B. do São Francisco.
- C. do Paraná.
- D. do Tocantins-Araguaia.

11. O movimento dos caras pintadas no início dos anos de 1990:

Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br>. Acesso em: 17 abr. 2010 (adaptado).

- A. manifestou-se contra a corrupção e pressionou pela aprovação da Lei da Ficha Limpa.
- B. Manifestou-se engajou-se nos protestos relâmpago e utilizou a internet para agendar suas manifestações.
- C. espelhou-se no movimento estudantil de 1968 e protagonizou ações evolucionárias armadas.
- D. Tornou-se porta-voz da sociedade e influenciou no processo de impeachment do então presidente Collor.

12. A Segunda Grande Guerra (1939 - 1945) adquiriu caráter mundial a partir de 7 de dezembro de 1941, quando:

- A. os russos tomaram a iniciativa de anexar os Estados Bálticos.
- B. os alemães invadiram o litoral mediterrâneo da África.
- C. os japoneses atacaram a base norte-americana de Pearl Harbor.
- D. os franceses, por determinação do marechal Pétain, ocuparam o Sudeste da Ásia.

13. "Para ele, os fatos econômicos e a luta de classes são o motor da História; o triunfo do proletariado e a implantação de uma sociedade sem classes são o objetivo final. Esse objetivo, contudo, só será alcançado com a união de todos os proletários."

O texto acima refere-se ao criador do socialismo científico:

- A. Karl Marx
- B. Vladimir Lenin
- C. Saint-Simon
- D. Adam Smith

14. Considerando a riqueza dos recursos hídricos brasileiros, uma grave crise de água em nosso país poderia ser motivada por:

- A. reduzida área de solos agricultáveis.
- B. ausência de reservas de águas subterrâneas.
- C. escassez de rios e de grandes bacias hidrográficas.
- D. degradação dos mananciais e desperdício no consumo.

15. A fotografia a seguir mostra uma rede de drenagem em determinada região brasileira. Observe- a.

Esse tipo de hidrografia, pelas características observadas, é típica do seguinte tipo de relevo:

- A. paisagens geomorfológicas fluviais apalachianas.
 - B. planaltos cristalinos.
 - C. cuevas flúvio-lacustrinas.
 - D. planícies fluviais.
16. Na fotografia reproduzida a seguir e assinala, com base nas evidências morfológicas, o processo responsável pela elaboração da paisagem visualizada em primeiro plano.

- A. Erosão eólica.
- B. Erosão glacial.
- C. Neotectonismo plástico.
- D. Sedimentação fluvial.

17. Cesarismo/cesarista são termos utilizados para caracterizar governantes atuais que, à maneira de Júlio César (de onde o nome), na antiga Roma, exercem um poder:

- A. teocrático.
- B. aristocrático.
- C. democrático.
- D. autocrático.

18. Qual das projeções cartográficas a seguir é a correta?

19. Latitude e Longitude são coordenadas geográficas medidas em:

- A. quilômetros, metros e centímetros
- B. graus, minutos e segundos.
- C. graus, quilômetros e metros.
- D. horas, minutos e segundos.

20. Considere o mapa abaixo e indique a alternativa correta.

A. O estado do Amazonas é o que apresentou maiores índices de chuvas no período indicado.

Fonte: INMET 1931/1990

B. O estado de São Paulo é o que apresentou maiores índices de chuvas no período indicado.

Fonte: INMET 1931/1990

C. O estado do Amazonas foi o mais frio no período indicado.

Fonte: INMET 1931/1990

D. O estado da Bahia foi o mais frio no período indicado.

Fonte: INMET 1931/1990

ANEXO 2 – Treino instrucional

1. Qual das imagens a seguir corresponde a um ventilador?

2. Em qual dessas cidades está sendo realizado esse experimento?

- A. Salvador
- B. Porto Alegre
- C. Rio de Janeiro
- D. São Paulo

3. Esse experimento está sendo realizado no:

- A. Instituto de Matemática
- B. Instituto de Psicologia
- C. Instituto de Biociências
- D. Instituto de Física