

Flávio Luis Leite Sousa

**AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DE
CORES NO MICO-DE-CHEIRO
(*Saimiri ustus*) PELO TESTE
PSEUDOISOCROMÁTICO DE HRR**

BRASÍLIA

2006

Flávio Luis Leite Sousa
(flsousa@hotmail.com)

**AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DE
CORES NO MICO-DE-CHEIRO
(*Saimiri ustus*) PELO TESTE
PSEUDOISOCROMÁTICO DE HRR**

Dissertação de mestrado apresentada ao
Instituto de Biologia da Universidade de
Brasília, como requisito para obtenção do
título de Mestre em Biologia Animal.

Prof. Dr. Valdir Filgueiras Pessoa
Orientador

BRASÍLIA

2006

Esta dissertação foi desenvolvida no Laboratório de Neurociências e Comportamento e Centro de Primatologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, sob orientação do Prof. Dr. Valdir Filgueiras Pessoa.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Valdir Filgueiras Pessoa, meu orientador, por ter disponibilizado seu tempo e experiência em todos os momentos;

A Prof^a. Dr^a. Maria Clotilde Henriques Tavares pela presteza em resolver todas as questões referentes ao Centro de Primatologia;

Ao Dr. Raimundo Silva de Oliveira e ao Geinaldo Vieira da Silva pelos cuidados prestados aos sujeitos experimentais no Centro de Primatologia;

Aos alunos de iniciação científica que auxiliaram na coleta de dados: Tiago Siebert Altavini e Pollyanna Wanderley;

A todos os colegas do Grupo de Visão de Cores;

A CAPES pela concessão da bolsa de mestrado;

À minha família e aos meus amigos, que, onde quer que estivessem, forneceram apoio de alguma forma (Bro Hymn...);

A Carol Prado por todas aquelas coisas, as boas e outras nem tanto, que nos fazem crescer;

E aos meus filhos, a promessa da imortalidade, sem os quais teria feito tudo mais rápido, mas de uma forma bem menos divertida.

RESUMO

A cor não é uma propriedade física dos objetos e luzes, é uma propriedade psicológica da experiência visual. A visão de cores começa com a absorção de luz pelos diferentes fotopigmentos nos cones na retina, que transduzem energia eletromagnética em correntes elétricas que são transformadas em potenciais de ação nas células ganglionares. Após ser transmitida por uma rede de células retinianas, a informação é enviada ao córtex visual via núcleo geniculado lateral em três canais separados de oponência cromática. No córtex, as informações dos três canais são combinadas e permitem a percepção de cores. Os humanos são tipicamente tricromatas e compõe as cores a partir da comparação da informação de três tipos de cones. Existem tricromatas típicos, anômalos e os dicromatas, que comparam a informação de apenas dois tipos de cones. Como a maioria dos platirrinos, os *Saimiri* possuem visão de cores polimórfica, de forma que todos os machos e as fêmeas homocigotas para o gene da opsina M/L são dicromatas e as fêmeas heterocigotas podem ser tricromatas. Sabe-se que seres humanos e *Saimiri* possuem picos espectrais com valores próximos. O objetivo do presente estudo foi comparar, através de uma abordagem comportamental, o desempenho de *S. ustus* e de humanos daltônicos no teste pseudoisocromático de HRR, desenvolvido para avaliar discromatopsias humanas. O HRR consiste de pranchas com a mesma matriz de círculos cinza que variam em tamanho e brilho. Alguns desses círculos são coloridos e formam um símbolo geométrico (X, O ou Δ), que é segregado do padrão cinza do fundo. A identificação (ou não) destes símbolos fornece o diagnóstico da discromatopsia. Foi utilizado um casal adulto da espécie *S. ustus*. Os animais foram testados em seus próprios viveiros no Centro de Primatologia da UnB sob luz solar natural, empregando-se um paradigma comportamental de aprendizagem discriminativa. Os *Saimiri* tiveram que escolher entre duas pranchas do HRR: uma só com o padrão

cinza e outra com uma figura colorida. O teste foi apresentado 16 vezes, numa seqüência aleatória. O limite superior de confiança de 95% sobre a aleatoriedade foi determinado pelo teste binomial. Os dados dos sujeitos foram plotados na planilha utilizada em humanos e a visão de cores dos *Saimiri* foi diagnosticada. O macho foi diagnosticado como dicromata protan e a fêmea como dicromata deutan. Para uma abordagem comparada, foi utilizada a mesma metodologia em dois homens jovens diagnosticados como daltônicos pelo teste de HRR. Os resultados mostram que a metodologia é válida para diagnóstico da visão de cores no *S. ustus* e sugerem que a percepção de cores desta espécie seja parecida com a dos humanos.

Palavras-chave: Percepção de cores, teste pseudoisocromático HRR, mico-de-cheiro, *Saimiri ustus*.

ABSTRACT

Color is a psychological property of our visual experiences, not a physical property of objects and lights. Color vision begins by the absorption of light by the different photopigments in the retinal cones that transduce the electromagnetic energy into electric impulses, which will become action potentials in ganglion cells. The signal is transmitted by a network of retinal cells and sent to visual cortex through three LGN chromatic opponency channels. These signals are gathered in cortex allowing color perception. Humans are usually trichromats and can see color by matching signals from three kinds of cones. There are trichromats, anomalous trichromats and dichromats, who match signals from three or two kinds of cones respectively. Like most of Platyrrhine, *Saimiri* have polymorphic color vision. All males and homozygous females for the M/L opsin-coding gene are dichromats, while heterozygous females can be trichromats. Human beings and *Saimiri* have similar spectral absorption peaks. The present study aims to compare, by a behavioral approach, *S. ustus* and color blind human's performance in a test designed for humans, the HRR pseudoisochromatic test. HRR consists of plates with the same gray circles matrix, varying in size and brightness. Some of these circles are colored and form a geometric shape (X, O or Δ), which is segregated from the gray pattern. The identification of these shapes (or not) determines the dichromatopsia kind. The animals, an adult couple of *S. ustus*, were tested in their own cages in the Primate Center of the University of Brasilia under natural sunlight, by a discriminative learning behavioral paradigm. *Saimiri* had to choose between two HRR plates in each trial: one with the gray pattern and other with a colored shape. The test was presented 16 times randomly. Based on the binomial test the 95% confidence limits around chance were calculated. Data were plotted in the HRR score sheet and *Saimiri* color vision was diagnosed. The male was diagnosed as protan dichromat and the

female as deutan dichromat. For a comparative approach the same methodology was used in two color blind humans previously diagnosed by HRR test. Results show that the methodology used here can be used to diagnose *S. ustus* color vision and suggest that the color perception of this species is quite similar to humans.

Keywords: Color perception, HRR pseudoisochromatic test, squirrel monkey, *Saimiri ustus*.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01. Sensibilidades espectrais relativas dos cones S, M e L	03
Figura 02. Esquema do mecanismo dos canais de oponência P e K	06
Figura 03. Tipos de visão de cores nos primatas do Novo e Velho Mundo	08
Figura 04. Fêmea de <i>Saimiri ustus</i> no Centro de Primatologia da UnB	13
Figura 05. Distribuição geográfica das espécies de <i>Saimiri</i>	13
Figura 06. Exemplos de pranchas originais do teste HRR	16
Figura 07. Planilha para anotação do desempenho no teste HRR	18
Figura 08. Forma de apresentar apenas uma figura por prancha do teste HRR	24
Figura 09. Vista frontal do suporte de acrílico	25
Figura 10. Exemplo de procedimento experimental	26
Figura 11. Figuras hierarquicamente compostas	41

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 01. Estudos de visão de cores no gênero <i>Saimiri</i>	15
Tabela 02. Desempenho dos <i>S. ustus</i> que não atingiram o critério no treino	31
Tabela 03. Desempenho do Macho 1 nas 16 sessões de teste	33
Tabela 04. Diagnóstico do Macho 1 pelo teste HRR	34
Tabela 05. Desempenho da Fêmea 1 nas 16 sessões de teste	35
Tabela 06. Diagnóstico da Fêmea 1 pelo teste HRR	36
Tabela 07. Comparação dos diagnósticos do Humano 1 nas duas metodologias	37
Tabela 08. Comparação dos diagnósticos do Humano 2 nas duas metodologias	37
Tabela 09. Comparação dos pigmentos do <i>Saimiri</i> com a visão de cores humana	39

ÍNDICE

	Pág.
1. Introdução	01
1.1. Visão de Cores em Platirrinos	07
1.2. O Gênero <i>Saimiri</i>	12
1.3. O Teste HRR (<i>Hardy Rand & Rittler Pseudoisochromatic Test</i>)	16
1.3.1. Protocolo de Aplicação do HRR em Humanos	17
1.3.2. Interpretação das Respostas	19
1.4. Justificativa	19
2. Objetivos	22
3. Metodologia	23
3.1. Sujeitos	23
3.2. Materiais	24
3.3. Procedimento	26
3.3.1. Protocolo Realizado no Mico-de-cheiro (<i>Saimiri ustus</i>)	26
3.3.1.1. Modelagem	27
3.3.1.2. Treino	28
3.3.1.3. Teste	29
3.3.2. Protocolo do Teste em Humanos	30
4. Resultados	31
4.1. Análise de Dados	32
5. Discussão	38
6. Referências Bibliográficas	44
7. Anexos	54

1 - INTRODUÇÃO

Os objetos e fontes de luz possuem a propriedade de parecerem coloridos. E as pessoas acreditam que eles parecem coloridos por **serem** coloridos. Por estranho que possa parecer, essa crença é fundamentalmente errada; a cor não é uma propriedade física dos objetos, é uma propriedade psicológica da nossa experiência visual (Palmer, 1999). Obviamente, a cor dos objetos e luzes é baseada em propriedades físicas destes, mas estas propriedades são bem distintas da experiência sensorial que ocorre no nosso córtex. A percepção de cores depende de fatores celulares, ambientais e, inclusive, culturais (Lent, 2001).

Desde o século passado, discussões teóricas sobre a visão de cores têm sido influenciadas por considerações acerca desta subjetividade perceptual. Vários aspectos dessa sofisticada modalidade visual já podem ser explicados pela organização biológica do sistema visual, principalmente nos estágios iniciais do processamento. Já nos níveis de processamento hierarquicamente superiores estas explicações ainda são incompletas e filosóficas, pois, além da complexa estimulação nas áreas visuais do córtex, a percepção de cores humana ainda é subordinada a áreas límbicas, mnemônicas e semânticas (Meyer, 2002).

A visão de cores começa com a absorção de luz pelos diferentes tipos de pigmentos fotorreceptivos nos cones na retina (Lennie & D'Zmura, 1988 e Mollon, 1982), que transduzem energia eletromagnética em correntes elétricas (Jindrova, 1998). Estas correntes elétricas são transformadas em potenciais de ação nas células ganglionares, após serem transmitidas por uma complicada rede de células retinianas (células bipolares, horizontais e amácrinas). A informação é enviada ao córtex visual via núcleo geniculado lateral em três canais separados de otonência cromática, sugerindo que uma grande parte do processamento ocorre ainda nos estágios iniciais. No córtex, as

informações dos três canais retino-geniculados são combinadas para permitir a percepção de uma grande variedade de cores. Por fim, embora existam áreas corticais mais sensíveis a cores, a visão de cores não é processada em uma única área, mas resulta da atividade combinada de neurônios de diferentes áreas (Gegenfurtner & Kiper, 2003).

O pigmento fotossensível presente nos cones é a **fotopsina**, que é composto pela proteína **opsina** e pelo componente sensível à luz, o **retinal 11-*cis***. A absorção de luz isomeriza o retinal de 11-*cis* para todo-*trans* e isso inicia a resposta do receptor (Jindrova, 1998 e Kandel, 2000). Variações genéticas na opsina alteram a sensibilidade espectral do retinal, tornando-o mais sensível a certos comprimentos de onda. Os fenótipos de opsina mais frequentes nos seres humanos induzem picos de absorção espectral em 440, 535 e 565nm (valores *in vivo*) (Gegenfurtner & Kiper, 2003) e podem ser chamados simplesmente de cones **S** (curto), **M** (médio) e **L** (longo) (Figura 1). A presença e interação de uma, duas ou três classes de cones diferentes confere ao indivíduo, respectivamente, a condição perceptual de *monocromatismo*, *dicromatismo* ou *tricromatismo*.

Os tricromatas são os humanos com uma visão de cores considerada “normal”. Compõem as cores a partir da comparação da informação de três tipos de cones. Podem existir tricromatas típicos ou anômalos. Os dicromatas são conhecidos popularmente como daltônicos e comparam a informação de apenas dois tipos de cones. Existem ainda os raros monocromatas que, como o nome sugere, possuem apenas um tipo de cone funcional ou somente bastonetes, que operam em condições de baixa intensidade luminosa (visão escotópica) (Sharpe *et al.*, 1999). Como não realizam a comparação entre diferentes tipos de cones, não possuem visão de cores em condições de alta intensidade de luz (condição fotópica) (Skottun *et al.*, 1980 e 1981). A sensação

desta rara discromatopsia assemelha-se à que se tem ao observar uma fotografia ou filme em preto e branco e pode estar associada à perda de acuidade visual.

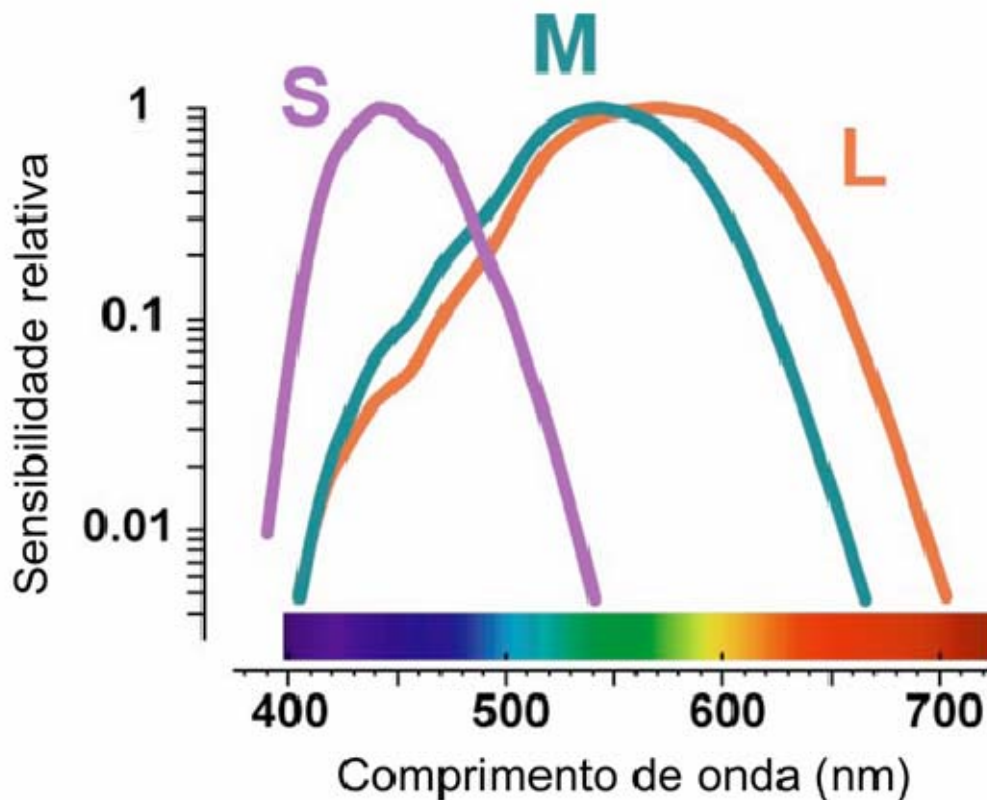


Figura 1: Sensibilidades espectrais relativas dos cones sensíveis a comprimentos de onda curto (S), médio (M), e longo (L) em função do comprimento de onda. As curvas estão normalizadas ao máximo (modificado de Gegenfurtner & Kiper, 2003).

Existem basicamente três tipos de dicromatismo: protanopia, deuteranopia e tritanopia, significando *inabilidade de ver o primeiro*, *inabilidade de ver o segundo* e *inabilidade de ver o terceiro*, referindo-se aos tipos de cones (Palmer, 1999). A nomenclatura é contra-intuitiva, pois assume que o “primeiro” cone seja o L, o segundo o M e o terceiro seja o S. Assim, o **protan** ou portador da protanopia apresenta dificuldades na percepção ótima no comprimento de onda longo, devido à ausência de cones L. O **deutan** ou portador da deuteranopia apresenta dificuldades na percepção ótima no comprimento de onda médio, devido à ausência de cones M. E o **tritan** ou

portador da tritanopia apresenta dificuldades na percepção ótima no comprimento de onda curto, devido à ausência de cones S.

O dicromatismo é a situação natural encontrada na grande maioria dos mamíferos que possuem opsinas do grupo SWS1, que são sensíveis à faixa entre 360 e 440nm (S) e do grupo LWS, sensíveis entre 500 e 560nm (M/L) (Jacobs & Rowe, 2004). Até o momento, os únicos mamíferos com visão de cores tricromática são alguns marsupiais australianos (Arrese *et al.*, 2002 e 2006) e os primatas (Dulai *et al.*, 1999 e Jacobs & Rowe, 2004). Apesar de apresentarem filogenias distintas, a origem do terceiro pigmento nos dois grupos, ocorreu pela duplicação de um pigmento do grupo LWS (M/L).

Como uma duplicação genética originou os genes para opsina L e M, eles possuem cerca de 98% de similaridade. Acredita-se que esse evento ocorreu em torno de 35 milhões de anos atrás (Abramov & Gordon, 1994 e Gegenfurtner & Kiper, 2003), depois da divergência entre os primatas do Velho e do Novo Mundo, uma vez que todos os primatas do Velho Mundo possuem os genes M e L simultaneamente no cromossomo X. Estes genes estão normalmente num arranjo *head to tail* com uma cópia do gene para opsina L e uma ou mais cópias do gene para a opsina M (Deeb, 2004 e Zhao *et al.*, 1998).

A proximidade e o alto grau de homologia entre os genes M e L vão originar muitos genes híbridos, causando a maioria das discromatopsias humanas. Esses híbridos ocorrem, geralmente, por *crossing over* desigual durante a meiose, substituição de seqüências correspondentes de nucleotídeos, recombinação intragênica ou perda de bases (Deeb, 2004 e Sharpe *et al.*, 1999). As opsinas sintetizadas por estes genes híbridos podem possuir seus picos de sensibilidade deslocados, caso as alterações ocorram em sítios específicos dos éxons 2,3,4 e 5 (Hiramatsu *et al.*, 2004 e Toveé, 1994). Assim, a distância de cerca de 30nm entre os picos M e L, típica do tricromata,

pode ser deslocada para menos de 4nm, resultando numa percepção caracteristicamente dicromata. Variações entre 15 e 4nm resultam na condição já mencionada de tricromatismo anômalo (Tovée, 1994 e Neitz & Neitz, 1998). O tricromata anômalo pode ser **protanômalo** (deslocamento do pico de sensibilidade dos cones L) ou **deuteranômalo** (deslocamento do pico de sensibilidade dos cones M), podendo apresentar-se como leve, médio ou severo (Neitz *et al.*, 2002b).

Contudo, as opsinas não são as únicas responsáveis pela visão de cores. Como tratado anteriormente, os três canais de oponência que ligam a retina ao córtex desempenham um papel fundamental no processamento da informação oriunda dos fotorreceptores. Além de possuírem propriedades funcionais e cromáticas distintas, estes canais de oponência seguem por vias anatômicas independentes (Gegenfurtner & Kiper, 2003).

Os cones L e M enviam sinais **simultâneos** para as células bipolares difusas, que por sua vez transmitem informação para as células ganglionares do tipo M (não confundir com cones M), ainda na retina. As células M enviam sinais para neurônios nas camadas magnocelulares do núcleo geniculado lateral (NGL) no tálamo (via M). Os campos receptivos das células M são compostos de centro e periferia, que são espacialmente antagonistas. Podem ser centro-*ON* periferia-*OFF* ou vice-versa. Um campo receptivo de célula M centro-*ON*, por exemplo, é estimulado no centro por um grupo de cones L e M e inibido na periferia por outro grupo de cones L e M. Assim sendo, as camadas magnocelulares do NGL possuem alta sensibilidade para **contraste**, mas não comparam as informações separadas dos cones L e M (Gegenfurtner & Kiper, 2003).

A via parvocelular (via P) se origina da comunicação dos cones L e M, **independentemente**, com as células bipolares anãs. Essas bipolares transmitem informação às células ganglionares do tipo P. As células P também possuem campos

receptores centro-ON/periferia-OFF e centro-OFF/periferia-ON, mas, diferentemente dos campos M, o centro e a periferia são estimulados apenas por um tipo de cone (L ou M). Um campo estimulado no centro por cones L é inibido na periferia por cones M, por exemplo. A via P é a responsável pelo canal de oponência L/M, ou, como é chamado popularmente, vermelho/verde (Figura 2) e corresponde a cerca de 80% das projeções da retina para o NGL (Gegenfurtner & Kiper, 2003).

Na via *koniocelular* (via K) a informação dos cones S é transmitida para células bipolares especiais, que, por sua vez, enviam sinais para pequenas células ganglionares bi-estratificadas. Estas ganglionares também recebem sinais das bipolares difusas, formando um canal de oponência cromática S versus L+M (canal azul-amarelo). Este canal seria uma subdivisão do canal P e, em conjunto, seriam fundamentais para discriminar cores (Hendry & Reid, 2000) (Figura 2).

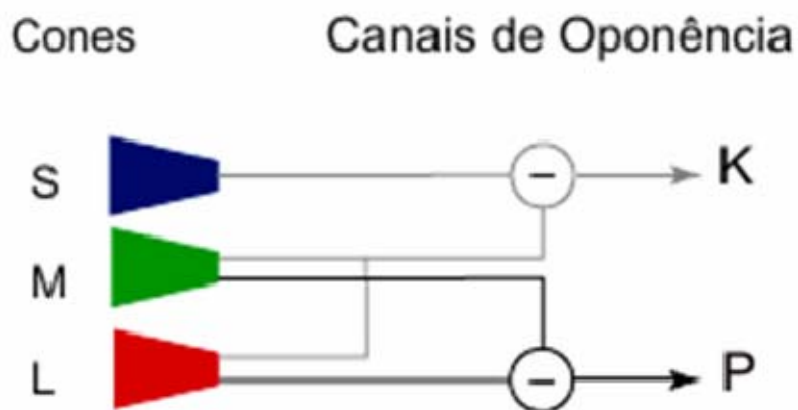


Figura 2: Desenho esquemático do mecanismo de oponência dos canais P e K (modificado de Surridge *et al.*, 2003).

1.1 - Visão de Cores em Platirrininos

A visão é o principal sentido dos primatas e os membros dessa ordem possuem considerável variação nas suas capacidades visuais. Mais especificamente, a visão de cores dos primatas é uma característica visual que afeta enormemente como vêem e interagem com o seu ambiente (Buchanan-Smith, 2005).

Todos os catarrinos (primatas do Velho Mundo) seguem o mesmo padrão de visão de cores do homem; são tricromatas e possuem picos S, M e L relativamente conservados (Kremers *et al.*, 1999 e Toveé, 1994). Inclusive, é através de estudos com macacos do Velho Mundo que se tem descoberto muito sobre a visão de cores humana, principalmente em nível de processamento central, quando procedimentos invasivos são necessários.

Em 1939, Grether publicou um estudo comparativo de visão de cores com espécies do Velho e do Novo Mundo e a principal conclusão foi que os platirrininos (primatas do Novo Mundo) possuíam uma visão de cores bem distinta da encontrada nos catarrinos (primatas do Velho Mundo) (Jacobs, 1997). Em razão destas diferenças, os macacos do Novo Mundo vêm fornecendo esclarecimentos acerca da evolução e dos mecanismos da visão de cores. Jacobs (1974) examinou os padrões de respostas de neurônios de oponência espectral no *Saimiri sciureus* e encontrou células de oponência M/L nas fêmeas, mas nos machos estes neurônios eram raros ou ausentes. Esta disparidade sugeriu a presença de uma variação de gênero na visão de cores do *Saimiri*.

Experimentos subseqüentes no *S. sciureus*, utilizando abordagens comportamentais para discriminação de cores, medidas microespectrofotométricas dos pigmentos dos cones, eletroretinografia e genética molecular, demonstraram 06 fenótipos: três dicromatas e três tricromatas (Jacobs & Neitz, 1987 e Mollon *et al.*, 1984). Todos os machos e as fêmeas homozigotas para o gene da opsina M/L eram dicromatas enquanto as fêmeas heterozigotas possuíam visão tricromática (Jacobs &

Neitz, 1987 e Mollon *et al.*, 1984). Esse tipo de visão de cores ficou conhecido como visão de cores polimórfica ou **polimorfismo** e, até então, é típica dos macacos do Novo Mundo, com exceção do gênero *Alouatta* e do gênero *Aotus* (Jacobs *et al.*, 1993). A Figura 3 mostra o tipo de visão de várias espécies do Velho e Novo Mundo. A figura carece dos dados de um estudo recente (Talebi *et al.*, 2006) sobre o gênero *Brachyteles*, um atelídeo mais relacionado filogeneticamente ao *Lagothrix*, que demonstram que o gênero apresenta o polimorfismo na visão de cores.

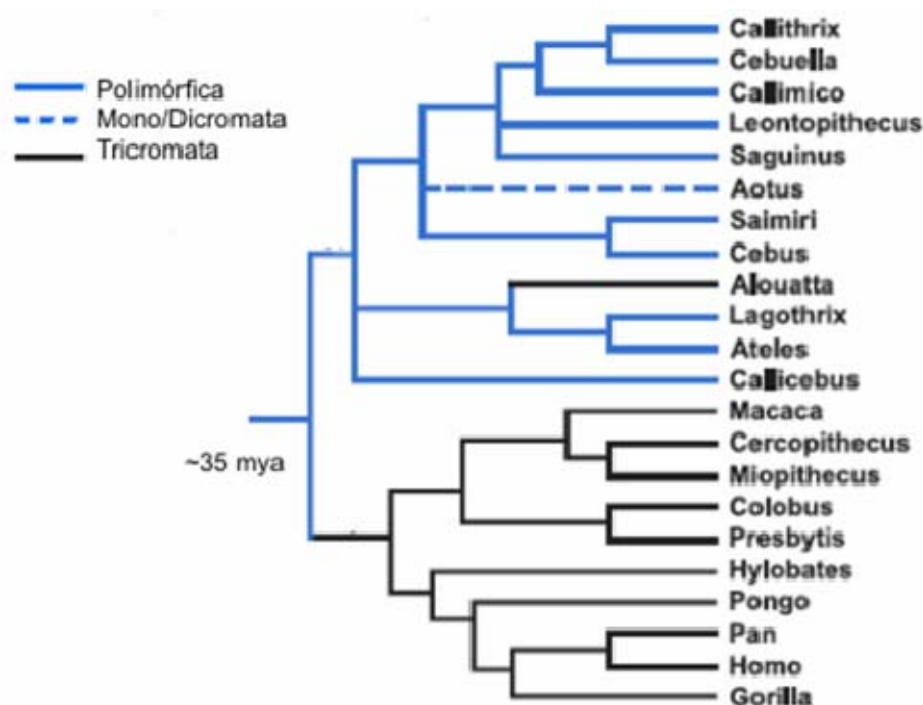


Figura 3: Tipos de visão de cores nas espécies de primatas do Novo e Velho Mundo. A visão de cores tricromata típica dos catarrinos desenvolveu-se a cerca de 35 milhões de anos atrás quando o grupo separou-se dos platirrininos (modificado de Jacobs & Rowe, 2004).

Espécies polimórficas possuem apenas dois *loci* para opsinas. Um locus está no cromossomo autossômico sete e outro no cromossomo sexual X. O gene autossômico codifica a opsina S, que absorve comprimentos de onda curtos e está presente em todos os primatas, com exceção do *Aotus* que não possui uma população viável desses pigmentos por não haver expressão gênica, provavelmente associada ao

seu hábito noturno (Jacobs *et al.*, 1993). O gene polimórfico no cromossomo X possui três (ou mais) alelos que codificam opsinas na faixa M/L. A opsina S tem seu pico de absorção em torno de 430nm e as opsinas M/L possuem picos em torno de 543, 556, e 563nm para calitriquídeos e cerca de 536, 556, e 563nm para cebídeos (Kremers *et al.*, 1999 e SurrIDGE *et al.*, 2003).

Os valores atribuídos a estes picos de percepção apresentaram pouca variação entre os pesquisadores e entre as espécies estudadas. Para Boissinot e colaboradores (1998), os três alelos encontrados no *Saimiri* e no *Cebus* codificam três pigmentos com sensibilidade espectral máxima: 535, 550 e 562nm, enquanto *Micos* e *Sagüis* apresentam valores de sensibilidade: 543, 556 e 562nm. Para Jacobs e Deegan II (2003) os *Cebus* possuiriam picos de 535.63, 548.83 e 562.77nm, enquanto os *Saimiri* apresentariam picos de: 534.77, 548.43 e 561.18nm. É comum encontrar pequenas variações destes picos espectrais na literatura, em decorrência das diferentes técnicas de medição. O conhecimento atual sobre as bases genéticas da visão de cores nos habilita a entender como ela evoluiu (Hunt *et al.*, 1998; Wang *et al.*, 1999), mas muito trabalho ainda deve ser desenvolvido para identificar as pressões evolutivas que selecionaram essa característica. É certo que exista uma forte pressão evolutiva sobre a visão de cores uma vez que os alelos são mantidos quase sempre inalterados. Esta pressão é ainda mais gritante no tricromatismo, uma vez que, em espécies tipicamente tricromatas, em condições naturais, praticamente não existem indivíduos dicromatas, embora esta taxa chegue a 8% em humanos caucasóides (SurrIDGE, *et al.*, 2003).

Parece haver um consenso de que a visão tricromática tenha evoluído com a principal finalidade de promover a detecção de alvos contra a folhagem (Dominy & Lucas, 2001; Lucas *et al.*, 1998; Mollon, 1989; Sumner & Mollon, 2000). No entanto, havia discordância sobre o tipo de alvo. Existem duas hipóteses: a hipótese da **frugivoria** e a hipótese da **folivoria**.

Em defesa da frugivoria, os pesquisadores alegam que a função principal da visão tricromática seria facilitar a detecção de um fruto maduro (tipicamente amarelo ou laranja) imerso em uma folhagem verde, mostrando que fotopigmentos encontrados em animais tricromatas estão sintonizados para este tipo de discriminação (Caine e Mundy, 2000, Osório & Vorobyev, 1996, Regan *et al.*, 1998, Regan *et al.*, 2001 e Smith *et al.*, 2003). Apoiando a hipótese da folivoria, pesquisadores argumentam que estudos mostraram que na maioria dos frutos estudados a cor não ofereceu pistas nutricionais consistentes (Dominy *et al.*, 2003). Mas, embora o único platirrino com tricromatismo uniforme, o *Alouatta*, seja prioritariamente folívoro (Stoner, *et al.*, 2005), recentemente descobriu-se que o *Brachyteles*, que também é altamente folívoro, possui polimorfismo da visão de cores (Talebi *et al.*, 2006).

Desta forma, estas linhas vêm tornando-se mais flexíveis e alguns pesquisadores defendem que o tricromatismo favoreceria tanto a frugivoria quanto a folivoria, pois ambos os itens alimentares em questão podem ser distinguíveis a partir de um fundo formado por folhas maduras (Sumner & Mollon, 2000).

Em recente trabalho, Stoner e colaboradores (2005) compararam as dietas do *Alouatta paliatta*, único gênero nos platirrininos com visão tipicamente tricromata, e do *Ateles geoffroyi*, polimórfico. Como resultado, encontraram que a espécie polimórfica é mais frugívora, enquanto o *A. paliatta* é preferencialmente folívoro. O *A. paliatta* come frutos verdes e evita os vermelhos devido à alta quantidade de açúcares, prejudiciais ao seu tipo peculiar de digestão. Além de detectar frutos a serem evitados, também identificam folhas jovens, que são mais avermelhadas e possuem mais nutrientes e menos fenóis. O desempenho do *A. geoffroyi* foi melhor que o esperado para dicromatas (Stoner *et al.*, 2005) embora outro trabalho tenha verificado uma significativa vantagem das tricromatas na detecção de frutos vermelhos, mais ricos em glicose (Riba-Hernandez *et al.*, 2005).

Estando o tricromatismo associado exclusivamente aos hábitos alimentares dos primatas ou não, cabe questionar que pressões evolutivas levariam o polimorfismo a ser a forma de visão de cores mais difundida entre os primatas do Novo Mundo. Já que espécies polimórficas possuem indivíduos dicromatas e tricromatas, ambos os fenótipos devem apresentar vantagens, pois primatas dicromatas também encontram comida, parceiros sexuais e evitam predadores.

Surgem evidências de que o dicromatismo não seja tão desvantajoso em relação ao tricromatismo como se imagina. Verhulst e Maes (1998) demonstraram que dicromatas humanos apresentam uma visão escotópica melhor, quando comparada aos tricromatas normais. Isto representaria uma vantagem seletiva, em condições de luminosidade baixa, tornando mais fácil o forrageio e a detecção de predadores noturnos. Outra habilidade muito vantajosa é a detecção de objetos camuflados, importante no forrageamento de insetos e frutos crípticos (Morgan *et al.*, 1992). Testando esta hipótese, seis *Cebus apella* dicromatas e um chimpanzé protanômalo foram capazes de discriminar itens cromaticamente camuflados em taxas significativamente maiores que indivíduos tricromatas (Saito *et al.*, 2005).

Considerando que o tricromatismo e o dicromatismo possuem vantagens complementares e os primatas são animais que vivem e forrageiam em grupo, pode-se inferir que o forrageio cooperativo entre indivíduos com habilidades visuais diferentes, seria extremamente vantajoso (Mollon *et al.*, 1984; Morgan *et al.* 1992; Sumner & Mollon, 2000). Estas habilidades combinadas poderiam compensar as possíveis desvantagens sofridas pelos dicromatas em certas situações e explicar a manutenção do polimorfismo através da *seleção de grupo*, *seleção dependente da frequência* e *vantagem do heterozigoto*. (Morgan *et al.*, 1992; Rowe & Jacobs, 2004 e Tovée *et al.*, 1992). Obviamente, conhecer precisamente os motivos da seleção natural é uma tarefa

muito complexa, podendo-se, no máximo, especular seus meios e prováveis fins (SurrIDGE *et al.*, 2003).

1.2 - O Gênero *Saimiri*

Micos-de-cheiro (*Saimiri* spp., Primates: Cebidae) são os platirrinos mais usados em pesquisas biomédicas, embora não exista consenso entre as relações filogenéticas, entre as variantes geográficas ou mesmo se estas variantes são espécies ou subespécies. Utilizou-se nesse estudo, a taxonomia proposta por Boinski e Cropp (1999), que utilizaram dados morfológicos, comportamentais e, em trabalho posterior, genes nucleares e mitocondriais (Cropp & Boinski, 2000). Estes trabalhos corroboram Hershkovitz (1984), definindo quatro espécies: *Saimiri sciureus*, *S. boliviensis*, *S. oerstedii* e *S. ustus*.

Os *Saimiri* são primatas arbóreos pequenos e ágeis. Ao nascerem pesam entre 80 e 140g e medem cerca de 14 cm. As fêmeas adultas pesam entre 500 e 750g e medem cerca de 29 cm. Os machos são bem mais pesados e um pouco maiores, pesando entre 700 e 1100g e medindo em torno de 30 cm. A infância dura até os 11 meses e a transição entre juvenil e adulto ocorre com 2,5 anos (Baldwin, 1981).

O gênero apresenta uma curta pelagem amarelada ou amarela esverdeada. Os pelos da face, do pescoço, do ventre e da parte interna dos membros são brancos. Possuem pigmentação negra na pele em torno da boca e narinas. A figura 4 apresenta um exemplar da espécie *S. ustus*.

O gênero *Saimiri* é um dos mais amplamente distribuídos dentre os platirrinos, da Amazônia brasileira até a América Central. A divisão no nível de espécie é baseada em várias características como estruturas acústicas, padrão das vocalizações, padrões de crescimento, polimorfismos cromossômicos, fisiologia reprodutiva e de

estresse e morfologia óssea e de pelagem (Boinski & Cropp, 1999). Aspectos ecológicos e comportamentais foram mais bem estudados no *S. sciureus* nas Guianas, Venezuela e Colômbia, no *S. oerstedii*, da América Central e no *S. boliviensis* no sudoeste da Amazônia (Figura 5).



Figura 4: Fêmea de *Saimiri ustus* em cativeiro no Centro de Primatologia da Universidade de Brasília - UnB. (foto: Flávio Sousa).



Figura 5: Distribuição geográfica das espécies de *Saimiri*. Modificado de Boinski & Cropp, (1999).

O gênero *Saimiri* apresenta poucas diferenças em sua ecologia, pois encontram-se em ambientes semelhantes (Boinski & Cropp, 1999 e Boinski *et al.*, 2002). O *S. oerstedii* apresenta uma estrutura social igualitária, sem um sexo dominante, fracos laços sociais entre fêmeas e pouca disputa por alimento. O *S. sciureus* apresenta uma estrutura social com machos dominantes, fracos laços sociais entre fêmeas e freqüente e intensa competição por alimentos. Esses animais são os mais insetívoros dentre as três espécies. O *S. boliviensis* apresenta uma estrutura social na qual fêmeas são dominantes e machos formam coalizões baseadas em parentesco e cooperam na aquisição e defesa do alimento. O recurso mais freqüente na dieta dessa espécie são frutas, abundantes durante todo o ano. Não existem estudos específicos sobre a ecologia do *S. ustus*, bem como de outras características desta espécie. No Brasil, a espécie distribui-se geograficamente no sudeste do estado do Amazonas, sul do Pará, Rondônia e noroeste do Mato-Grosso (Figura 5), mais precisamente ao sul do rio Solimões, entre os rios Tefé e Xingú-Iriri. Os *Saimiri* são capazes de viver em uma grande variedade de habitats, incluindo florestas primárias, secundárias, secas, tropicais de terra firme e as matas temporariamente inundadas, em altitudes que variam entre 0 a 2000m, o que permite sua vasta distribuição geográfica (Hershkovitz, 1984).

Como todos os platirrinos, os *Saimiri* são polimórficos e possuem picos espectrais da opsina S em 433nm e das opsinas M/L em torno de 535, 550 e 562 nm (Boissinot *et al.*, 1998). Estes picos são os mais freqüentes, embora não os únicos, e existem pequenas variações nos picos de sensibilidade das opsinas M/L nas diferentes espécies de *Saimiri* (Cropp *et al.*, 2002 e Surridge *et al.*, 2003).

Cropp, Boinski e Li (2002) realizaram um estudo envolvendo três espécies de *Saimiri*, para determinar as freqüências relativas dos três alelos ligados ao cromossomo X. Buscaram relacionar as distribuições geográficas e as variações comportamentais com a visão de cores de cada espécie. Encontraram que as freqüências

dos alelos foram aproximadamente as mesmas entre as três espécies, não havendo um padrão evidente entre estes valores, os tipos de comportamentos e biogeografia. Talvez, defendem os autores, as frequências não estejam adaptadas diretamente às necessidades ecológicas visuais destes animais como se pensava, mas sim representem os pontos espectrais mais satisfatoriamente espaçados, na faixa M/L, extremamente necessário aos primatas.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos estudos realizados sobre visão de cores no gênero *Saimiri*.

Tabela 1: Estudos de visão de cores no gênero *Saimiri*

Espécie	Técnicas	Referência
<i>Saimiri sciureus</i>	Genética molecular; Comportamento; Eletroretinografia; Microespectrofotometria	Cropp <i>et al.</i> , 2002; Jacobs, 1974; Jacobs, 1984; Jacobs e Blakeslee, 1984; Jacobs e Neitz, 1985 e 1987; Mollon <i>et al.</i> , 1984; Jacobs <i>et al.</i> , 1993.
<i>Saimiri boliviensis</i>	Genética molecular; Comportamento.	Cropp <i>et al.</i> , 2002; Shimmim <i>et al.</i> , 1997.
<i>Saimiri oerstedii</i>	Genética molecular; Comportamento.	Cropp <i>et al.</i> , 2002.
<i>Saimiri ustus</i>	Comportamento	Prado, 2005.

1.3 - O Teste HRR (*Hardy Rand & Rittler Pseudoisochromatic Test*)

Em 1954, LeGrand Hardy, Gertrude Rand, e M. Catherine Rittler desenvolveram um teste para visão de cores que ficou conhecido comercialmente como “HRR Pseudoisochromatic Plates”, distribuído pela *American Optical Company* (Birch, 1997). O teste passou por várias reformulações ao longo dos anos e a versão mais atual, de 2002, foi remodelada por Neitz, Neitz e Bailey e distribuída pela Richmond Products (Neitz *et al.*, 2002b). Bailey e colaboradores (2004) compararam o diagnóstico dado por essa versão do HRR com o diagnóstico do anomaloscópio, um consagrado método de avaliação de discromatopsias. Todos os sujeitos classificados como dicromatas pelo anomaloscópio foram diagnosticados como tendo uma discromatopsia “severa” pelo HRR, enquanto os tricromatas anômalos foram classificados como tendo discromatopsias leves ou moderadas pelo HRR. O teste HRR foi preciso em categorizar os sujeitos como deutans ou protans.

Cada uma das pranchas do HRR consiste de uma mesma matriz de círculos que variam em tamanho e brilho. Os pontos que formam o “fundo” da prancha são cinza. Alguns desses pontos formam um símbolo geométrico (uma letra X, um círculo ou um triângulo) que, por ser colorido, é segregado do padrão cinza do fundo (Figura 6).

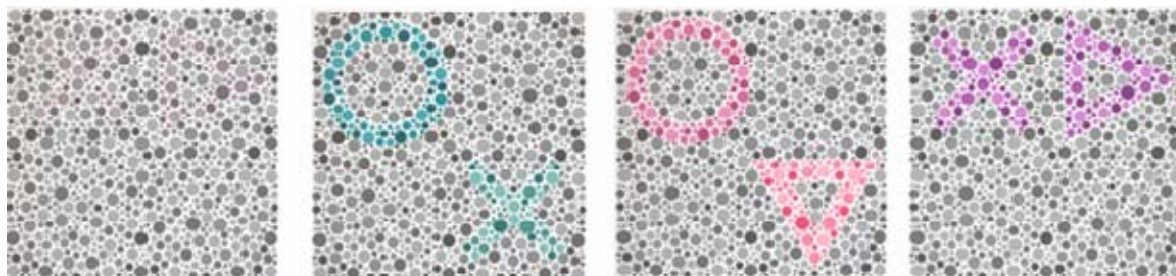


Figura 6: Exemplos de pranchas originais do teste HRR (Neitz *et al.*, 2002b).

Convencionalmente, o HRR deve ser apresentado somente uma vez por indivíduo, para evitar que um possível aprendizado da seqüência das pranchas prejudique a interpretação dos dados (Neitz *et al.*, 2002b). A pessoa é instruída a informar as figuras que estiver vendo nas pranchas. O experimentador muda as páginas do livro e assim procede até o final da apresentação das 24 pranchas que compõem o teste. Posteriormente, os dados são computados para diagnosticar o tipo de visão de cores do sujeito.

As cores que nos levam a segregar as figuras, localizam-se na faixa de confusão de dicromatas (Dain, 2004). Tanto o matiz (cor) quanto a saturação (o quão “intensa” é uma cor) variam ao longo das pranchas, e a análise do desempenho do sujeito nas diferentes pranchas determina o tipo de visão de cores que este possui. O teste pode ser vendido num único livro que contém as 24 pranchas ou em dois volumes específicos para discromatopsias na faixa vermelho-verde (L-M) e azul-amarelo (S-L+M). O volume azul-amarelo contém as pranchas de 01 a 06, e de 21 a 24. O volume vermelho-verde contém as pranchas de 01 a 04 e de 07 a 20. No presente estudo utilizamos apenas o volume vermelho-verde.

1.3.1 – Protocolo de Aplicação do HRR em Humanos

No volume vermelho-verde as pranchas estão divididas em pranchas de demonstração (01 a 04), de averiguação (07 a 10) e de diagnóstico (11 a 20). Como o próprio nome diz, as pranchas de demonstração servem para demonstrar o funcionamento do teste, pois apresentam figuras visíveis para todos os indivíduos, independentemente de sua visão de cores. As pranchas de averiguação informam **se** o indivíduo apresenta uma discromatopsia e as de diagnóstico dizem **qual é** e **qual o grau** desta.

A iluminação deve ser provida por uma fonte do tipo *Daylight Illuminator* com temperaturas de cor em torno de 6500 K (D65), semelhantes à luz solar natural. O experimentador deve mostrar cada prancha apenas 1 vez por cerca de 3 segundos e pedir para o sujeito dizer **quantas** figuras ele vê, **quais** são e **onde** estão. As respostas são anotadas numa tabela apropriada que acompanha o livro (Figura 7). Nesta tabela constam duas colunas (coluna “Protan” e coluna “Deutan”) que serão utilizadas posteriormente para o diagnóstico. Uma resposta é considerada correta quando o sujeito informa o nome e o local correto da figura.

H R R PSEUDOISOCROMATIC PLATES-Red/Green Subset

NAME..... DATE..... EXAMINER.....

1-4 DEMONSTRATION SERIES
Four plates. Do NOT score.

SCREENING SERIES

B-Y Defect

5 X, O

6 O, ▽

R-G Defect

7 X, ▶

8 O, ▶

9 O

10 X

Protan Deutan

11 **SCREENING SERIES ANALYSIS**

12 Normal.....

13 Defective:

14 B-Y.....

15 R-G.....

Mild R-G Defect

16 **DIAGNOSTIC SERIES ANALYSIS**

17 **Type:**

18 Protan.....

Strong R-G Defect

19 Deutan.....

20 Tritan.....

Unclassified.....

Total Tritan Tetartan

Medium B-Y Defect

21 **EXTENT:**

22 Mild.....

23 Medium.....

Strong B-Y Defect

24 Strong.....

Total Laminated Score Sheet P/N 4463

1021 South Rogers Circle Suite 6 Boca Raton, FL 33487

Figura 7: Planilha para anotação do desempenho no teste HRR, volume vermelho-verde (red/green subset) (Neitz *et al.*, 2002b).

1.3.2 – Interpretação das Respostas

O sujeito é **tricromata** se responder corretamente às pranchas de averiguação e de diagnóstico ou se cometer um ou dois erros, no máximo, nas pranchas de averiguação.

Se o sujeito errar nas pranchas de averiguação e nas de diagnóstico ele apresenta uma deficiência na faixa vermelho-verde. O indivíduo é um protan se acertar mais na coluna **Protan** e é um deutan se acertar mais na coluna **Deutan**. Porque a coluna **Protan** é de fácil discriminação para protans, mas de difícil discriminação para deutans e vice-versa. A discromatopsia é **inclassificável** quando o número de acertos nas duas colunas é igual.

Os graus das discromatopsias pelo HRR são leve, moderado e severo. O que determina o grau é o último grupo de pranchas no qual ocorreu erro. As pranchas de 11 a 15 formam o grupo “leve”, da 16 a 18 o grupo “moderado” e a 19 e 20 são o grupo “severo”. Por exemplo, se o último erro aconteceu na prancha 19, o indivíduo apresenta uma discromatopsia severa, já se o último erro foi na prancha 15 sua discromatopsia é leve. Isto porque as pranchas de 11 a 20 estão organizadas em grupos com ordem decrescente de dificuldade, sendo que se um indivíduo erra a prancha 19 (grupo fácil) é porque ele apresenta uma discromatopsia severa.

1.4 - Justificativa

Kelber, Vorobyev e Osorio (2003), em uma revisão extensa e completa, fazem um levantamento da existência ou não de visão de cores e quantos receptores parecem estar envolvidos em várias espécies de aproximadamente todos os filos. Para se afirmar que determinada espécie possuía visão de cores, estes autores estabeleceram como critério que os testes de diagnóstico fossem comportamentais. Curvas de

sensibilidade espectral por si só, não foram aceitas como determinantes de visão de cores, pois os autores consideram que o pareamento de cores é o teste direto para se avaliar a dimensionalidade da visão de cores. Segundo o princípio de que se n sinais de receptores são necessários para promover a visão de cores, então, qualquer estímulo espectral poderá ser pareado com uma mistura específica de n primárias. Assim, um indivíduo dicromata necessitaria da mistura de duas luzes primárias espectrais para parrear com uma luz branca, enquanto o tricromata necessitaria de três, e assim por diante. Desta forma, o conceito de visão de cores fica estabelecido em termos comportamentais (Kremers *et al.*, 1999).

Reforçando esse ponto de vista, Jacobs e colaboradores, em 1999, criaram camundongos transgênicos que manifestavam três opsinas diferentes. Através de análises eletroretinográficas, foram diagnosticados como tricromatas, no entanto, quando submetidos a testes de discriminação visual, comportavam-se como dicromatas, pois faltava-lhes o aparato neural para interpretar a informação proveniente do novo fotorreceptor.

Optou-se então, pela abordagem comportamental na investigação das habilidades cromáticas dos *Saimiri ustus*. Isto porque a maior parte do que se conhece sobre a visão de cores vem de estudos laboratoriais, nos quais o mundo visual consiste de luzes monocromáticas, abruptamente ligadas e desligadas (Jacobs, 1997). Ocorre que, o ambiente natural reflete um processo mais complexo do que a mera atividade de cones (Sharpe *et al.*, 1999) e envolve processamentos ativos conduzidos pelo sistema nervoso central (Gegenfurtner, 2003 e Zeki, 1993). Contudo, é importante que os testes de visão de cores abordem contextos comportamentais específicos aos animais (Kelber *et al.*, 2003).

Embora o teste que aplicamos não seja exatamente natural, pois **não** se trata da exibição de frutos, insetos ou predadores aos micos-de-cheiro, as pranchas do

HRR apresentam uma característica observada em condições naturais: a variação aleatória de brilho e saturação (Mollon, 1989). Outros testes pseudoisocromáticos já foram desenvolvidos para a aplicação em humanos (Nakamura, 2002) e primatas não humanos (Saito *et al.*, 2003), mas estes testes foram desenvolvidos para atender problemáticas específicas de grupos de pesquisa e não para comercialização, tornando-os de difícil acesso a outros pesquisadores. O HRR, por sua vez, pode ser adquirido por qualquer pessoa ou grupo pela *internet*. Além do que, o HRR é operacionalmente mais simples do que outros testes pseudoisocromáticos por possuir apenas três símbolos geométricos (Sloan & Habel, 1956). Somando-se a estes argumentos, está o fato de que uma versão do HRR foi desenvolvida para diagnosticar crianças em idade não escolar e/ou com deficiências mentais, o que torna o teste HRR potencialmente adaptável a animais e também por se tratar de um teste altamente validado na literatura científica (Birch, 1997; Bailey *et al.*, 2004; Dain, 2004; Neitz *et al.*, 1996 e Neitz & Neitz, 1998).

É de particular interesse frisar que os diferentes tipos de visão de cores do *Saimiri* possuem analogia com a visão tricromática normal, anômala e dicromática em humanos (Jacobs, 1997 e Osorio *et al.*, 2004). Sabe-se que seres humanos e *Saimiri* possuem picos espectrais com valores próximos (Kremers *et al.*, 1999 e Shimmin *et al.*, 1997), mas caso exista analogia entre o desempenho dos *S. ustus* e dos humanos, isto pode significar que as semelhanças sejam maiores do que meramente às das opsinas.

2 - OBJETIVOS

- Objetivo geral

→ Conhecer a habilidade de indivíduos *Saimiri ustus* em uma tarefa de discriminação de cor utilizando uma abordagem comportamental.

- Objetivos específicos

→ Adaptar um teste pseudoisocromático de diagnóstico de discromatopsias humanas para aplicação em primatas da espécie *S. ustus*.

→ Avaliar a percepção de cores em primatas da espécie *S. ustus* pelo diagnóstico do teste pseudoisocromático de HRR.

→ Verificar se o teste pseudoisocromático de HRR sugere analogia entre a percepção de cores do *S. ustus* e a percepção de cores em humanos daltônicos.

3 - METODOLOGIA

3.1 - Sujeitos

Foram utilizados 05 sujeitos adultos jovens da espécie *Saimiri ustus* (3 machos e 2 fêmeas). Três destes possuíam experiência prévia em experimento comportamental discriminativo (Prado, 2005) enquanto os dois restantes (um macho e uma fêmea) eram ingênuos. Os animais foram mantidos em cativeiro com dimensões 2,5m x 2,0m x 4,0m (altura, largura e profundidade, respectivamente) no Centro de Primatologia da Fazenda Água Limpa – UnB, em grupos de no mínimo dois indivíduos. A dieta básica, fornecida uma vez ao dia (entre 06:00 e 07:00h), era constituída de frutas frescas, legumes, raízes, ração balanceada, tenébrios e complementos vitamínicos. A água era fornecida *ad libitum*. As condições de manutenção dos animais em cativeiro estiveram de acordo com as normas estabelecidas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis - IBAMA.

Baseando-se na informação que animais removidos para serem testados em novos ambientes podem apresentar um baixo desempenho (Savage *et al.*, 1987), optou-se por testar os sujeitos em seu próprio cativeiro, evitando-se, portanto, o estresse da captura, transporte e restrição (Pessoa *et al.* 2003 e 2005).

O trabalho foi avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso Animal (CEUA) do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília. O parecer do comitê consta em anexo.

Para uma abordagem comparada, testamos dois sujeitos humanos homens jovens (21 e 24 anos) diagnosticados como daltônicos pelo teste de HRR. Ambos são alunos da Universidade de Brasília que se voluntariaram para o experimento. O termo de consentimento livre e esclarecido assinado pelos sujeitos consta em anexo.

3.2 - Materiais

As pranchas originais do HRR foram utilizadas como estímulos discriminativos. As figuras O (círculo), Δ (triângulo) e X (letra xis) foram os estímulos discriminativos positivos (SD+), sempre associados a um reforço. Os reforços utilizados foram pedaços de biscoito de maisena com cerca de 25 mm². A prancha 4, que apresenta apenas o padrão de círculos em tons de cinza foi o estímulo discriminativo negativo (SD-). Cada prancha foi mantida permanentemente dentro de um envelope de acrílico transparente com 1 mm de espessura, como forma de protegê-las da manipulação direta.

A maioria das pranchas apresenta mais de uma figura geométrica. Como forma de expor apenas uma figura por vez, adotou-se a seguinte solução: como as pranchas possuem forma de um quadrado (13 cm de lado), dividiu-se as pranchas com duas linhas imaginárias (uma vertical, uma horizontal) passando pelo centro, formando-se quatro quadrantes. Verificou-se que as figuras aparecem sempre dentro de um quadrante (Figura 8-A). Assim, suprimiu-se três quadrantes, expondo apenas uma figura por vez (Figura 8-B), para que fosse pareada com o padrão cinza.

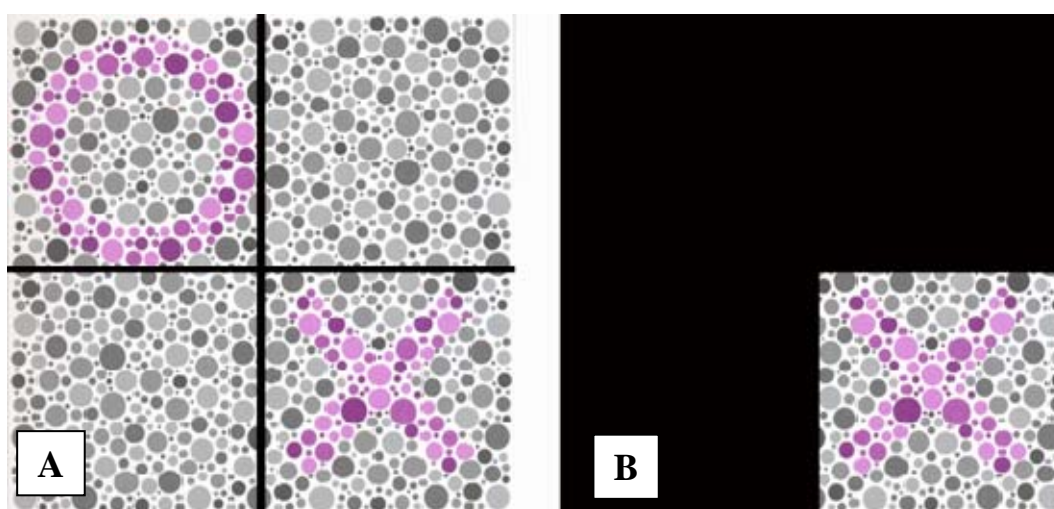


Figura 8: Prancha do HRR dividida em quadrantes (A). Três dos quatro quadrantes suprimidos de forma que apenas uma das figuras possa ser apresentada (B).

Para apresentar as pranchas aos sujeitos experimentais, utilizou-se uma versão modificada do *Winsconsin General Test Apparatus (WGTA)* (Gomes *et al.*, 2005) confeccionada em acrílico preto que é, basicamente, uma caixa com duas janelas basculantes (Figura 9). As janelas foram construídas para permitir o encaixe das pranchas pela parte posterior do aparato (considerando o lado visualizado pelo sujeito experimental como sendo o anterior), que é vazada. Visualizando as pranchas, os sujeitos tocavam-nas para obter o reforço.



Figura 9: Vista frontal do suporte de acrílico. As aberturas em forma de quadrados nas janelas são para que os animais possam visualizar a figura da prancha do HRR.

O suporte de acrílico foi mantido sobre uma mesa de madeira portátil colocada em frente ao viveiro dos sujeitos. A mesa de madeira possuía um anteparo móvel que permitia ao experimentador manipular as pranchas entre as tentativas sem que os sujeitos visualizassem a operação. O animal podia alcançar os estímulos passando uma das patas por entre a grade que delimita o viveiro (Figura 10).

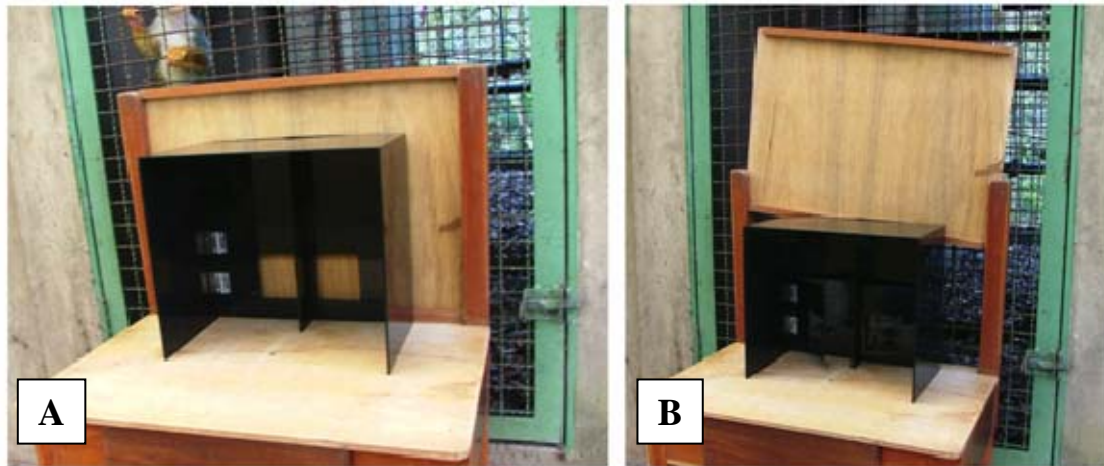


Figura 10: Forma de exposição das pranchas; o suporte de acrílico fica sobre uma mesa de madeira com anteparo (A). Anteparo levantado expondo o suporte onde estarão as pranchas do HRR (B).

3.3 - Procedimento

3.3.1 - Protocolo Realizado no Mico-de-cheiro (*Saimiri ustus*)

Para se utilizar o HRR no *Saimiri ustus*, em primeiro lugar, necessita-se que o animal informe que está vendo uma figura. Decidiu-se que a melhor escolha seria parear a figura colorida do HRR com o padrão cinza do mesmo e treinar os sujeitos a escolherem a figura colorida como estímulo discriminativo positivo (SD +). Isso porque esses animais já foram testados numa tarefa de aprendizagem discriminativa em um estudo prévio (Prado, 2005).

No *S. ustus* não é possível apresentar o teste uma única vez, pois não se teria certeza se os erros e acertos estariam ocorrendo ao acaso. Tampouco pode-se apresentar o teste na mesma seqüência várias vezes, pois o animal poderia aprender a seqüência das pranchas. A solução foi ministrar o teste repetidas vezes, em algumas sessões e numa seqüência aleatória. Foram realizadas **16 repetições do teste** em oito (08) sessões experimentais, de forma que cada sessão correspondia a duas (02) repetições do teste HRR.

Como o sol é o iluminante (luz natural), as sessões experimentais foram realizadas diariamente no mesmo horário, entre 08:00h e 09:30h, para manter a luminosidade o mais constante possível e habituar os animais ao experimento. A duração de cada sessão foi entre 50 e 60 minutos. Os animais não foram privados de alimento, mas a vasilha com a refeição foi retirada durante o experimento para evitar que o animal se distraísse (variável independente) ou manipulasse alimentos entre as tentativas, o que sujaria as pranchas. Os dados foram coletados pelo autor e por estagiários de iniciação científica previamente treinados.

O procedimento experimental pode ser dividido em três partes: **modelagem, treino e teste**, explicadas a seguir.

3.3.1.1 - Modelagem

Na modelagem os animais aprenderam a abrir as janelas basculantes em busca do reforço. Com o aparato de acrílico a cerca de 5 cm da grade do viveiro, deixou-se as janelas semi-abertas de forma que o sujeito poderia visualizar o reforço. Para pegá-lo, o animal esbarrava na janela basculante. Aos poucos as janelas foram sendo fechadas cada vez mais, até que, por fim, o sujeito não possuía mais contato visual com o reforço e era obrigado a abrir as janelas aleatoriamente.

Os SD+ da modelagem foram as figuras das pranchas originais do HRR. Especificamente as pranchas de 1 a 3, chamadas *pranchas de demonstração*, por serem facilmente visualizadas, inclusive pelos humanos com as mais severas discromatopsias. Nessa fase apresentou-se o SD+ em ambas as janelas, com o propósito de recompensar o sujeito em todas as suas tentativas. A cada tentativa, foi feito um rodízio das figuras (O, Δ e X) nas duas janelas. Entre as tentativas, o anteparo da mesa de madeira era sempre abaixado, impedindo que o sujeito visualizasse a troca dos estímulos e se habituassem a essa operação. Caso fosse percebido que o sujeito tendia a escolher apenas

um dos lados, deslocava-se lateralmente a mesa para induzir o animal a tocar o lado que vinha sendo ignorado.

Depois de se realizar uma sessão experimental com as janelas totalmente fechadas, passou-se para a fase de treino.

3.3.1.2 - Treino

Na fase de treino os SD+ continuaram sendo as figuras das *pranchas de demonstração* (1 a 3) do HRR.

Nessa fase os animais aprenderam a escolher a prancha com uma das figuras (SD+), associada ao reforço, quando pareada com o padrão de círculos em tons de cinza (SD-). Para permitir que os sujeitos visualizassem ambas as pranchas (SD+ *versus* SD-) simultaneamente, o aparato de acrílico foi afastado da grade do viveiro até uma distância de cerca de 16 cm. Essa medida foi estabelecida por ser a maior distância que permitia que os sujeitos pudessem empurrar as janelas basculantes com os estímulos.

No início de cada sessão de treino realizaram-se dez tentativas facilitadas para relembrar a tarefa ao sujeito. Essas tentativas facilitadas consistiram em apresentar a janela que continha o SD- um pouco mais aberta que a janela que apresentava o SD+. Após estas tentativas os sujeitos realizaram cerca de 60 tentativas ou o número correspondente ao período do experimento (50 a 60 minutos).

Uma vez que os sujeitos atingiram o critério de 80% de acertos em três sessões consecutivas de treino, sem contar com as tentativas facilitadas, foi iniciada a fase de teste.

3.3.1.3 - Teste

Nas sessões de teste os SD+ foram todas as figuras das seguintes pranchas do HRR: 1 a 3 (pranchas de demonstração), 7 a 10 (pranchas de averiguação de defeitos M-L) e 11 a 20 (pranchas de diagnóstico), num total de 27 figuras. Lembrando-se que o número de pranchas não corresponde ao número de figuras, pois existem pranchas com uma ou duas figuras.

Uma sessão de teste correspondeu a apresentar duas vezes as 27 figuras de forma aleatória, num total de **54 tentativas por sessão**. No início de cada sessão, realizaram-se dez tentativas com as pranchas de demonstração (1 a 3), para determinar como estava o desempenho do sujeito naquele dia específico. A sessão de teste só era realizada caso o indivíduo obtivesse nove (09) acertos nessas dez (10) tentativas.

Foram realizadas oito (08) sessões de teste por indivíduo e em cada uma das sessões, o teste HRR foi apresentado duas vezes, assim sendo, ao final das oito sessões, **cada sujeito fez o teste HRR 16 vezes**.

O limite superior de confiança de 95% para um desempenho aleatório foi construído por meio do teste binomial (Gomes *et al.*, 2002 e 2005; Pessoa *et al.*, 2003 e 2005 e Prado, 2005). Para 16 tentativas o limite superior é 75%. O desempenho dos sujeitos foi comparado com este limite, sendo que qualquer valor acima desse limite foi considerado significativo ($P < 0,05$), ou seja, 12 ou mais acertos nas 16 apresentações do HRR.

Calculado o número de acertos e erros com base no teste binomial de aleatoriedade, os dados do sujeito foram colocados na planilha convencional para humanos (Figura 7) e o diagnóstico da visão de cores foi realizado.

3.3.2 - Protocolo do Teste em humanos

Como forma de verificar se este protocolo de administração do HRR é coerente com a aplicação convencional, elaborou-se um experimento em seres humanos. Os humanos não necessitaram passar por modelagem ou treino, indo direto para a fase de teste, pois foram instruídos oralmente sobre as regras do teste. As sessões de teste não foram realizadas em horário fixo, mas sempre existiu um intervalo de 24h entre elas. As sessões aconteceram mediante a disponibilidade dos sujeitos, que participaram por livre e espontânea vontade. Os experimentos com humanos foram realizados no Laboratório de Neurociências e Comportamento da Universidade de Brasília – UnB sob iluminante D65, de acordo com as especificações da *Richmond Products*, fabricante do HRR (Neitz *et al.*, 2002b).

Na primeira sessão experimental, realizou-se o diagnóstico dos dois daltônicos pelo teste HRR, apresentado da maneira convencional. Em seguida, apresentou-se o HRR seguindo o mesmo protocolo utilizado nos *Saimiri ustus*. Ou seja, os humanos fizeram 8 sessões de teste, totalizando 16 apresentações aleatórias do teste HRR. Os diagnósticos dos dois protocolos foram posteriormente comparados.

4 - RESULTADOS

Dentre os sujeitos *Saimiri ustus* testados, os três sujeitos (dois machos e uma fêmea) com experiência prévia em experimentos comportamentais discriminativos não atingiram o critério de 80% de acertos na fase de treino. No decorrer das sessões os sujeitos não apresentaram preferência por nenhuma das três figuras utilizadas como SD+ (O, Δ e X). O desempenho desses sujeitos está sintetizado na Tabela 2.

Tabela 2: Desempenho dos sujeitos *S. ustus* que não atingiram o critério de 80% de acertos na fase de treino.

Sujeitos	Tentativas realizadas	Acertos	Acertos*		
			O	Δ	X
Macho 2	2226	65%	32%	34%	34%
Macho 3	3530	73%	33%	32%	35%
Fêmea 2	942	56%	35%	33%	32%

* Porcentagem de acertos em cada uma das três figuras do HRR utilizadas nos treinos.

Dois sujeitos *Saimiri ustus* (Macho 1 e Fêmea 1), ingênuos em experimentos comportamentais, atingiram o critério de 80% de acertos na fase de treino e foram testados. O desempenho do Macho 1, nas 16 repetições do teste HRR que ocorreram nas oito sessões de teste, está na Tabela 3.

Partindo-se da Tabela 3, obtem-se a Tabela 4, que é uma cópia da tabela de diagnóstico do teste HRR (Figura 7). Como o Macho 1 acertou mais figuras na coluna **Protan** do que na coluna **Deutan** (4 *versus* 1), o diagnóstico da visão de cores do Macho 1 foi protan; como seu último erro na coluna **Protan** foi na prancha 19 (grupo “severo”), o diagnóstico preciso foi *protan severo*.

O desempenho da Fêmea 1 está na Tabela 5. Utilizando o mesmo raciocínio explicado anteriormente para o Macho 1, obteve-se a Tabela 6, que permite a

interpretação dos resultados como nos sujeitos humanos. Como a Fêmea 1 acertou mais figuras na coluna **Deutan** do que na coluna **Protan** (4 *versus* 2), seu diagnóstico de visão de cores foi deutan; como seu último erro na coluna **Deutan** foi na prancha 20 (grupo “severo”), o diagnóstico preciso foi *deutan severa*.

O sujeito Humano 1 comportou-se como protan leve tanto na aplicação convencional do HRR como na aplicação repetida utilizada nos *Saimiri* – seus últimos erros na coluna **Protan** foram nas pranchas 15 e 13, ambas pertencentes ao grupo “leve” (Tabela 7). O sujeito Humano 2 comportou-se como deutan médio tanto na aplicação convencional do HRR como na aplicação repetida utilizada nos *Saimiri* – seus últimos erros na coluna **Deutan** foram nas pranchas 16 e 18, ambas pertencentes ao grupo “moderado” (Tabela 8).

Apesar de diferenças nos acertos e erros de algumas figuras (14 O, 15 X e 16 O no Humano 1 e 14 X no Humano 2), os dois humanos daltônicos testados receberam o mesmo diagnóstico independentemente da metodologia utilizada.

4.1 - Análise de Dados

Os testes binomiais dos resultados obtidos nas sessões de teste de todos os sujeitos foram realizados pelo *software* BioEstat 2.0 (Ayres *et al.*, 2000).

Assumindo um intervalo de confiança de 95% para 16 tentativas (numero de repetições do teste HRR por sujeito), considerou-se como **um** acerto apenas quando o indivíduo acertou uma figura 12 ou mais vezes, pois o limite superior de aleatoriedade é 75% de acertos.

Tabela 3: Desempenho do Macho 1 em todas as sessões de teste de discriminação das pranchas do HRR. As colunas de 1 a 16 representam o número de repetições do HRR, os zeros (0) são os erros do sujeito, os uns (1) são os acertos e a coluna Σ , é o somatório dos acertos. Os somatórios significativos ($P < 0.05$) estão destacados em azul.

Prancha		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Σ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Σ		
2	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	Δ	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	14			
3	O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	15																				
7	X	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	8	Δ	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	5		
8	O	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	6	Δ	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	5		
9	O	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	10																				
10	X	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	6																				
	Protan																	Deutan																				
11	O	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	7	Δ	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	9		
12																			X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	14		
13	Δ	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	13																				
14	O	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	12	X	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	8	
15	X	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	5	O	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	8	
16	Δ	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	10	O	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	10
17	O	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	13	Δ	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	8	
18	Δ	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	8	X	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	9
19	X	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	11	O	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	9
20	O	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	13	Δ	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	5
Sessão de Teste*		1	2	3	4	5	6	7	8	Sessão de Teste*		1	2	3	4	5	6	7	8																			

* Em cada sessão de teste o HRR foi apresentado duas (02) vezes.

Tabela 4: Diagnóstico do Macho 1 pelo teste HRR: Protan severo (protanopo). Os uns (1) são os acertos considerados significativos. Somente as pranchas de 11 a 20 são diagnósticas. Os acertos estão destacados em azul e o último erro em vermelho.

Prancha		Resposta		Resposta
2	X	1	Δ	1
3	O	1		
7	X	0	Δ	0
8	O	0	Δ	0
9	O	0		
10	X	0		
	Protan		Deutan	
11	O	0	Δ	0
12			X	1
13	Δ	1		
14	O	1	X	0
15	X	0	O	0
16	Δ	0	O	0
17	O	1	Δ	0
18	Δ	0	X	0
19	X	0	O	0
20	O	1	Δ	0

Tabela 5: Desempenho da Fêmea 1 em todas as sessões de teste de discriminação das pranchas do HRR. As colunas de 1 a 16 representam o número de repetições do HRR, os zeros (0) são os erros do sujeito, os uns (1) são os acertos e a coluna Σ , é o somatório dos acertos. Os somatórios significativos ($P < 0.05$) estão destacados em azul.

Prancha		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Σ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Σ	
2	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	14	Δ	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	14	
3	O	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	14																			
7	X	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	10	Δ	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	12	
8	O	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	8	Δ	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	9	
9	O	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	7																			
10	X	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	8																			
	Protan																	Deutan																			
11	O	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	9	Δ	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	11	
12																			X	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	12	
13	Δ	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	7																			
14	O	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	5	X	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	14	
15	X	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	6	O	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	13	
16	Δ	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	7	O	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	10
17	O	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	13	Δ	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	12
18	Δ	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	9	X	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	11
19	X	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	12	O	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	11
20	O	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	8	Δ	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	8	
Sessão de Teste*		1	2	3	4	5	6	7	8	Sessão de Teste*		1	2	3	4	5	6	7	8																		

* Em cada sessão de teste o HRR foi apresentado duas (02) vezes.

Tabela 6: Diagnóstico da Fêmea 1 pelo teste HRR. Deutan severo (deuteranopo). Os uns (1) são os acertos considerados significativos. Somente as pranchas de 11 a 20 são diagnósticas. Os acertos estão destacados em azul e o último erro em vermelho.

Prancha		Resposta		Resposta
2	X	1	Δ	1
3	O	1		
7	X	0	Δ	1
8	O	0	Δ	0
9	O	0		
10	X	0		
	Protan		Deutan	
11	O	0	Δ	0
12			X	1
13	Δ	0		
14	O	0	X	1
15	X	0	O	1
16	Δ	0	O	0
17	O	1	Δ	1
18	Δ	0	X	0
19	X	1	O	0
20	O	0	Δ	0

Tabela 7: Desempenho do Humano 1 no protocolo utilizado nos *S. ustus* (esquerda) e no protocolo convencional de aplicação do HRR (direita). O diagnóstico em ambos os casos foi protan leve (protanômalo). Os acertos estão destacados em azul e o último erro em vermelho.

Prancha		Resposta		Resposta
2	X	1	Δ	1
3	O	1		
7	X	0	Δ	0
8	O	0	Δ	0
9	O	0		
10	X	0		
	Protan		Deutan	
11	O	0	Δ	0
12			X	1
13	Δ	0		
14	O	0	X	0
15	X	0	O	0
16	Δ	1	O	0
17	O	1	Δ	0
18	Δ	1	X	0
19	X	1	O	1
20	O	1	Δ	1

Prancha		Resposta		Resposta
2	X	1	Δ	1
3	O	1		
7	X	0	Δ	0
8	O	0	Δ	0
9	O	0		
10	X	0		
	Protan		Deutan	
11	O	0	Δ	0
12			X	0
13	Δ	0		
14	O	1	X	0
15	X	1	O	0
16	Δ	1	O	1
17	O	1	Δ	0
18	Δ	1	X	0
19	X	1	O	1
20	O	1	Δ	1

Tabela 8: Desempenho do Humano 2 no protocolo utilizado nos *S. ustus* (esquerda) e no protocolo convencional de aplicação do HRR (direita). O diagnóstico em ambos os casos foi deutan médio (deuteranômalo). Os acertos estão destacados em azul e o último erro em vermelho.

Prancha		Resposta		Resposta
2	X	1	Δ	1
3	O	1		
7	X	0	Δ	0
8	O	0	Δ	0
9	O	0		
10	X	0		
	Protan		Deutan	
11	O	0	Δ	0
12			X	0
13	Δ	0		
14	O	0	X	1
15	X	0	O	1
16	Δ	0	O	0
17	O	0	Δ	1
18	Δ	0	X	1
19	X	0	O	1
20	O	0	Δ	1

Prancha		Resposta		Resposta
2	X	1	Δ	1
3	O	1		
7	X	0	Δ	0
8	O	0	Δ	0
9	O	0		
10	X	0		
	Protan		Deutan	
11	O	0	Δ	0
12			X	0
13	Δ	0		
14	O	0	X	0
15	X	0	O	1
16	Δ	0	O	0
17	O	0	Δ	1
18	Δ	0	X	0
19	X	0	O	1
20	O	0	Δ	1

5 - DISCUSSÃO

Descobertas recentes sugerem que as funções neurais envolvendo a percepção de cores possuem uma grande plasticidade. Esta plasticidade do sistema visual serve para: permitir a adaptação a diferentes ambientes cromáticos; a diferenças entre taxas de cones M e L; ajustar a percepção de cores ao amarelecimento do cristalino durante o envelhecimento e para maximizar a visão de cores em tricromatas anômalos, regulando a percepção de forma a minimizar as variações fenotípicas das opsinas (Neitz *et al.*, 2002a). A adaptação do sistema visual de cores ao iluminante é importantíssima a todos que habitam o mesmo meio ambiente, permitindo que a codificação das cores sirva como uma forma de comunicação eficiente. Extrapolando este conceito para outras espécies, é possível que a percepção de cores em espécies com picos espectrais próximos aos do ser humano seja igualmente semelhante a nossa.

Os resultados dos sujeitos humanos sugerem que o protocolo de administração do HRR utilizado nos *S. ustus* é eficiente como diagnóstico, uma vez que mesmo havendo variações em algumas figuras, o diagnóstico manteve-se igual independente do protocolo utilizado nos sujeitos avaliados (Tabelas 7 e 8). Nas instruções do HRR existe a preocupação de que repetições na aplicação das pranchas possam facilitar a discriminação e resultar num diagnóstico falso (Neitz *et al.*, 2002b), devido ao desenvolvimento de estratégias perceptuais. Este fenômeno não foi verificado no Humano 1 que, inclusive, acertou mais vezes no protocolo convencional (Tabela 7), embora o Humano 2 tenha acertado duas figuras a mais no protocolo utilizado nos *S. ustus* (Tabela 8).

Segundo o trabalho de Neitz, Neitz e Kainz (1996) sobre as variações dos tipos de visão de cores em deuteranômalos, infere-se que o Humano 2,

diagnosticado como deuteranômalo pelo HRR, possui pigmentos com picos 440, 557 e 565nm. A distância entre os picos espectrais M e L esperada para um sujeito deutan médio é de 8nm (Neitz *et al.*, 1996). O pico em torno de 557nm foi encontrado a partir da subtração do pico 565nm, considerado normal em humanos, por 8nm.

Nesse estudo, os dois controles foram: a comparação com o experimento em humanos e as pranchas 2 e 3 (pranchas de demonstração), que podem ser visualizadas inclusive por indivíduos monocromatas. Os dois sujeitos *Saimiri* (Macho 1 e Fêmea 1) tiveram um desempenho significativo nas três figuras das pranchas 2 e 3 (Tabelas 4 e 6), sugerindo que houve aprendizado da tarefa de discriminação.

Tabela 9: Os seis fenótipos de visão de cores dos *Saimiri*, com o pico de absorção dos pigmentos M/L e analogia com a visão de cores de seres humanos (modificado de Osorio, *et al.*, 2004).

Pico de absorção (nm)	Tipo de visão de cores em humanos
535	Dicromata protan
550	_____
562	Dicromata deutan
535, 562	Tricromata normal
535, 550	Tricromata protanômalo
550, 562	Tricromata deuteranômalo

Na Tabela 9 encontramos uma comparação das combinações dos três tipos de pigmentos mais frequentes em *Saimiri* com os tipos de visão de cores encontradas em humanos (Osorio *et al.*, 2004). Esta tabela apóia o pensamento de que os diferentes tipos de visão de cores do *Saimiri* possuem analogia com a visão tricromática normal, anômala e dicromática em humanos (Jacobs, 1997). O Macho 1

foi diagnosticado pelo HRR como foi protan severo. Por ser um macho de uma espécie polimórfica, um diagnóstico mais preciso seria de protanopia, pois se sabe que ele possui apenas dois tipos de pigmentos, o S e um M/L. Dessa forma, os pigmentos do Macho 1, pelo diagnóstico do HRR, são, provavelmente, os que possuem picos em 433 e 535nm.

A Fêmea 1 foi diagnosticada como deutan severa pelo HRR. Como se trata de uma fêmea, este diagnóstico permite duas interpretações; ela poderia possuir dois pigmentos M/L próximos, com picos de 550 e 562nm, por exemplo, ou apenas um (01) pigmento M/L com pico em 562nm. Utilizando a tabela apresentada por Neitz e Neitz (1998) que relaciona o diagnóstico do HRR com as distâncias dos picos espectrais, percebe-se que essa fêmea provavelmente não é deuteranomala. Para ser uma deuteranomala severa ela deveria possuir dois pigmentos com picos espectrais distantes entre si cerca de quatro nanômetros. Sabendo-se que existem pequenas variações nos picos de sensibilidade das opsinas M/L nas diferentes espécies de *Saimiri* (Croop *et al.*, 2002 e SurrIDGE *et al.*, 2003), mesmo que ela possuísse as opsinas com pico em 556 e o 561nm, existiriam 5nm de diferença, o que já é suficiente para caracterizar uma deuteranomalia média em humanos (Neitz & Neitz, 1998). Na Tabela 9, assume-se que a ausência de analogia entre o pigmento 550 e um tipo de visão de cores em humanos, seria o que se caracteriza, no HRR, como *discromatopsia inclassificável*. Portanto, pelo diagnóstico do teste HRR e usando como referência a Tabela 9, sugere-se que a Fêmea 1 possua a opsina S (430nm) e apenas um tipo de opsina M/L com pico em 562nm.

Outro aspecto abordado indiretamente nesse estudo foi o do processamento global *versus* local das figuras hierarquicamente compostas. Figuras hierarquicamente compostas são formadas por figuras que possuem significado mesmo

se excluídas do contexto (Figura 11). Assim, existe o processamento global, do todo (Gestalt), e o processamento da parte (van Lier *et al.*, 1997). Existe em *Cebus apella*, ao contrário do que ocorre no homem, uma priorização da parte sobre o todo, no processamento visual dos estímulos hierarquicamente compostos (Spinozzi *et al.*, 2003). A preocupação inicial de que os *S. ustus*, que são cebídeos, não conseguissem ver as figuras das pranchas do HRR devido a esse fenômeno provou-se infundada. Provavelmente isto se deve ao fato das figuras do HRR, apesar de compostas hierarquicamente, possuírem uma composição densa, o que minimiza esse efeito (Spinozzi *et al.*, 2006). Talvez existam variações individuais neste fenômeno e isso pode estar relacionado com o fato de alguns sujeitos não terem atingido o critério ao mesmo tempo em que o casal de *Saimiri* testado. Contudo, isto só poderia ser evidenciado em estudos de processamento local e global como os de Spinozzi e colaboradores (2003 e 2006).

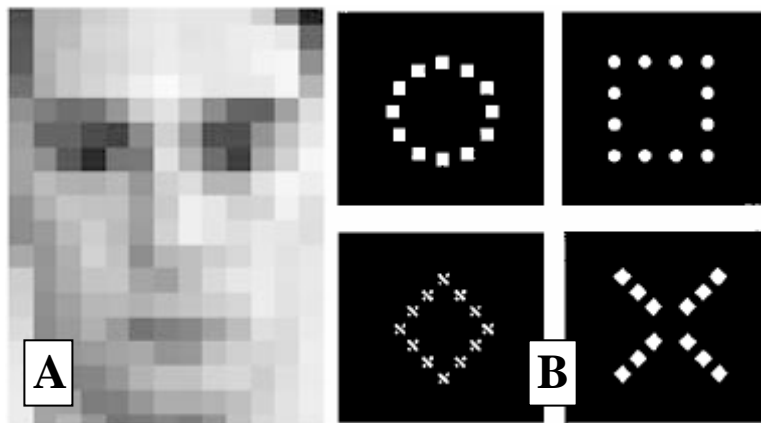


Figura 11: Exemplos de figuras hierarquicamente compostas. Um rosto humano composto por quadrados (A) (modificado de Bachmann *et al.*, 2004). Círculo formado por quadrados, quadrado formado por círculos, losango formado por letras xis e xis formado por losangos (B) (modificado de Spinozzi *et al.*, 2003).

Os três animais que não atingiram o critério de 80% de acerto foram exatamente os que participaram de um estudo comportamental prévio utilizando papéis

de Munsell (Prado, 2005) e poderiam fornecer um bom parâmetro de comparação entre os dois testes. Vale ressaltar que cada animal esteve envolvido no experimento com papéis de Munsell (Prado, 2005) por, em média, dois anos, o que pode ter dificultado o aprendizado da metodologia do presente estudo, ao contrário da crença de que este conhecimento prévio seria um facilitador. Outro aspecto considerado foi a possibilidade destes sujeitos apresentarem preferência por alguma das três figuras do HRR (O, Δ ou X), embora esse fenômeno não tenha sido evidenciado (Tabela 2).

O protocolo mostrou-se válido como forma de aplicar um teste pseudoisocromático de humanos no *S. ustus* e, possivelmente, em outras espécies de cebídeos. A semelhança entre os tipos de pigmentos do *Saimiri* e do homem já era conhecida (Kremers *et al.*, 1999), mas nota-se que a percepção de cores das duas espécies é, de certa forma, análoga, uma vez que se conseguiu relacionar discromatopsias tipicamente humanas aos fenótipos de indivíduos *S. ustus*, como proposto por Osório e colaboradores (2004). Apesar do baixo número amostral, o presente trabalho aponta também uma tendência de similaridade na *percepção* de cores, decorrente da similaridade dos picos de absorção dos cones e prováveis semelhanças nos mecanismos corticais desta modalidade sensorial. Os outros animais do estudo continuam sendo testados para posterior publicação dos dados.

Uma forte tendência, com a finalidade de responder quais são as pressões seletivas que desenvolveram e mantêm o tricromatismo, são as pesquisas de campo (Croop *et al.*, 2002; Osório *et al.*, 2004; Riba-Hernandez *et al.*, 2005 e Stoner *et al.*, 2005). Elas investigam os animais em situação natural, medindo sua percepção de cores através dos itens forrageados e dos picos espectrais das opsinas, obtidos por técnicas de genética molecular. Estes estudos foram evitados por muito tempo por serem demorados e pelas dificuldades de visualização e medição tanto dos itens

alimentares quanto dos próprios animais. Uma abordagem que talvez ainda não tenha sido tentada seria levar daltônicos ao campo, no ambiente natural dos *Saimiri*, e elaborar tarefas de discriminação de folhas, frutos e insetos crípticos, comparando seus desempenhos com o de humanos dicromatas e tricromatas, uma vez que o presente estudo sugere que suas percepções podem ser parecidas.

Nos últimos anos a compreensão das propriedades cromáticas das células nos estágios iniciais da via visual (retina e núcleo geniculado lateral) tem aumentado consideravelmente, embora pouco ainda seja conhecido sobre o processamento das cores no córtex cerebral (Gegenfurtner & Kiper, 2003). Mesmo com o desenvolvimento das técnicas não invasivas de mapeamento cortical e de experimentos cirúrgicos com primatas não humanos, ainda nos falta a confirmação, filosófica, de certa maneira, de que *percebemos* as mesmas cores, embora já existam esforços nesse sentido (Neitz *et al.*, 2002a). Experimentos comportamentais como este aqui nos dizem muito sobre a percepção de cores comparada. Mesmo sabendo-se que existe uma grande variação individual, é possível que esta não seja tão grande.

Como perspectivas futuras pretende-se testar os outros *S. ustus* em cativeiro no Centro de Primatologia da UnB para posterior publicação; testar mais daltônicos humanos (dicromatas e tricromatas anômalos) na mesma metodologia a fim de validar (ou não) o protocolo de aplicação nos *Saimiri*; coletar amostras de tecidos dos *S. ustus* envolvidos para determinação dos fenótipos por técnicas de genética molecular.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abramov, I. & Gordon, J. (1994). Color appearance: on seeing red-or yellow, or green, or blue. *Ann. Rev. Psychol.*, 45: 451-485.
- Arrese, C. A.; Hart, N. S.; Thomas, N.; Beazley, L.D. & Shand, J. (2002). Trichromacy in Australian marsupials. *Curr. Biol.*, 12: 657-660.
- Ayres, M.; Ayres, M.Jr.; Ayres, D.L. & Santos, A.S. (2000). BioEstat 2.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas. Sociedade Civil Mamirauá, Belém, Brasil.
- Bachmann, T.; Luiga, I. & Endel, P. (2004). Forward masking of faces by spatially quantized random and structured masks: on the roles of wholistic configuration, local features, and spatial-frequency spectra in perceptual identification. *Psychol.Res.*, 69: 11-21.
- Baldwin, J.D. & Baldwin, J.I. (1981). The squirrel monkeys, Genus *Saimiri*. In: *Ecology and behavior of Neotropical primates*. A.F Coimbra-Filho & R.A Mittermeier (eds), pp. 277-325. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, Brasil.
- Birch, J. (1997). Clinical use of the American Optical Company (Hardy, Rand and Rittler) pseudoisochromatic plates for red-green colour deficiency. *Ophthalm. and Physiol. Optics*, 17: 248-54.
- Boinski S. & Cropp, S.J. (1999). Disparate Data Sets Resolve Squirrel Monkey (*Saimiri*) Taxonomy: Implications for Behavioral Ecology and Biomedical Usage. *Int. J. Primatol.*, 20: 237-256.
- Boinski, S.; Sughrui, K.; Selvaggi, L.; Quatrone, R.; Henry, M. & Cropp, S. (2002). An expanded test of the ecological model of primate social evolution:

competitive regimes and female bonding in three species of squirrel monkeys (*Saimiri oerstedii*, *S. boliviensis*, and *S. sciureus*). *Behaviour* 139: 227-61.

Boissinot, S.; Tan, Y.; Shyne, S.K.; Schneider, H.; Sampaio, I.; Neiswanger, K.; Hewett-Emmett, D. & Li, W.H. (1998). Origins and antiquity of X-linked triallelic color vision systems in New World monkeys. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95: 13749-13754.

Buchanan-Smith, H.M. (2005). Recent advances in color vision research. *Am. J. Primatol.*, 67: 393-398.

Caine, N.G. & Mundy, N.I.(2000). Demonstration of a foraging advantage for trichromatic marmosets (*Callithrix geoffroyi*) dependent on food color. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 267: 439-444.

Cropp, S. & Boinski, S. (2000). The central american squirrel monkey (*Saimiri oerstedii*): introduced hybrid or endemic species? *Mol. Phyl. Evol.* 16: 350-365.

Cropp, S., Boinski, S. & Li, W-H. (2002). Allelic variation in the squirrel monkey X-linked color vision gene: biogeographical and behavioral correlates. *J. Mol. Evol.*, 54: 734-745.

Bailey, J.E.; Neitz, M.; Tait, D. & Neitz, J. (2004). Evaluation of an updated HRR color vision test. *Vis. Neurosci.*, 21: 431-436.

Dain, S.J. (2004). Clinical colour vision tests. *Clin. Exp. Optom.*, 87: 276-293.

Deeb, S.S. (2004) Molecular genetics of color vision deficiencies. *Clin. Exp. Optom.*; 87: 224-229.

Dominy, N.J. & Lucas, P.W. (2001). Ecological importance of trichromatic vision to primates. *Nature*, 410: 363-366.

- Dominy, N.J.; Svenning, J-C. & Li, W-H. (2003). Historical contingency in the evolution of primate color vision. *J. of Human. Evol.*, 44: 25-45.
- Dulai, K.S.; von Dornum, M.; Mollon, J.D. & Hunt, D.M. (1999). The evolution of trichromatic color vision by opsin gene duplication in new world and old world primates. *Genome Res.*, 9: 629-638.
- Gegenfurtner, K.R. (2003). Cortical mechanism of colour vision. *Nature Reviews*, 4: 563-572.
- Gegenfurtner, K.R. & Kiper, D.C. (2003). Color vision. *Annu. Rev. Neurosci.*, 26: 181-206.
- Gomes, U.R.; Pessoa, D.M.A.; Tomaz, C. & Pessoa, V.F. (2002). Color vision perception in the capuchin monkey *Cebus apella*: a re-evaluation of procedures using Munsell papers. *Behav. Brain Res.*, 129: 153-157.
- Gomes, U.R.; Pessoa, D.M.A.; Suganuma, E.; Tomaz, C. & Pessoa, V.F. (2005). Influence of stimuli size on color discrimination in capuchin monkeys. *Am. J. Primatol.*, 67: 437-446.
- Hendry S.H. & Reid R.C. (2000). The koniocellular pathway in primate vision. *Annu. Rev. Neurosci.*, 23: 127-53.
- Hershkovitz, P. (1984) Taxonomy of squirrel monkeys genus *Saimiri* (Cebidae, Platyrrhini): A preliminary report with description of a hitherto unnamed form. *Am. J. Primatol.*, 7: 155-210.
- Hiramatsu, C.; Radlwimmer, F.B.; Yokoyama, S. & Kawamura, S. (2004). Mutagenesis and reconstitution of middle-to-long-wave-sensitive visual pigments of New World monkeys for testing the tuning effect of residues at sites 229 and 233. *Vision Res.*, 44: 2225-2231.

- Hunt, D.M.; Dulai, K.S.; Cowing, J.A.; Julliot, C.; Mollon, J.D.; Bowmaker, J.K.; Li, W.H & Hewett-Emmett, D. (1998). Molecular evolution of trichromacy in primates. *Vision Res.*, 38: 3299-3306.
- Jacobs, G.H. (1974). Vision in squirrel monkeys: physiological and psychophysical evidence of sex-related differences. *Physiol.*, 17: 254.
- Jacobs, G.H. (1984). Within-species variations in visual capacity among squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*): color vision. *Vision Res.*, 24: 1267-1277.
- Jacobs, G.H. (1997). Color vision polymorphism in New World monkeys: implications for the evolution of primate trichromacy. In : *New World Primates. Ecology, Evolution and Behavior*, W.G. Kinsey (ed.), pp 45-74. Aldine de Gruyter, New York, NY.
- Jacobs, G.H. & Blakeslee, B. (1984). Individual variations in color vision among squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*) of different geographical origins. *J.Comp. Psychol.*, 98: 347-357.
- Jacobs, G.H. & Deegan, J.F.II (2003). Cone pigment variations in four genera of new world monkeys. *Vision Res.*, 43: 227-236.
- Jacobs, G.H. & Neitz, J. (1985). Color-vision in squirrel monkeys : sex-related differences suggest the mode of inheritance. *Vision Res.*, 25: 141-143.
- Jacobs, G.H. & Neitz, J. (1987). Inheritance of color vision in a New World monkey (*Saimiri sciureus*). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 84: 2545-2549.
- Jacobs, G.H. & Rowe, M.P. (2004). Evolution of vertebrate colour vision. *Clin. Exp. Optom.*, 87: 206–216.
- Jacobs, G.H.; Deegan, I.J.F.II; Neitz, J.A.; Crognale, M.A. & Neitz, M. (1993). Photopigments and color vision in the nocturnal monkey, *Aotus*. *Vision Res.*, 33: 1773-1783.

- Jacobs, G.H.; Fenwick, J.C.; Calderone, J.B. & Deeb, S.S. (1999). Human cone pigment expressed in transgenic mice yields altered vision. *J. Neurosci.*, 19: 3258-3265.
- Jacobs, G.H.; Neitz, J. & Neitz, M. (1993). Genetic basis of polymorphism in the color vision of platyrrhine monkeys, *Vision Res.*, 3: 269-274.
- Jacobs, G.H.; Neitz, M.; Deegan, I.J.F.II & Neitz, J. (1996). Trichromatic colour vision in New World monkeys. *Nature*, 382: 156-158.
- Jindrova H. (1998). Vertebrate phototransduction: activation, recovery, and adaptation. *Physiol. Res.*, 47: 155-68.
- Kandel, E. R.; Schwartz, J. H.; Jessell, T. M. (2000). Principles of neural science 4/e. McGraw-Hill Companies, New York, NY.
- Kelber, A.; Vorobyev, M. & Osorio, D. (2003). Animal colour vision – behavioral tests and physiological concepts. *Biol. Rev.*, 78: 81-118.
- Kremers, J.; Silveira, L.C.L.; Yamada, E.S. & Lee, B.B. (1999). The ecology and evolution of primate color vision. In: *Color vision: from genes to perception*. K.R Gegenfurtner & L.T. Sharpe (eds), pp 123-142. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lennie, P. & D'Zmura, M. (1988). Mechanisms of color vision. *Cr. Rev. Neurobiol.*, 3: 333-400.
- Lent, R. (2001). Cem bilhões de neurônios: conceitos fundamentais de neurociência. Editora Atheneu, São Paulo, Brasil.
- Lucas, P.W.; Darvell B.W.; Lee, P.K.D.; Yuen, T.D.B. & Choong, M.F. (1998) Colour cues for leaf food selection by long-tailed macaques (*Macaca fascicularis*) with

a new suggestion for the evolution of trichromatic colour vision. *Folia Primatol.*, 69: 139-152.

Meyer, P. (2002). O olho e o cérebro: biofilosofia da percepção visual (pp. 69-70).
Editora Unesp, São Paulo, Brasil.

Mollon, J.D. (1982). Color vision. *Ann. Rev. Psychol.*, 33: 41-85.

Mollon, J.D. (1989). “Tho’ she kneel’d in place where they grew...” The uses and origins of primate colour vision. *J. Exp. Biol.*, 146: 21-38.

Mollon, J.D.; Bowmaker, J.K. & Jacobs, G.H. (1984). Variations of colour vision in a New World primate can be explained by polymorphism of retinal photopigments. *Proc. R. S. Lond. B*, 222: 373-399.

Morgan, M.J.; Adam, A. & Mollon, J.D. (1992). Dichromats detect colour-camouflaged objects that are not detected by trichromats. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 248: 291-295.

Nakamura, K.; Okajima, O.; Nishio, Y. & Kitahara, K. (2002). New color vision tests to evaluate faulty color recognition. *Jpn. J. Ophthalmol.*, 46: 601-606.

Neitz, J.; Neitz, M. & Kainz, P.M. (1996). Visual pigment gene structure and the severity of color vision defects. *Science*, 274: 801-804.

Neitz, M. & Neitz, J. (1998). Molecular genetics and the biological basis of color vision. In: *Color Vision – Perspectives from different disciplines*. W.G.K. Backhaus, R. Kliegl & J.S. Werner (eds.), pp 101-119. Walter de Gruyter, Berlin.

Neitz, J.; Carroll, J.; Yamauchi, Y.; Neitz, M. & Williams, D.R. (2002a) Color perception is mediated by a plastic neural mechanism that is adjustable in adults. *Neuron*, 35: 783-792.

- Neitz, J.; Neitz, M. & Bailey J. (2002b). H.R.R. Pseudoisochromatic Plates, Fourth Edition, re-engineered by Neitz, Neitz and Bailey. Richmond Products Inc, Florida.
- Osorio, D.; Vorobyev, M. (1996). Colour vision as an adaptation to frugivory in primates. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 263: 593-599.
- Osorio, D.; Vorobyev, M. & Buchanan-Smith, H.M. (2004). Detection of fruit and the selections of primate visual pigments for color vision. *Am. Nat.*, 164: 696-708.
- Palmer, S. E. (1999). Vision Science – Photons to Phenomenology. Massachusetts Institute of Technology Press, Massachusetts.
- Pessoa, D. M. A.; Araujo M.F.P., Tomaz, C. & Pessoa; V. F. (2003). Colour discrimination learning in black-handed tamarin (*Saguinus midas niger*). *Primates*, 44: 413-418.
- Pessoa D.M.A.; Tomaz C. & Pessoa V.F. (2005). Color vision in marmosets and tamarins: behavioral evidence. *Am. J. Primatol.*, 67: 487-495.
- Prado, C.C. (2005). Visão de cores no mico-de-cheiro (*Saimiri ustus*). *Tese de mestrado*. Universidade de Brasília.
- Regan, B.C.; Julliot, C.; Simmen, B.; Viénot, I.; Charles-Dominique, P. & Mollon, J.D. (1998). Frugivory and colour vision in *Alouatta seniculus*, a trichromatic platyrrhine monkey. *Vision Res.*, 38: 3321-3327.
- Regan, B.C.; Julliot, C.; Simmen, B.; Viénot, F.; Charles-Dominique, P. & Mollon, J.D. (2001). Fruits, foliage and the evolution of primate colour vision. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 356: 229-283.

- Riba-Hernandez, P.; Stoner K.E. & Lucas, P.W. (2005). Sugar concentration of fruits and their detection via color in the Central American spider monkey (*Ateles geoffroyi*). *Am. J. Primatol.*, 67: 411-423.
- Rowe, M.P. & Jacobs, G.H. (2004). Cone pigment polymorphism in New World monkeys: Are all pigments created equal? *Vis. Neur.*, 21: 217-222.
- Saito, A.; Mikami, A.; Hasegawa, T.; Koida, K.; Terao, K.; Satoshi, K.; Onishi, A.; Takenaka, O.; H. Teramoto, M & Mori, Y. (2003). Behavioral evidence of color vision deficiency in a protanomaly chimpanzee (*Pan troglodytes*). *Primates*, 44: 171-176.
- Saito, A.; Mikami, A.; Kawamura, S.; Ueno, Y.; Hiramatsu, C.; Widayati, K.A.; Suryobroto, B.; Teramoto, M.; Mori, Y.; Nagano, K.; Fujita, K.; Kuroshima, H. & Hasegawa, T. (2005). Advantage of dichromats over trichromats in discrimination of color-camouflaged stimuli in non human primates. *Am. J. Primatol.*, 67: 425-436.
- Savage, A.; Dronzek, L.A. & Snowdon, C.T. (1987). Color discrimination by the cotton-top tamarin (*Saguinus oedipus oedipus*) and its relation to fruit coloration. *Folia Primatol.*, 49: 57-69.
- Sharpe, L.T.; Stockman, A.; Jägle H. & Nathans, J. (1999). Opsin genes, cone pigments, color vision and color blindness. In: *Color vision: from genes to perception*. K.R Gegenfurtner & L.T. Sharpe (eds), pp 3-51. Cambridge University Press, Cambridge.
- Shimmin, L.C.; Mai, P. & Li, W-H. (1997). Sequences and evolution of human and squirrel monkey blue opsin genes. *J. Mol. Evol.*, 44: 378-382.
- Skottun, B.C.; Nordby, K.; & Magnussen, S. (1980). Rod monochromat sensitivity to sine wave flicker at luminances saturating the rods. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 19: 108-111.

- Skottun, B.C.; Nordby, K.; & Magnussen, S. (1981). Photopic and scotopic flicker sensitivity of a rod monochromat. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 21: 877-879.
- Smith, A.C.; Buchanan-Smith, H.M.; SurrIDGE, A.K., Osório, O.; Mundy, N.I. (2003). The effect of colour vision status on the detection and selection of fruits by tamarins (*Saguinus* spp.). *J. Exp. Biol.*, 206: 3159-3165.
- Sloan, L.L. & Habel, A. (1956). Tests for color deficiency based on the pseudoisochromatic principle. *Arch. Ophthalmol.*, 55: 229-239.
- Spinozzi, G.; De Lillo, C. & Truppa, V. (2003). Global and local processing of hierarchical visual stimuli in tufted capuchin monkeys (*Cebus apella*). *J. of Comp. Psychol.*, 117: 15-23.
- Spinozzi, G.; De Lillo, C. & Salvi, V. (2006). Local advantage in the visual processing of hierarchical stimuli following manipulations of stimulus size and element numerosity in monkeys (*Cebus apella*). *Behav. Brain Res.*, 166: 45-54.
- Stoner, K.E.; Riba-Hernandez, P. & Lucas, P.W. (2005). Comparative use of color vision for frugivory by sympatric species of platyrrhines. *Am. J. Primatol.* 67: 399-409.
- Sumner, P. & Mollon, J.D. (2000) Catarrhine photopigments are optimised for detecting targets against a foliage background. *J. Exp. Biol.*, 203: 1963-1986.
- SurrIDGE, A.K.; Osorio, D. & Mundy, N.I. (2003) Evolution and selection of trichromatic vision in primates. *Trends Ecol. Evol.*, 18: 198-205.
- Talebi, M.G.; Pope, T.R.; Vogel, E.R.; Neitz, M. & Dominy, N.J. (2006). Polymorphism of visual pigment genes in the muriqui (Primates, Atelidae). *Mol. Ecol.*, 15: 551-558.

- Tovée, M.J. (1994). The molecular genetics of primate colour vision. *Trends Neurosc.*, 17: 30-36.
- Tovée, M.J.; Bowmaker, J.K. & Mollon, J.D. (1992). The relationship between cone pigments and behavioral sensitivity in a New World monkey (*Callithrix jacchus jacchus*). *Vision Res.*, 32: 867-878.
- van Lier, R.J.; Leeuwenberg, E.L.J. & van der Helm, P.A. (1997). In support of hierarchy in objects representations. *Psychol. Res.*, 60: 134-143.
- Verhulst, S. & Maes, F.W. (1998). Scotopic vision in colour blinds. *Vision Res.*, 38: 3387-3390.
- Wang, D.; Oakley, T.; Mower, J.; Shimmin, L.C.; Yim, S.; Honeycutt, R.L.; Tsao, H. & Li, W-H (2003). Molecular evolution of bat color vision genes. *Mol. Biol. Evol.*, 21: 295-302.
- Wang, Y.; Smallwood, P.M.; Cowan, M.; Blesh, D.; Lawler, A. & Nathans, J. (1999). Mutually exclusive expression of human red and green visual pigment-reporter transgenes occurs at high frequency in murine cone photoreceptors. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96: 5251-5256.
- Zeki, S. (1993). The physiology of the colour pathways. In: *A vision of the brain*, Blackwell Scientific Publications, pp 256-263. Oxford, UK.
- Zhao, Z.; Hewett-Emmett, D. & Li, W-H. (1998). Frequent gene conversion between human red and green opsin genes. *J. Mol. Evol.*, 46: 494-496.



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICA - IBDB
COMITÊ DE ÉTICA NO USO ANIMAL - CEUA



05 de agosto de 2005.

A QUEM POSSA INTERESSAR

Declaramos que o projeto intitulado “**AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DE CORES NO MICO-DE-CHEIRO (SAIMIRI USTUS) PELO TESTE PSEUDOISOCROMÁTICO DE HRR**”, foi avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso Animal (CEUA) do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília.

Prof. Volnei Garrafa
Presidente do CEUA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do projeto: Avaliação da percepção de cores no mico-de-cheiro (*Saimiri ustus*) pelo teste pseudoisocromático de HRR.

Pesquisadores: Flávio Luis Leite Sousa
Tiago Siebert Altavini
Pollyanna Wanderley
Soha Chabrawi

Orientador: Prof. Dr. Valdir Filgueiras Pessoa.

Eu, _____,
_____ anos, RG nº: _____, abaixo assinado(a), declaro que participo voluntariamente neste projeto de pesquisa. Declaro ter lido ou ouvido o presente documento.

Compreendi que:

- 1) O objetivo desta pesquisa é colher informações acerca das diferentes formas de percepção de cores nos macacos *Saimiri ustus* e compará-las com humanos.
- 2) Farei oito sessões de testes de discriminação visual.
- 3) Deverei identificar três formas hierarquicamente compostas por círculos. Estas formas serão triângulos (Δ), letras xis (X) e círculos (O).
- 4) Durante os testes sempre serão apresentados dois estímulos, sendo que apenas um será o correto, ou seja, possuirá uma figura (Δ , X e O).
- 5) A apresentação de cada par de estímulos será de no máximo três (3) segundos.
- 6) Após a apresentação de um par de estímulos deverei apontar, com a mão, qual dos dois estímulos era o correto.
- 7) A cada resposta, serei informado do meu erro ou acerto.
- 8) Não será permitida, durante a realização do teste, a utilização de celulares.
- 9) Ao final do experimento serei informado sobre a característica da minha discromatopsia.
- 10) Tenho a garantia do sigilo de meus dados pessoais, e a liberdade de interromper ou retirar esse consentimento em qualquer fase da pesquisa, se assim o decidir.

Voluntário: _____

Brasília, ___/___/200__.