



Serviço Público Federal

Universidade Federal do Pará

Programa de Pós-Graduação em Teoria e Pesquisa do Comportamento

Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento

Comparação de dois procedimentos computadorizados para avaliação de discriminação de  
cores em *Cebus sp.*

Sheila Tetsume Makiana

Novembro/2009

Belém/ Pará



Serviço Público Federal

Universidade Federal do Pará

Programa de Pós-Graduação em Teoria e Pesquisa do Comportamento

Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento

Comparação de dois procedimentos computadorizados para avaliação de discriminação de cores em *Cebus sp.*

Sheila Tetsume Makiana

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Teoria e Pesquisa do Comportamento como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Teoria e Pesquisa do Comportamento sob orientação do Prof. Dr. Olavo de Faria Galvão e co-orientação do Dr. Paulo Roney Kilpp Goulart.

Esta pesquisa foi financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio de concessão de bolsa de mestrado, e pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

Novembro/2009

Belém/ Pará

## Agradecimentos

Ao professor Olavo Galvão, pela orientação, pelos ensinamentos, pelo apoio e paciência e por ter acreditado na conclusão deste trabalho (pelo menos não deu indícios de crer no contrário. Obrigada Mestre).

Ao Paulo Goulart, pessoa imprescindível para a realização deste trabalho. Muitíssimo obrigada por ter compartilhado seu conhecimento comigo e pela enorme presença, dedicação e compromisso.

Aos professores Elisabeth e Marcus Bentes. Por causa de sua persuasão e entusiasmo, enveredei nos caminhos da produção científica.

A todos os meus colegas da EEP, Miguel Lessa, Karol Marques, Glaucy Costa, Lorena Cardoso, Mariana Miccione, Mauro Jr. e todas as pessoas que conviveram comigo e que me suportaram gentilmente nos últimos dois anos, proporcionando um ambiente de trabalho agradabilíssimo. Obrigada pela amizade e pelos bons momentos.

Ao Edilson Pastana, seu Didi, pela paciência de segunda a sábado, de manhã e à tarde, e pelo ótimo tratamento administrado a todos os alunos da EEP.

A todos os alunos da EEP, em especial aos que trabalharam comigo. Foi muito agradável conhecer todos vocês. Não é justa a vida em cativeiro. Perdoem-me por ter me aproveitado dessa situação.

Aos meus amigos, Ana Paula Almeida, Lucineyre Machado, Vivianni Corrêa, Tássia Sidrim, Mychelle Monteiro, Flaviana Feiler, Alexandre Galhardo, Nayra, Mayra e “Dona” Marize. Obrigada pela cumplicidade e fraternidade.

À minha mãezinha, Fátima, por ter sempre me apoiado em todas as minhas decisões e por zelar por mim até hoje. Mulher com mais vigor não conheço.

Ao meu pai, Sadao, que mesmo longe sempre conseguiu manter-se presente.

Ao meu marido, Olívio Soares, pelo companheirismo nos últimos sete anos. Nós também temos bons momentos.

À “Dona” Júlia e à Juliana, por terem me ajudado nos momentos de necessidade.

À minha filha Cecília, hoje a pessoa mais importante da minha vida, que acrescentou uma pitada de dificuldade nessa reta final do Mestrado. Mas sem dificuldade não há superação.

## SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE TABELAS .....	viii
Resumo .....	ix
Abstract .....	x
INTRODUÇÃO .....	1
A VISÃO DE CORES E SUA FUNÇÃO EM PRIMATAS PLATIRRINOS .....	7
<i>CAMBRIDGE COLOUR TEST</i> .....	10
EXPERIMENTO 1 .....	21
MÉTODO .....	21
PARTICIPANTES .....	21
EQUIPAMENTO .....	21
ESTÍMULOS .....	22
AMBIENTE EXPERIMENTAL .....	24
PROCEDIMENTO .....	24
Procedimento Geral .....	24
Procedimento Específico da Fase de Treino da Resposta de Toque ao Alvo .....	25
Procedimento Específico da Fase de Simulação de Testes .....	28
Procedimento Específico de Teste do Experimento 1 – <i>Cambridge Colour Test</i> adaptado para o uso em sujeitos não-humanos. ....	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO 1 .....	29
EXPERIMENTO 2 .....	31
MÉTODO .....	31
PARTICIPANTES .....	31
EQUIPAMENTO .....	31
ESTÍMULOS .....	31
PROCEDIMENTO .....	33
RESULTADOS E DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO 2 .....	34
EXPERIMENTO 3 .....	47
MÉTODO .....	47
PARTICIPANTE .....	47
EQUIPAMENTO .....	47
ESTÍMULOS .....	48
AMBIENTE EXPERIMENTAL .....	49
PROCEDIMENTO .....	49
Procedimento Geral .....	49
Procedimento Específico da Fase de Linha de Base .....	49
Procedimento Específico da Fase de Teste do Experimento 3 .....	50
RESULTADOS E DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO 3 .....	50
DISCUSSÃO GERAL .....	55
REFERÊNCIAS .....	57
ANEXO 1 .....	60
ANEXO 2 .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Células nervosas que compõem a retina humana.....	3
Figura 2. Representação da porção visível de radiações eletromagnéticas .....	5
Figura 3. Curvas de sensibilidades espectrais de cones presentes na retina humana.....	6
Figura 4. Curvas de sensibilidades espectrais do cone S e dos três tipos de cone M/L.....	9
Figura 5. Arranjo de estímulos do <i>Cambridge Colour Test</i> . .....	12
Figura 6. Resultado da aplicação do teste de Mollon-Reffin em um indivíduo com visão tricromática normal. ....	13
Figura 7. Resultado da aplicação do teste em um sujeito protânope. ....	14
Figura 8. Linhas de confusão de cada fenótipo dicromata. ....	15
Figura 9. Curvas de sensibilidade espectral de 2 macacos-prego (símbolos preenchidos) e de 2 protânopes humanos (símbolos abertos) medidos através de Eletrorretinografia fotométrica Flicker. ....	17
Figura 10. Arranjo de estímulos da versão adaptada do <i>Cambridge Colour Test</i> . ....	25
Figura 11. Posições das coordenadas $u'v'$ utilizadas nas sessões de Treino e de Simulação de Teste do Experimento 1 no Diagrama de Cromaticidade CIE 1976. ....	27
Figura 12: Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiares discriminativos obtidos pelo participante M2 no Teste P .....	30
Figura 13. Posições das coordenadas $u'v'$ utilizadas no Experimento 2 no Diagrama de Cromaticidade CIE 1976. ....	32
Figura 14. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 1. ....	36
Figura 15. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 2. ....	36
Figura 16. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 3. ....	38
Figura 17. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 4. ....	38
Figura 18. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 5. ....	40
Figura 19. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 6. ....	41
Figura 20. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 7. ....	42
Figura 21. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 8. ....	43
Figura 22. Representação gráfica dos pontos $u'=0,135$ ; $v'=0,545$ (VD1), $u'=0,377$ ; $v'=0,517$ (VM1) e $u'=0,281$ ; $v'=0,526$ (VM3) ligados por uma linha reta e dos pontos $u'=0,136$ ; $v'=0,504$ (VD2), $u'=0,362$ ; $v'=0,482$ (VM2) e $u'=0,311$ ; $v'=0,486$ (VM4) também ligados por uma linha reta. ....	45
Figura 23. Arranjo de estímulos programados pelo PCR e reproduzidos pelo sistema computacional padrão.....	48
Figura 24. Percentual de acertos dos participantes nas sessões de Linha de base (LDB1 e LDB2).....	51
Figura 25. Percentual de acertos dos participantes nas tentativas de linha de base e de teste na sessão PCR1. ....	52
Figura 26. Percentual de acertos dos participantes nas tentativas de linha de base e de teste na sessão PCR2. ....	53

Figura 27. Diagrama de Cromaticidade 1931.....	61
Figura 28. Diagrama de Cromaticidade elaborado em 1976.....	61
Figura 29. Porção passível de reprodução por um monitor CRT. ....	62
Figura 30. Representação tridimensional do Diagrama de Cromaticidade CIE.....	63
Figura 31. Câmara utilizada nos Experimentos 1 e 2.....	64
Figura 32. Câmara utilizada no Experimento 3. ....	64

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Picos de sensibilidade espectral, em nanômetros, de fotopigmentos nos gêneros Cebus e Homo. Adaptado de Surridge et al (2003) .....	18
Tabela 2. Coordenadas $u'v'$ de cada estímulo utilizado na Fase de Treino e de Simulação de Teste do Experimento 1 .....	23
Tabela 3. Coordenadas $u'v'$ de cada estímulo utilizado na sessão de Teste do Experimento 1.....	23
Tabela 4. Distância máxima entre alvo e fundo utilizada nas sessões de Treino e de Simulação de Teste do Experimento 1 .....	28
Tabela 5. Coordenadas $u'v'$ de cada estímulo utilizado no Experimento 2 .....	32
Tabela 6. Programação das sessões de teste .....	33
Tabela 7. Distância máxima entre alvo e fundo no Diagrama de Cromaticidade CIE 197634	

Makiama, S. T. (2009). Comparação de dois procedimentos computadorizados para avaliação de discriminação de cores em *Cebus sp.* Dissertação de Mestrado. Belém; UFPa. 64 págs.

### Resumo

A visão de cores consiste na discriminação de objetos com base em sua composição espectral, auxiliando na interação organismo-ambiente. Dentre os primatas, estima-se que a dicromacia seja uma característica compartilhada pela maioria das espécies platirrinhas, sendo esta condição polimórfica e ligada ao sexo. O objetivo deste estudo foi comparar os resultados produzidos por equipamentos e softwares distintos para avaliar a tri/dicromacia em dois machos e duas fêmeas da espécie *Cebus sp.* Foram utilizados dois programas computadorizados: um envolvendo uma versão adaptada do *Cambridge Colour Test* e outro desenvolvido para o uso em sistema computacional padrão. Nos Experimentos 1 e 2 foi possível averiguar a condição tricromata de uma participante e dicromata dos participantes restantes. No Experimento 3, uma participante fêmea e um macho apresentaram desempenho dicromata compatível com o registrado nos experimentos anteriores. Neste mesmo experimento, uma participante fêmea apresentou desempenho tricromata compatível com o registrado nos experimentos anteriores. Concluiu-se com este estudo que condições favoráveis para a avaliação de visão de cores em primatas platirrinhas podem ser edificadas envolvendo equipamento e software de baixo custo financeiro e de fácil programação. Entretanto, devido ao pequeno número de sessões realizadas com o equipamento de baixo custo, sugere-se a replicação do Experimento 3 e a realização de novas sessões com maior número de participantes e envolvendo novos arranjos de estímulos. Acredita-se que se novos dados corroborarem os produzidos aqui, este procedimento e equipamento poderá ser utilizado para avaliação de outras espécies platirrinhas onde dados comportamentais são escassos.

Palavras-chave: visão de cores, *Cambridge Colour Test*, Platirrinhas, *Cebus sp.*

Makiama, S. T. (2009). Comparision of two computerized procedures for assessment of color discrimination in *Cebus sp.* Master Thesis. Belém, UFPa. 64 pp.

#### Abstract

Color vision consists in discrimination of objects based on their spectral composition, assisting in the organism-environment interaction. Among primates, it is estimated that the majority of the platyrrhines monkeys has a polymorphic and sex-linked dichromacy. The objective of this study was to compare the results produced by different equipments and softwares for assessment of tri/dichromatic conditions of two males and two females of the genus *Cebus sp.* Two computerized programs were used: one involving an adapted version of the *Cambridge Colour Test* and another one developed for a standard computational system. In Experiment 1 and 2 were possible to verify the trichromatic condition of one female subject and the dichromatic condition of the rest of the participants. In Experiment 3, a female and a male subject presented a dichromatic performance compatible to that one registered in previous experiments. In this Experiment, a female participant presented a trichromatic performance compatible to that one registered in previous experiments. It was concluded that favorable conditions for assessment of color vision in platyrrhines species can be built involving equipment and software with low financial cost and easy to program. However, due the few number of sessions with the low financial cost equipment, it is suggested the replication of the Experiment 3 and more sessions should be made with more subjects and involving new stimuli arrangement. It is believed that, if new data confirm the data produced here, this equipment and procedure can be used for evaluation of others platyrrhines species where behavioral data are scarce.

Key-words: color vision, *Cambridge Colour Test*, platyrrhines, *Cebus sp.*

É através de receptores sensoriais localizados tanto em regiões específicas quanto em grandes extensões do corpo que os seres vivos recebem estimulação do ambiente externo e interno. Através de um processo denominado transdução, os receptores convertem a energia dos estímulos que os sensibilizam em sinais elétricos passíveis de reconhecimento pelas estruturas biológicas do corpo. A transmissão de impulsos nervosos no sistema nervoso central permite que os seres vivos percebam e se comportem de acordo com as características do meio que os circunda, bem como de si próprios (Lent, 2004).

A percepção visual é capacidade de um organismo de responder diferencialmente à aspectos no ambiente relativos à cor, forma, textura e movimento dos objetos quando os mesmos refletem ou emitem luz. Depende, portanto, de três condições: a) de uma fonte de luz; b) de um evento ambiental e c) de um organismo com estruturas oculares sensíveis aos comprimentos de onda emitidos ou refletidos pelos itens acima citados. Esses raios luminosos são traduzidos em impulsos elétricos e enviados através dos nervos ópticos para o cérebro, a fim de serem processadas em estágios sucessivos no sistema neural visual (Lent, 2004).

A cor, além de ser uma propriedade que enriquece a experiência visual, é uma variável que auxilia na interação organismo-ambiente, permitindo que um objeto seja distinguido da paisagem que o envolve através da comparação entre os comprimentos de ondas refletidos ou emitidos tanto pelo objeto quanto pelos elementos que constituem a paisagem. A percepção de cores depende da sensibilidade diferencial do organismo a certas propriedades dos raios luminosos emitidos ou refletidos por uma determinada matéria. Tais propriedades são intensidade, comprimento de onda e pureza colorimétrica (dominância de um comprimento de onda dentre os demais) e correspondem, subjetivamente, ao brilho, matiz e saturação das cores. É através da sensibilidade a variações dessas três propriedades que

podemos distinguir milhares de cores e identificar, através do contraste da cor de objeto da paisagem, uma maçã entre as folhas, por exemplo (Gouras, 1991).

A retina é uma membrana ocular interna com espessura de aproximadamente meio milímetro que faz parte do sistema nervoso central (Tessier-Lavigne, 1991; Sousa, 2001; Kolb, 2003). Histologicamente, a retina é formada de 10 camadas, das quais três correspondem à células com seus corpos celulares (camadas nuclear externa e interna, e camada das células ganglionares) e duas camadas correspondem à fendas sinápticas (camadas plexiforme externa e interna) (Figura 1). A camada nuclear externa localiza-se na parte posterior da retina, logo após o epitélio pigmentado ao qual está intimamente ligado. Esta camada é formada pelas células nervosas denominadas fotorreceptores – formalmente conhecidas como cones e bastonetes – responsáveis pela tradução dos raios luminosos em sinais elétricos. Os bastonetes são células altamente sensíveis encontradas em grande quantidade na retina. Possuem pigmento sensível a comprimentos de onda de aproximadamente 500nm, sendo responsáveis pela visão noturna, acromática. Já os cones são células especializadas para a visão durante o dia (Sousa, 2001). Na camada seguinte, denominada camada nuclear interna, localizam-se de 1 a 4 tipos de células horizontais, 11 tipos de células bipolares e de 22 a 30 tipos de células amácrinas (Kolb, 2003). A terceira camada, localizada na superfície da retina, é formada pelas células ganglionares, que se constitui como única via de saída da retina para o nervo óptico. A região onde ocorre a comunicação sináptica entre as células das camadas nuclear externa e interna denomina-se camada plexiforme externa. Já a região onde ocorre a comunicação sináptica entre as células da camada nuclear interna e da camada das células ganglionares denomina-se camada plexiforme interna (Figura 1).

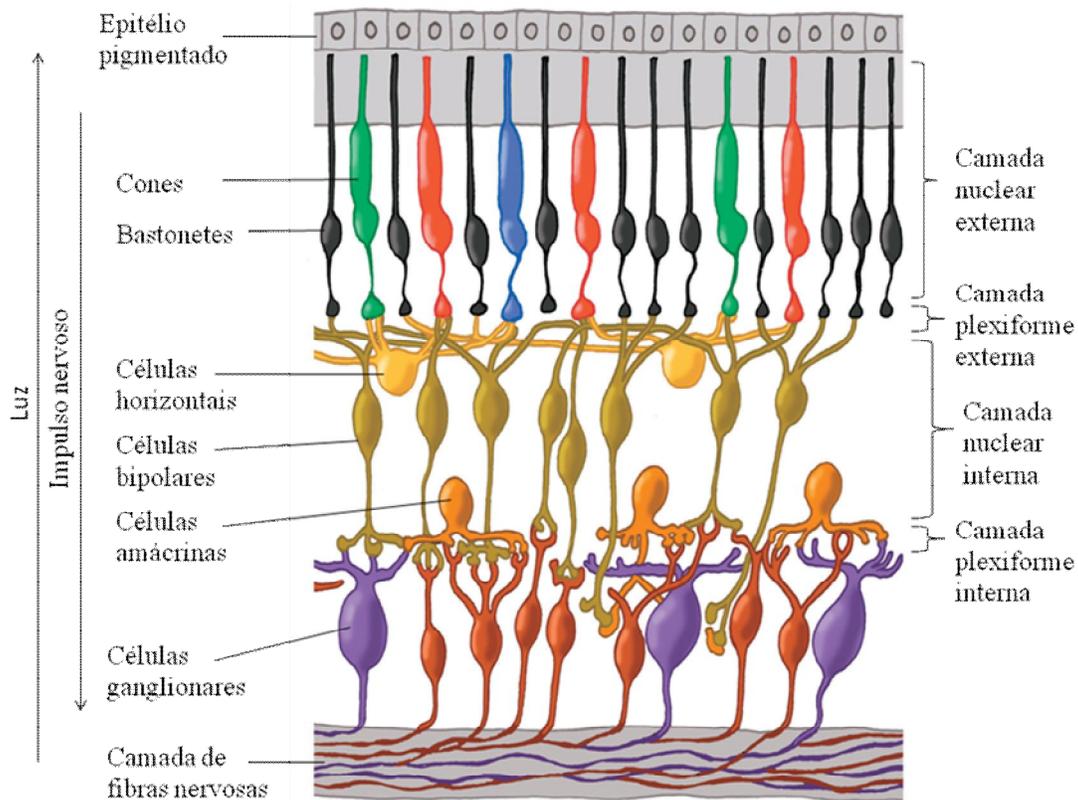


Figura 1. Células nervosas que compõem a retina humana. Pode-se observar na parte superior os fotorreceptores (cones e bastonetes). Na camada seguinte encontram-se as células horizontais, amácrinas e bipolares. Na terceira e última camada, localizam-se as células ganglionares. Os fótons precisam viajar por toda a retina até alcançar os fotorreceptores. A partir daí, os sinais elétricos percorrem várias células nervosas até alcançar as células ganglionares, única via de saída para o nervo óptico. Adaptado de Kolb (2003).

Cones possuem fotopigmentos (i.e. pigmentos que respondem a luz) diferenciados, presentes no segmento externo de cada fotorreceptor, conferindo para cada classe de células sensibilidade espectral distintos. A sensibilidade espectral corresponde à eficácia relativa de um fóton de um determinado comprimento de onda em produzir uma resposta neural ou comportamental (SurrIDGE, Osorio & Mundy, 2003). O fotopigmento presente em cada cone determina a qual comprimento de onda o fotorreceptor é mais sensível. Assim, a

sensibilidade espectral de cada classe de cones determina a *probabilidade* de um dado fóton ser absorvido por fotopigmentos dessa classe de células. Ou seja, comprimentos de onda diferentes têm probabilidades diferentes de serem absorvidos por classes de cones com sensibilidades espectrais distintos. Entretanto, apesar de um fóton possuir duas dimensões (comprimento de onda e energia), quando o mesmo é absorvido, a resposta fisiológica dos cones varia apenas em uma dimensão: o grau de hiperpolarização da célula (Mollon & Regan, 2000).

No escuro, os fotorreceptores estão constantemente despolarizados, i.e. por eles atravessa uma corrente elétrica positiva devido a abertura dos canais de sódio e o neurotransmissor glutamato é liberado (Sousa, 2001; Kolb, 2003). A estimulação luminosa provoca a hiperpolarização dessas células com a interrupção da corrente elétrica e a consequente interrupção dos potenciais de ação (Oyamada, 2002; Kolb, 2003). Isto é, em um ambiente iluminado natural ou artificialmente, ocorre a interrupção da liberação do neurotransmissor glutamato.

É necessário, no mínimo, duas classes de cones, cada uma com sensibilidade espectral distinto, para que a comparação de sinais provenientes dos fótons detectados possibilite a visão de cores (Tessier-Lavigne, 1991; Surrridge, Osorio & Mundy, 2003). A retina dos primatas do Velho Mundo, incluindo os humanos, pode apresentar até três classes de cones, que podem ser então estimulados por radiação eletromagnética com comprimentos de onda que variam de 300 a 700 nanômetros (Figura 2). Os fotorreceptores podem possuir: *a*) um pico de sensibilidade na porção curta do espectro visível de aproximadamente 440 nm (denominados cones S, do inglês *short*); *b*) um pico de sensibilidade na porção média do espectro visível de aproximadamente 531 nm (denominados cones M, do inglês *middle*); ou ainda *c*) um pico de sensibilidade na porção longa do espectro visível de aproximadamente 560 nm (denominados cones L, do inglês *long*) (Vorobyev, 2004). Então, por exemplo, se

objetos emitem ou refletem luz de comprimento de ondas curtos e longos, os cones sensíveis a esses comprimentos serão estimulados diferencialmente. Na figura 3, pode-se observar que, apesar de uma classe de cones possuir pico de sensibilidade espectral a fótons de um comprimento de onda, (e.g. 560nm ), essa mesma classe também apresenta sensibilidade a fótons de outros comprimentos de onda que, por sua vez, terão menor probabilidade de serem absorvidos. A comunicação neuronal pós-receptoral e cortical possibilita que a resposta subjetiva ao estímulo ocorra e que possamos denominar as cores de objetos e distingui-los entre a paisagem.

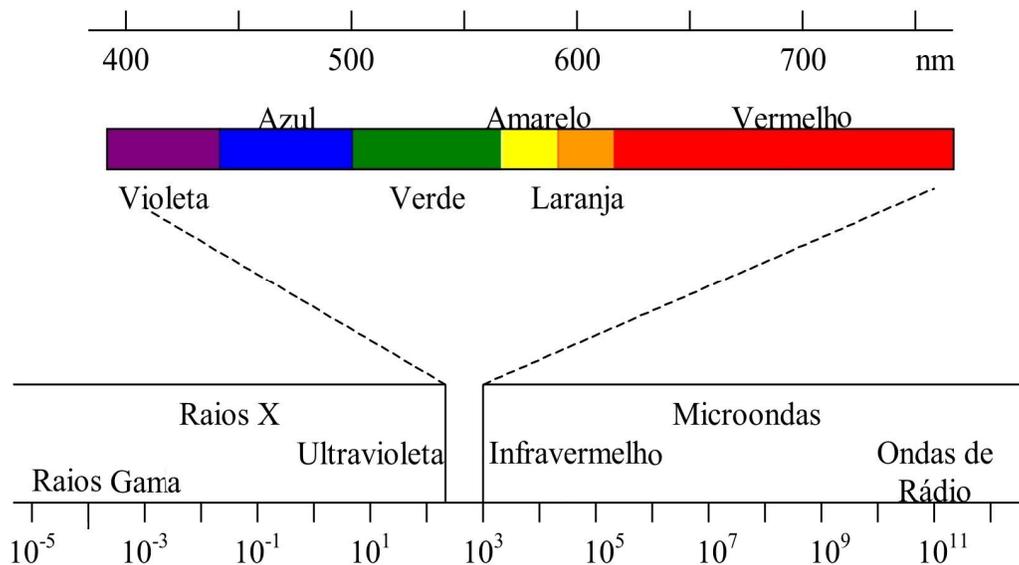


Figura 2. Representação da porção visível de radiações eletromagnéticas. A visão tricromática possibilita a percepção de comprimentos de onda que variam entre 400 e 700 nanômetros.

Retirado

de:

[http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5656/Curso\\_Illuminateo/07\\_cores/imagens/espectro\\_visivel.jpg](http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5656/Curso_Illuminateo/07_cores/imagens/espectro_visivel.jpg)

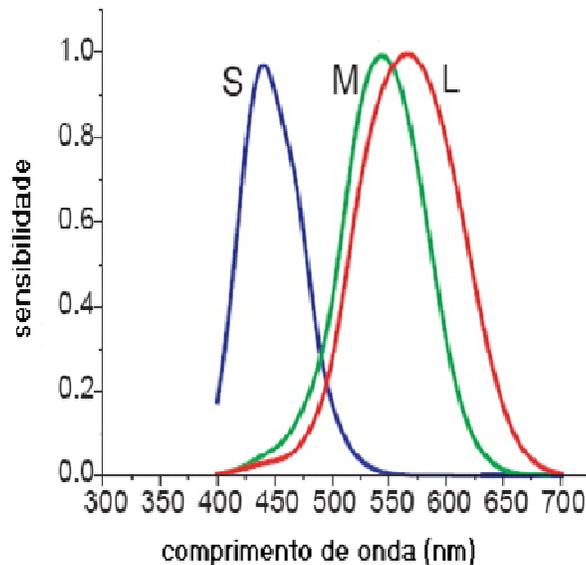


Figura 3. Curvas de sensibilidades espectrais de cones presentes na retina humana. Adaptado de Vorobyev (2004).

Quando a retina apresenta as três classes de fotorreceptores funcionando de forma eficiente, a visão tricromática torna-se possível. Quando há a variação de sensibilidade ou ausência de uma ou mais classes de fotorreceptores, os indivíduos nestas condições podem ser classificados em: a) monocromatas, ou seja, os indivíduos não percebem nenhuma cor, mas sim variações de brilho devido à presença de um único tipo de fotorreceptor; b) dicromatas, ou seja, um dos três fotopigmentos está ausente, podendo os indivíduos ser divididos em protânopes (quando não há cones tipo L), deuterânopes (quando não há cones tipo M) ou tritânopes (quando não há cones tipo S); e c) tricromatas anômalos, quando a sensibilidade espectral de um fotopigmento se aproxima muito da de outro, podendo ser divididos em protanômalos (quando os cones L têm sensibilidade próxima à dos cones M), deuteranômalos (quando os cones M têm sensibilidade próxima à dos cones L) ou tritanômalos (quando os cones S têm sensibilidade mais próxima à dos cones M).

## A VISÃO DE CORES E SUA FUNÇÃO EM PRIMATAS PLATIRRINOS

A habilidade de efetuar discriminações sutis no extremo médio-longo do espectro visível é uma característica singular de poucos mamíferos, dentre eles, algumas espécies de primatas. Apesar da visão tricromática não ser a mais complexa do reino animal, tendo em vista que outros animais vertebrados possuem visão tetracromática (i.e. conseguem detectar luz ultravioleta, por exemplo), ainda assim a tricromacia é incomum na classe *mammalia*.

Estudos comportamentais e genéticos confirmaram a existência de diferenças concernentes à visão de cores entre os primatas do Velho e Novo Mundo. Os primatas do Velho Mundo (catarrinos) apresentam na retina os três fotopigmentos diferencialmente sensíveis a comprimentos de onda curtos, médios e longos. Nesses primatas, os genes responsáveis pela produção dos pigmentos dos cones M e L localizam-se em *loci* diferentes no cromossomo X, tornando viável a visão tricromática em machos (Jacobs, 1996).

Já os primatas do Novo Mundo (platirrininos) apresentam sistema de visão dicromata, com exceção dos macacos da-noite (*Aotus sp.*) que possuem uma condição de monocromacia, devido à presença apenas de cones do tipo M (Jacobs et al., 1993), e do guariba ou bugio (*Alouatta sp.*), cujos exames eletrofisiológicos da retina constataram um sistema tricromático semelhante ao encontrado em primatas do Velho Mundo (Jacobs, et al., 1993; Jacobs, et al., 1996). A visão de cores dos platirrininos, além de variar entre as espécies, possui um polimorfismo ligado ao sexo, tendo em vista que a produção da fotopigmentação dos fotorreceptores M/L é determinada por versões alélicas de genes localizados em um único locus do cromossomo X sendo, portanto, uma condição ligada ao sexo. Já a fotopigmentação dos cones do tipo S seria determinada por um gene localizado no 7º cromossomo sendo, portanto, autossômico. Apesar de esses primatas platirrininos apresentarem dois tipos de classes de cones – um do tipo S e outro do tipo M/L – eles podem eventualmente distinguir

estímulos a partir da comparação de intensidade da luz emitida pelo objeto alvo e pela cena em que está inserido, ainda que sejam incapazes de diferenciá-los apenas com base em seus comprimentos de onda.

Estudos eletrofisiológicos encontraram três tipos diferentes de cones M/L – cada um com sensibilidades espectrais diferentes – na retina de macacos de cheiro (*Saimiri sciureus*), uma espécie platirrina (Jacobs, 1998). Por conta disso, estimou-se a possibilidade de seis formas possíveis de visão de cores nessas espécies: três formas de visão tricromática e três formas de visão dicromática (Figura 4). Para Jacobs (1998), este arranjo de combinações entre os genes para a opsina do tipo S com um dos três tipos M/L encontrados seria o arranjo também predominante entre os macacos platirrinos, salvo as exceções já citadas acima. Assim, os machos platirrinos podem possuir um dos três pigmentos possíveis que, combinados à pigmentação do tipo S, possibilitaria a produção de um de três tipos de dicromacia. As fêmeas heterozigotas, ou seja, as que possuem genes alelos diferentes seriam tricromatas, diferentemente das fêmeas homozigotas, que seriam dicromatas assim como os machos. (Jacobs, 1996).

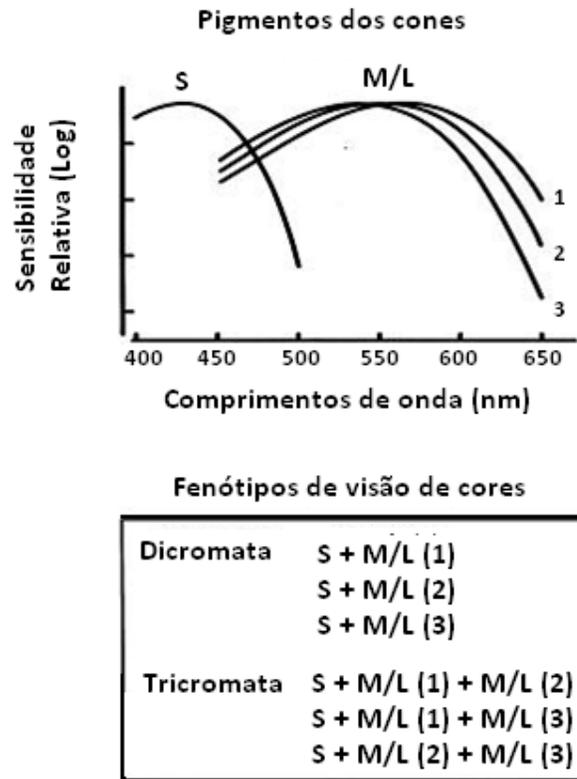


Figura 4. Curvas de sensibilidades espectrais do cone S e dos três tipos de cone M/L (acima). A combinação de genes pode gerar até três tipos de dicromacia e três tipos de tricromacia, pois cada um dos três tipos de cone M/L possui sensibilidades espectrais diferentes: um em aproximadamente 535nm, 550nm e 562nm (abaixo). Adaptado de Jacobs (1998).

Atualmente, um aspecto que vem orientando muitos estudos é a relevância ecológica – ou adaptabilidade – da visão de cores. Algumas hipóteses já foram formuladas acerca das vantagens da visão de cores e da evolução da visão tricromática entre os primatas do Velho Mundo e o guariba do Novo Mundo, ou seja, o porquê de ter sido naturalmente selecionada ao longo da filogênese dessas espécies. Uma das hipóteses mais aceitas atualmente é que a tricromacia confere vantagens para o forrageamento de frutas (vermelhas ou amarelas) entre

as folhagens esverdeadas, favorecendo a aquisição de frutos para a dieta alimentar dessas espécies. Entretanto, estas afirmações ainda são relativamente controversas quando avaliadas as vantagens energéticas obtidas por indivíduos da mesma espécie com visão di ou tricromata. Segundo estudo de Vogel, Neitz e Dominy (2006), através de observações de espécimes de *Cebus capucinus* em uma reserva na Costa Rica, as fêmeas tricromatas dessa espécie não mostraram vantagem energética comparadas com os demais indivíduos dicromatas pelo menos quando forrageavam por frutos em uma floresta tropical.

Outra suposição é que a habilidade de ver a cor vermelha viabiliza a identificação e consequente aquisição, não de frutas, mas de folhas que estudos observacionais identificaram como pertencentes à dieta não somente dos primatas catarrinos, mas também do platirrino guariba. Para alguns autores, a inserção de folhas jovens na alimentação desses seres pode ter sido uma estratégia alternativa e essencial adotada para explorar outros alimentos quando os frutos se tornaram escassos por volta do período Neoceno (Dominy & Lucas, 2001, 2004; Lucas et al. 2003). Segundo Dominy (1999), em algumas plantas tropicais as folhas jovens apresentam-se “avermelhadas” e apresentam algumas vantagens, pois são fáceis de mastigar, digerir e são ricas em proteínas. Outra hipótese igualmente interessante seria que a visão tricromática possibilitaria a identificação do período fértil de muitas fêmeas de primatas catarrinos, pois o mesmo período é freqüentemente marcado pelo enrubescimento das áreas genitais. Sendo assim, a seleção sexual pode ter sua centelha de influência para a seleção e manutenção da visão e discriminação da cor vermelha (Vorobyev, 2004).

#### *CAMBRIDGE COLOUR TEST*

O *Cambridge Colour Test* é um teste computadorizado que permite tanto uma avaliação rápida quanto um exame mais detalhado de variações, congênicas ou adquiridas, da discriminação de cores em sujeitos humanos (Mollon & Regan, 2000). Este teste exhibe um

arranjo de estímulos que varia tanto em tamanho (ruído espacial) quanto em luminância (ruído de luminância). O ruído espacial e de luminância permite uma avaliação fidedigna da discriminação de cores, pois evita que a discriminação do alvo contra o fundo ocorra devido ou a diferenças de luminância ou devido a artefatos de borda. Uma vantagem de aplicação desse teste é que ele, por ser computadorizado, permite a programação de variações na diferença cromática entre o alvo e o fundo de modo dinâmico e adaptativo ao desempenho do participante (Mollon & Reffin, 1989; Regan, Reffin & Mollon, 1994; Mollon & Regan, 2000). Outra vantagem seria que este teste permite uma administração rápida e não exige um ajuste de luminância de todos os componentes do arranjo, além de atingir “uma boa comparação entre sujeitos protan e deutan” e fornecer “uma medida quantitativa da discriminação de cores” (Mollon & Regan, 2000). O *Cambridge Colour Test* foi idealizado a partir da necessidade de um instrumento computadorizado cuja aplicação superasse as dificuldades inerentes aos testes de visão de cores, como por exemplo: a revelação dos limites cromáticos do arranjo alvo-fundo por artefatos de borda; e a necessidade de pareamento da luminância do arranjo dos estímulos de acordo com o fenótipo de visão de cores de cada participante (Mollon & Reffin, 1989; Regan, Reffin & Mollon, 1994). Para isso, princípios elaborados por Stilling e Chibret, dois oftalmologistas reconhecidos no século 19, foram combinados para a criação do teste em questão. Stilling (1877, apud Regan, Reffin & Mollon, 1994) propôs a segmentação do alvo e do fundo em pequenos fragmentos e a variação de luminância de cada fragmento, impossibilitando que artifícios de borda ou diferenças de luminância servissem de dicas para a discriminação do alvo. Já com o cromatofotômetro de Chibret foi possível variar a diferença cromática entre alvo e fundo ao longo de diferentes porções no espaço de cor (Chibret, 1887, apud Regan, Reffin & Mollon, 1994).

No teste original, o alvo é formado por um subconjunto de estímulos na forma de “C” (Figura 5) e os sujeitos humanos são instruídos a indicar, através de um controle com quatro

botões, a orientação de sua abertura (esquerda, direita, abaixo, acima) em cada tentativa. O teste inicia-se com o alvo apresentando contraste máximo em relação ao fundo. No decorrer do teste, a luminância média do alvo e do fundo mantém-se a mesma, enquanto que a diferença cromática (contraste) entre o alvo e o fundo aumenta ou diminui de acordo com o desempenho do sujeito. Essa excursão da cromaticidade do alvo em direção ao fundo segue o curso de uma linha reta que liga os dois pontos correspondentes ao alvo e ao fundo no Diagrama de Cromaticidade CIE 1976 (ver Anexo 1).

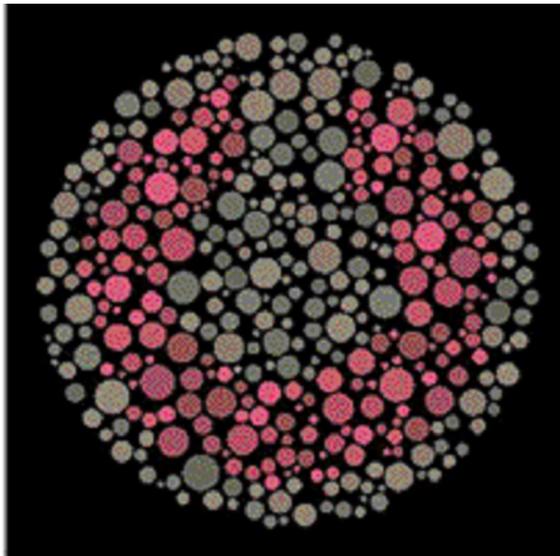


Figura 5. Arranjo de estímulos do *Cambridge Colour Test*. Retirado do *Cambridge Colour Test Handbook*.

Na versão básica do teste, denominada *Trivector*, os alvos podem consistir em até três eixos, ou seja, até três pontos no referido Diagrama podem ser escolhidos como alvo. Já no teste mais longo, os limiares de discriminação são estabelecidos para até 20 eixos de teste tornando possível a representação gráfica de elipses ou círculos a partir dos limiares obtidos (Figuras 6 e 7).

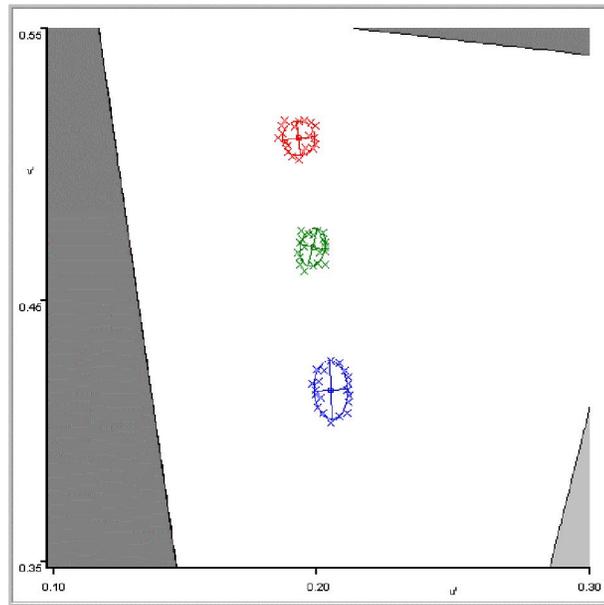


Figura 6. Resultado da aplicação do teste de Mollon-Reffin em um indivíduo com visão tricromática normal. Os círculos indicam baixos limiares discriminativos em torno do ponto correspondente ao fundo, característicos da tricromacia. Retirado de Cambridge Colour Test Handbook (2000).

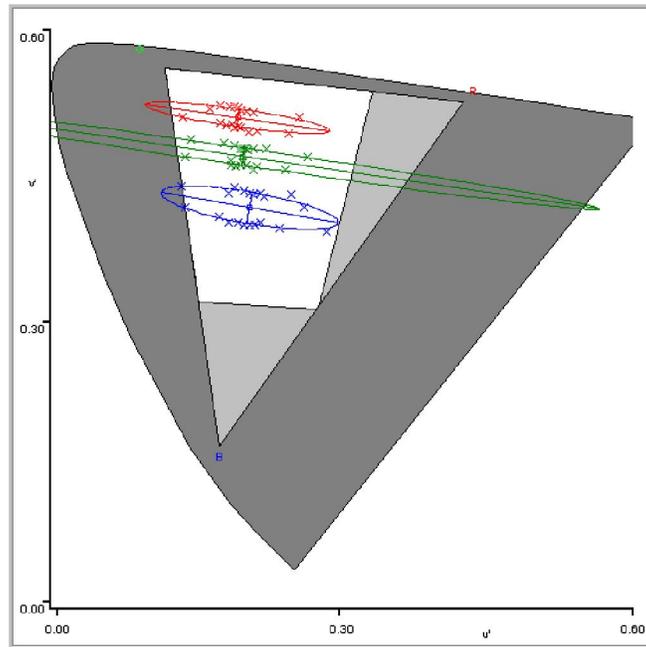


Figura 7. Resultado da aplicação do teste em um sujeito deuterânopo. A elipse indica altos limiares discriminativos, característicos da deutanopia. Retirado de Cambridge Colour Test Handbook (2000).

Quando dois pontos ligados por uma linha reta mostram-se perceptualmente indistinguíveis para o indivíduo, uma reta que os contenha é considerada uma linha de confusão (Figura 8). Segundo Maxwell (1855, apud Judd 1966), se forem descobertas duas cores que são indistinguíveis para um dicromata e for traçada uma linha ligando esses dois pontos, essa linha passará por todos os pontos – que correspondem a outros matizes – que também seriam indistinguíveis entre si (Judd, p. 1318). Portanto, as linhas de confusão consistiriam em linhas traçadas no espaço de cor do Diagrama de Cromaticidade que indicariam os matizes que são indistinguíveis para cada fenótipo quando a discriminação por brilho e borda não é possível.

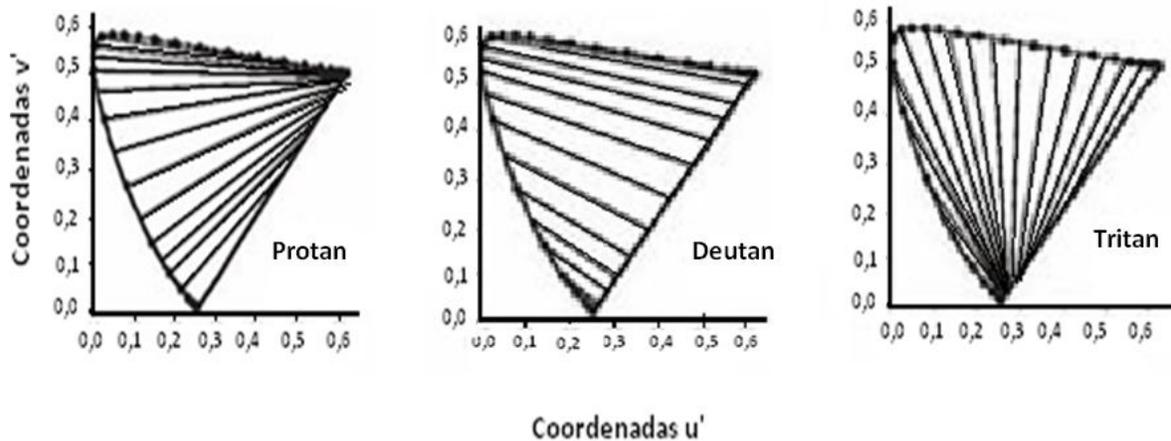


Figura 8. Linhas de confusão de cada fenótipo dicromata. Da esquerda para a direita, as figuras correspondem às linhas para as condições protan, deután e tritan. Adaptado de Dain (2004).

A versão original do *Cambridge Colour Test* tem sua aplicação restrita ao diagnóstico de deficiências de visão de cores em seres humanos. Para ser utilizado com indivíduos de outras espécies da ordem primata, por exemplo, o teste original deveria passar por adaptações, pois além de exigir um processo de condicionamento para a emissão de respostas – tendo em vista que as contingências do teste não poderiam ser especificadas à base de instruções verbais fornecidas pelo experimentador – o teste requer também do participante a emissão de respostas ausentes em seu repertório comportamental natural que poderiam ser de difícil aquisição (e.g. indicar através de botões a orientação da abertura do C).

Uma recente adaptação do CCT produziu resultados que ratificaram a condição protanópica de dois macacos-de-cheiro (*Saimiri sp.*), condição esta confirmada em análises de ADN e exames eletrorretinográficos (Mancuso, Neitz e Neitz, 2006). Esta espécie é considerada um bom modelo para a protanopia humana devido a semelhanças entre sensibilidades espectrais dos cones destes sujeitos com os de humanos protânopes. Dentre as

modificações realizadas, está a mudança da disposição do estímulo alvo para a forma de um quadrado variando em quatro posições em uma tela sensível ao toque. Segundo os resultados deste estudo, os limiares discriminativos de ambos os sujeitos assemelharam-se aos adquiridos por humanos protânope, ratificando os dados fisiológicos e conferindo ao teste adaptado validade para o seu uso em indivíduos não-humanos.

Exames eletroretinográficos realizados em dois espécimes *Cebus apella* evidenciaram uma dicromacia do tipo protânope entre os machos (Figura 9), dado este que não foi confirmado em um estudo comportamental envolvendo fichas do teste de Munsell aplicado por Pessoa, Tavares, Aguiar, Gomes e Tomaz (1997). Neste estudo, os pesquisadores obtiveram em seus resultados evidências de tricromacia entre os sujeitos machos, dado este que divergia da literatura científica. Admitindo que os machos tivessem produzido esse desempenho através de dicas de diferenças de brilho – aspecto que permite a discriminação entre estímulos, mesmo localizando-se na linha de confusão do fenótipo protânope – foi realizada uma replicação do procedimento de Pessoa et al. (1997) por Gomes, Pessoa, Tomaz e Pessoa (2002). Nesse estudo, ficou demonstrado que os sujeitos no experimento anterior realmente haviam respondido corretamente aos estímulos baseados em diferenças em brilho, desempenho este plausível, demonstrado por Jacobs (1999), quando expôs sujeitos humanos ao mesmo procedimento de Pessoa et al., sem a correção do brilho dos estímulos envolvidos.

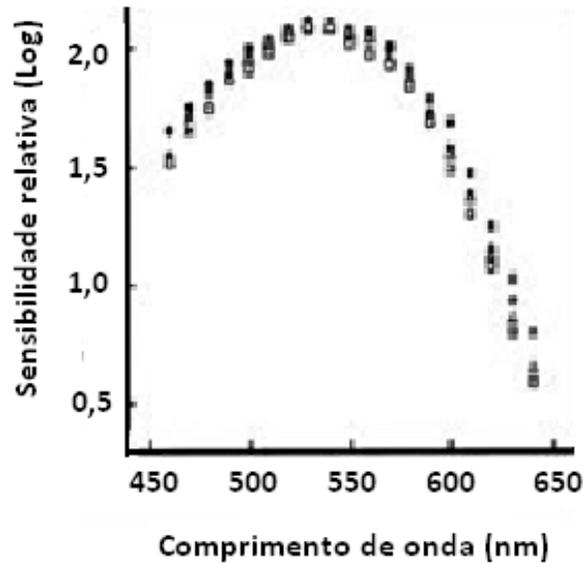


Figura 9. Curvas de sensibilidade espectral de 2 macacos-prego (símbolos preenchidos) e de 2 protânicos humanos (símbolos abertos) medidos através de Eletrorretinografia fotométrica Flicker. As curvas são semelhantes, indicando que esta espécie apresenta condição protanópica similar à condição humana. Retirado de Jacobs (1999).

Em outro estudo, Goulart, Makiana, Fonseca, Sarges e Galvão (2008) buscaram avaliar a discriminação de cores de um macho e uma fêmea da espécie *Cebus apella* através de sessões sucessivas de discriminações simples. Em cada sessão, um par de matizes era apresentado. As tentativas consistiram na apresentação de 16 quadrados na tela do computador, sendo um deles (S+) de cor diferente dos demais (S-). Inicialmente, as discriminações podiam ser realizadas com base em dicas de intensidade. Nas sessões subsequentes, os 16 estímulos apresentaram diferentes valores de luminância e saturação. Nessa condição, os sujeitos falharam em discriminar entre os pares “amarelo”-“vermelho”, “amarelo”-“verde” e “verde”-“vermelho”. Apesar deste estudo ter sido executado com

equipamento de baixa precisão, os resultados mostraram consistência com um desempenho dicromata característico da espécie. Não obstante, estudos adicionais com equipamento de alta precisão permitirão a verificação desses dados e confirmar a viabilidade desse procedimento para estudar discriminação de cores.

Tendo em vista o exposto, considera-se que a determinação comportamental dos limiares de cor de *Cebus sp.* seria relevante para diferentes áreas de pesquisa, contribuindo para a análise evolutiva da visão de cores e para a análise comportamental da discriminação visual de estímulos coloridos. Por isso, o objetivo desta pesquisa foi comparar os resultados de dois procedimentos para avaliação de discriminação de cores em machos e fêmeas da espécie *Cebus sp.* Esta espécie foi utilizada a partir da premissa de que pode servir como modelo para a dicromacia humana, tendo em vista que estudos fisiológicos evidenciaram que alguns indivíduos apresentaram cone M/L com pico de sensibilidade próximo do cone M ou do L humanos (Tabela 1) (SurrIDGE, Osorio & Mundy, 2003), condição semelhante ao do *Saimiri*, já citado anteriormente.

Tabela 1

Picos de sensibilidade espectral, em nanômetros, de ftopigmentos nos gêneros *Cebus* e *Homo*. Adaptado de SurrIDGE et al (2003)

Gênero	Fotopigmentos sensíveis a comprimento de ondas curto	Fotopigmentos sensíveis a comprimento de ondas médio e longo
<i>Cebus</i>	433	535, 550, 562
<i>Homo</i>	420	535, 562

Foram programados três procedimentos. O primeiro envolveu uma versão adaptada do *Cambridge Colour Test*, baseada em uma adaptação do mesmo teste inicialmente planejada para a aplicação em macacos-prego e utilizada por Goulart (2008), e Goulart,

Bandeira, Tsubota, Oiwa, Costa e Ventura (2008) para avaliar a discriminação de cores em crianças pequenas. Neste estudo, algumas modificações foram feitas para possibilitar que o teste se tornasse de fácil aplicação para crianças pequenas entre 2 e 7 anos de idade. Dentre as principais mudanças está a alteração do alvo em C para a forma aproximada de um quadrado, que podia ser apresentado em até quatro posições distintas do monitor. A tarefa requiritava que o participante tocasse no alvo no monitor. A partir do toque do participante, o experimentador pressionava, no controle, o botão correspondente à posição tocada, levando ao registro da mesma. Outra importante inclusão no protocolo do treino desse experimento foi o uso de técnicas de condicionamento operante, para garantir a aquisição e manutenção do desempenho do participante, tendo em vista que as instruções verbais poderiam ser de difícil compreensão para indivíduos nessa faixa etária. A versão do software utilizada atualmente, para a aplicação em macacos-prego, possibilita que o alvo seja apresentado em até nove posições e conta com o registro de respostas por meio de uma interface sensível ao toque. O segundo procedimento teve como objetivo confirmar as condições di/tricromatas encontradas no primeiro procedimento através do uso de coordenadas u'v' semelhantes às utilizadas no estudo de Mancuso et al (2006) com equipamento, software e ambiente experimental semelhantes aos do primeiro procedimento. Finalmente, o terceiro e último procedimento foi criado através de sistema computacional padrão. Todos os experimentos obedeceram à reprodução de cores proposta pela CIE contidas no Diagrama de Cromaticidade CIE 1976.

Os objetivos específicos foram: com a execução do Experimento 1, avaliar a condição tri/dicromata de sujeitos da espécie *Cebus sp*; com a realização do Experimento 2, buscar arranjos de estímulos envolvendo matizes indistinguíveis ou de difícil discriminação para os fenótipos dicromatas encontrados e, no Experimento 3, através dos resultados produzidos no Experimento 2, construir programa e procedimento eficazes e mais acessíveis para a avaliação de discriminação de cores em *Cebus sp*.

Este estudo justifica-se ainda pela inexistência de dados conclusivos em estudos comportamentais com essa espécie de primata, além de ser uma tentativa de desenvolver testes de visão de cores simplificados, com equipamentos de fácil manipulação que possam ser utilizados para a detecção de condições de sensibilidade de discriminação de cores em primatas do Novo Mundo. Uma vez que um desses procedimentos comportamentais se mostre válido, poderá ser utilizado para avaliação preliminar da visão de cores de sujeitos de outras espécies de platirrinos onde dados comportamentais sejam escassos.

## EXPERIMENTO 1

### MÉTODO

#### PARTICIPANTES

Participaram deste estudo 4 (quatro) exemplares, dois machos e duas fêmeas, da espécie *Cebus sp* (ver Anexo 2). Todos possuíam em seu repertório comportamental a resposta de toque em tela sensível e eram experientes em tarefas de discriminação simples. Os participantes estavam alojados com outros indivíduos da mesma espécie em gaiolas-viveiro (2,5 x 2,5 x 2,5 m) cobertas parcialmente por um telhado de telha de barro de 2,0 x 2,5 m. As gaiolas-viveiro estavam situadas no Biotério de Primatas, distando 6 m ao sul do Laboratório de Psicologia Experimental, na Universidade Federal do Pará. Este biotério teve seu funcionamento autorizado pelo IBAMA para fins científicos e as pesquisas com estes animais foram aprovadas pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Animais. Os participantes eram assistidos por uma médica veterinária quando necessário e eram alimentados uma vez por dia, por volta das 15 h. Sua dieta consistia em ração especial para primatas, frutas, legumes e complementos vitamínicos. A água era disponibilizada *ad libitum*.

#### EQUIPAMENTO

Para o Experimento 1 foi utilizada uma câmara experimental medindo 60 cm x 60 cm x 60 cm com uma das paredes de alumínio, o piso em aço gradeado e as paredes restantes em acrílico transparente (ver anexo 2). A porta, por onde entravam e saíam os participantes da câmara, tinha uma abertura de 46 cm x 30 cm. A parede de alumínio continha uma abertura de 40 cm x 30 cm, emoldurada por uma estrutura de madeira usada para ajustar a distância (até no máximo 26 cm de comprimento) entre a câmara e um monitor CRT de 22 polegadas Mitsubishi Diamond Pro 2070SB. Na parte superior interna desta estrutura, logo acima da abertura na câmara, estava posicionada uma minicâmera direcionada para a tela do monitor.

Na extremidade que fazia contato com o monitor estava posicionada uma interface de toque *CarrolTouch Infrared* composta por um grid de LEDs infra-vermelhos, que tinha como finalidade a identificação da posição do toque na tela do monitor. Na parte superior externa à câmara estava posicionado um dispensador de pelotas (MED Associates, Inc.) por onde eram despejadas, por gravidade através de uma mangueira, as pelotas de alimento (ver Anexo 2) que caíam em um comedouro localizado na parte superior da parede de alumínio.

Para a execução do Experimento 1 foi utilizado um microprocessador Dell Precision 670 executando uma versão do *Cambridge Color Test* adaptada por Marcio L. Bandeira, Paulo R. K. Goulart, Nestor N. Oiwa, Marcelo Costa e Dora F. Ventura, em linguagem Object Pascal (Borland's Delphi 7.0). Os estímulos foram apresentados na tela do Monitor CRT. Alvo e fundo eram compostos por um mosaico de pequenos círculos que variavam em luminância e tamanho. O estímulo-alvo apresentava uma forma aproximada de um retângulo com 4 cm x 5 cm. A geração e controle dos estímulos foram feitos pelo Sistema ViSaGe (*Cambridge Research Systems*). Uma das vantagens de um controle computacional neste teste é que a diferença de cromaticidade entre alvo e fundo podia ser variada dinâmica e adaptativamente de acordo com o desempenho do participante. O Monitor CRT foi calibrado por um fotômetro ColorCAL através do programa LightScan (*Cambridge Research Systems*).

## ESTÍMULOS

Os estímulos foram gerados pelo sistema ViSaGe e apresentados no arranjo alvo-fundo característico do *Cambridge Colour Test*. Para as sessões de Treino e de Simulação de Teste, os matizes dos estímulos utilizados foram definidos com base no Diagrama de Cromaticidade CIE 1976. As coordenadas  $u'v'$  de cada estímulo utilizado estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2

Coordenadas  $u'$   $v'$  de cada estímulo utilizado na Fase de Treino e de Simulação de Teste do Experimento 1

	$u'$	$v'$
CZ	0,167	0,444
AM	0,184	0,556
AZ	0,171	0,228

Para a execução da sessão de Teste, foram utilizadas as coordenadas  $u'$   $v'$  correspondentes para o eixo “protan” ( $u'=0,678$ ;  $v'=0,501$ ), “deutan” ( $u'=-1,271$ ;  $v'=0,782$ ) e “tritan” ( $u'=0,2573$ ;  $v'=0,0$ ) (Tabela 3).

Tabela 3

Coordenadas  $u'$   $v'$  de cada estímulo utilizado na sessão de Teste do Experimento 1

	$u'$	$v'$
Ponto Cinza	0,1888	0,4607
Protan	0,678	0,501
Deutan	-1,271	0,782
Tritan	0,2573	0,0

## AMBIENTE EXPERIMENTAL

O ambiente consistiu em uma sala localizada no Laboratório de Psicologia Experimental, na Universidade Federal do Pará. O ambiente era refrigerado e, durante as sessões, as luzes eram apagadas, conferindo à sala fraca luminosidade.

## PROCEDIMENTO

### Procedimento Geral

Todas as sessões foram realizadas entre 8 e 15 horas. Para o Experimento 1, foram programadas três fases: Fase de Treino da Resposta ao Alvo, dividida em duas ou três etapas; Fase da Simulação dos Testes e Fase de Teste. Antes de cada sessão, foram verificadas as condições da câmara experimental e do equipamento. O participante era deslocado de sua gaiola-viveiro para a câmara através de uma pequena gaiola. Primeiramente, as luzes eram desligadas e a tela do computador permanecia ligada por 5 minutos, a fim de que ocorresse o ajustamento da visão dos participantes ao ambiente onde a única fonte de luz era a tela do monitor. Imediatamente após o término da sessão, o participante retornava à sua gaiola-viveiro e era feita a assepsia da câmara e da tela do monitor.

Foi utilizada uma versão adaptada do *Cambridge Colour Test* para a coleta de dados com sujeitos não verbais. Era apresentado no monitor um mosaico de pequenos círculos com ruído espacial e de luminância, para evitar que o participante identificasse o alvo através de artefatos de borda ou de diferenças de luminância entre alvo e fundo. O alvo consistia em uma área do mosaico definida com matiz diferente daquele do fundo, com a forma aproximada de um quadrado de cerca de 4 x 5 cm (Figura 10).

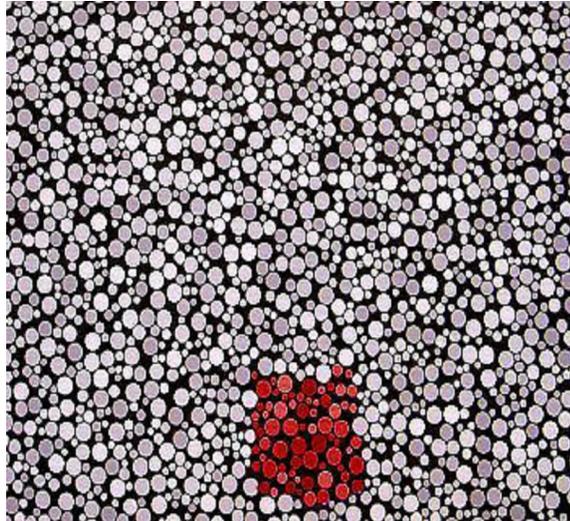


Figura 10. Arranjo de estímulos da versão adaptada do *Cambridge Colour Test*.

Retirado de Goulart (2008).

A quantidade de sessões e de tentativas dentro de uma sessão em todas as fases dependiam do desempenho de cada participante. A duração de cada tentativa em cada sessão de todas as fases era de 10 segundos e o IET era de 6 segundos. Um toque no estímulo alvo era conseqüenciado com a liberação de uma pelota sabor banana de 190mg. Toques em outra posição eram computados como erros, produziam o encerramento da tentativa e o início do IET. O critério para a interrupção das sessões em todas as fases, pela experimentadora, foi a duração máxima de 10 minutos.

#### Procedimento Específico da Fase de Treino da Resposta de Toque ao Alvo

Esta fase precedeu as demais no Experimento 1. Estas sessões foram realizadas para registro de estabilização do desempenho com baixo índice de erros de cada participante antes de serem expostos às sessões de simulação de teste e de testes. Como os participantes deste estudo eram indivíduos não verbais, foi necessária a aplicação de técnicas de Controle de Estímulos da Análise Experimental do Comportamento. Esta área do conhecimento tem como

uma de suas premissas que a probabilidade de ocorrência de um comportamento depende das consequências que ele produz no ambiente. (Skinner, 1994, Catania, 1999). Se um estímulo reforçador é produzido contingentemente a emissão de um determinado comportamento, essa resposta possui maior probabilidade de ocorrer no futuro diante de situações semelhantes. Se nenhuma consequência foi produzida, a resposta passa a ter menor probabilidade de ocorrências futuras em contextos semelhantes. Os estímulos que compuseram o contexto no qual uma resposta foi reforçada, nas situações seguintes, passam a sinalizar a probabilidade de reforçamento, exercendo também controle sobre o comportamento do organismo. Apoiado nessas premissas, o treino da resposta de toque ao alvo consistiu no reforçamento diferencial da resposta de toque ao alvo diante de alvo e fundo constituídos de matizes que não participavam de qualquer linha de confusão para a condição dicromata. Um toque no estímulo alvo era conseqüenciado com a liberação de uma pelota sabor banana 190mg. Toques em outra posição eram computados como erros, produziam o encerramento da tentativa e o início do intervalo entre tentativas (IET).

Nesta fase, as etapas podiam possuir fundo “cinza”<sup>1</sup>, com pontos no Digrama  $u'=0, 167$  e  $v'=0, 444$ ; e alvo constituído ou pelos pontos  $u'=0, 171$  e  $v'=0, 228$  (azul) ou  $u'=0, 184$  e  $v'=0, 556$  (amarelo) em sessões distintas, ou podia possuir fundo “azul” e alvo “amarelo”. Estes pontos não faziam parte de nenhuma linha de confusão para nenhum fenótipo dicromata (Figura 11). A distância máxima entre o alvo e fundo foi determinada a partir da distância dos pontos no Diagrama CIE 1976 (Tabela 4) e foi calculada a partir da fórmula  $x^2=y^2+z^2$ , onde:

$$x = \text{distância};$$

$$y = u'a - u'b;$$

$$z = v'a - v'b$$

---

<sup>1</sup> Os matizes utilizados foram nomeados para um indivíduo tricromata normal.

A distância mínima era de 0,05 ( $500 \times 10^{-4}$ ) pontos. Quando os participantes alcançavam um índice de acertos menor ou igual a três em uma sessão, a distância mínima diminuía para 0,02 ( $200 \times 10^{-4}$ ) pontos. A distância mínima entre alvo e fundo foi planejada para garantir que a discriminação fosse difícil, porém possível, de modo que os sujeitos experimentassem a variação dinâmica da diferença cromática com uma história mínima de fracasso. Nas sessões de treino, os três eixos possuíam as mesmas coordenadas. Portanto, cada sessão de cada Etapa possuía um mesmo matiz como alvo. O critério para encerramento das sessões foi três acertos consecutivos na distância mínima para cada eixo da sessão. O critério de encerramento de cada etapa foi a estabilização, com baixo índice de erros, do desempenho de cada participante. O critério de encerramento desta fase foi a conclusão de todas as etapas programadas para cada sujeito.

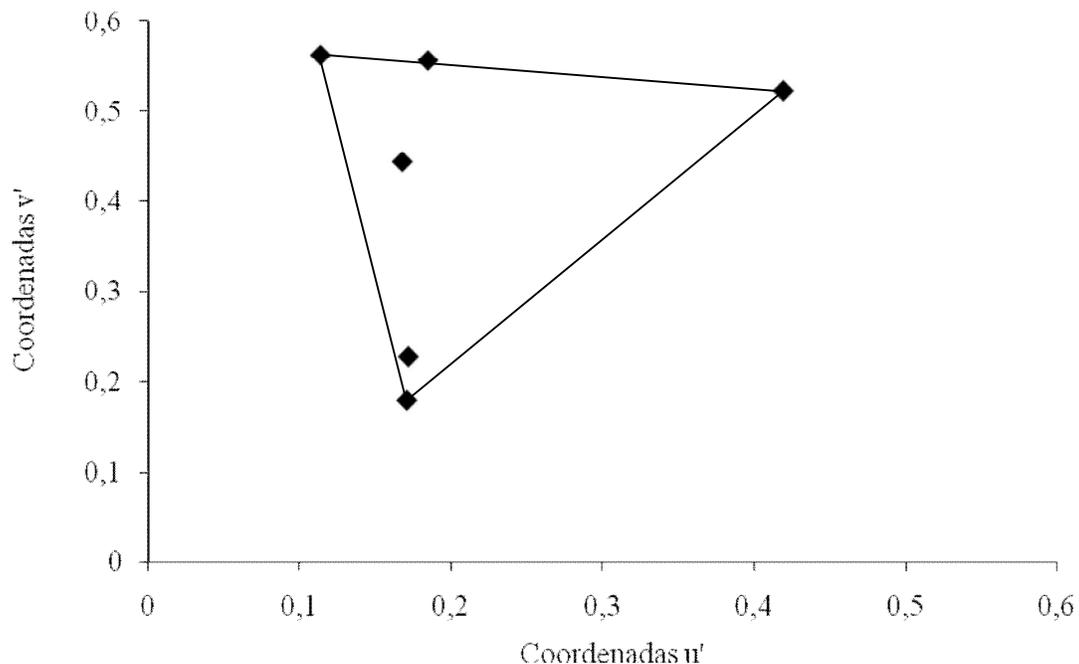


Figura 11. Posições das coordenadas  $u'v'$  utilizadas nas sessões de Treino no Diagrama de Cromaticidade CIE 1976. Estes pontos também foram utilizados nas sessões de Simulação de Teste.

Tabela 4

Distância máxima entre alvo e fundo utilizada nas sessões de Treino e de Simulação de Teste do Experimento 1

DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS	
CZ-AM	0,113
CZ-AZ	0,216
AM-AZ	0,328

Procedimento Específico da Fase de Simulação de Testes

Esta fase precedeu as sessões de teste. Consistiu na apresentação de alvo e fundo constituídos dos mesmos matizes utilizados nas sessões de treino em condições semelhantes à que viriam a ser utilizadas das sessões de Teste. As diferenças entre as sessões de Treino e as de Simulação de Teste foram: a distância mínima programada, que caiu de 0,02 ( $200 \times 10^{-4}$ ) nas sessões de treino para 0,002 ( $20 \times 10^{-4}$ ) nas sessões de simulação; e o critério de encerramento das sessões, que passou de três erros consecutivos na distância mínima nas sessões de treino para 11 reversões (acertos seguidos de erro ou erros seguidos de acertos) nas sessões de simulação de teste, nas quais a diferença cromática alvo-fundo era reduzida até um ponto em que a discriminação se tornava impossível e, portanto, haveria erros. Após as 11 reversões, o software automaticamente calculava os limiares de discriminação de cores, a partir da média das distâncias alvo-fundo das sete últimas reversões. Os limiares eram apresentados como [distância média]  $\times 10^{-4}$  unidades u'v'. O critério de encerramento desta fase foi a conclusão de todas as sessões programadas com um baixo índice de erros para cada sujeito.

Procedimento Específico de Teste do Experimento 1 – *Cambridge Colour Test* adaptado para o uso em sujeitos não-humanos.

O protocolo de sessões desta fase foi semelhante ao da fase de Simulação de Teste, com a diferença de que, nessas sessões, eram testados três novos eixos, formados por matizes de alvo passíveis de serem confundidos com o fundo. Foi programada uma sessão de teste (denominado aqui de Teste P) envolvendo os eixos “protan”, “deutan” e “tritan” citados anteriormente na seção Estímulos. A distância mínima exigida para todos os participantes foi 0,002 ( $20 \times 10^{-4}$ ) pontos no Diagrama. A distância máxima entre alvo e fundo foi definida em 0,11 ( $1100 \times 10^{-4}$ ) pontos. Os pontos “protan” e “deutan” foram utilizadas por Mancuso et al (2006) em sua adaptação do *Cambridge Colour Test* para o uso em sujeitos não-humanos. Como neste artigo não foi citado o ponto “tritan”, este foi retirado de Goulart et al (2008), utilizado em sua adaptação do *Cambridge Colour Test* para o uso em participantes humanos infantes.

O critério para encerramento da sessão de teste foi 11 reversões (erro seguido de acerto e acerto seguido de erro) em cada eixo. Após as 11 reversões, o software automaticamente calculava os limiares de discriminação de cores, a partir da média das distâncias alvo-fundo das sete últimas reversões. Os limiares eram apresentados como [distância média]  $\times 10^{-4}$  unidades  $u'v'$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO 1

Abaixo, estão representadas as médias dos limiares dos participantes F1, F2 e M1, e os limiares discriminativos do participante M2 (Figura 12).

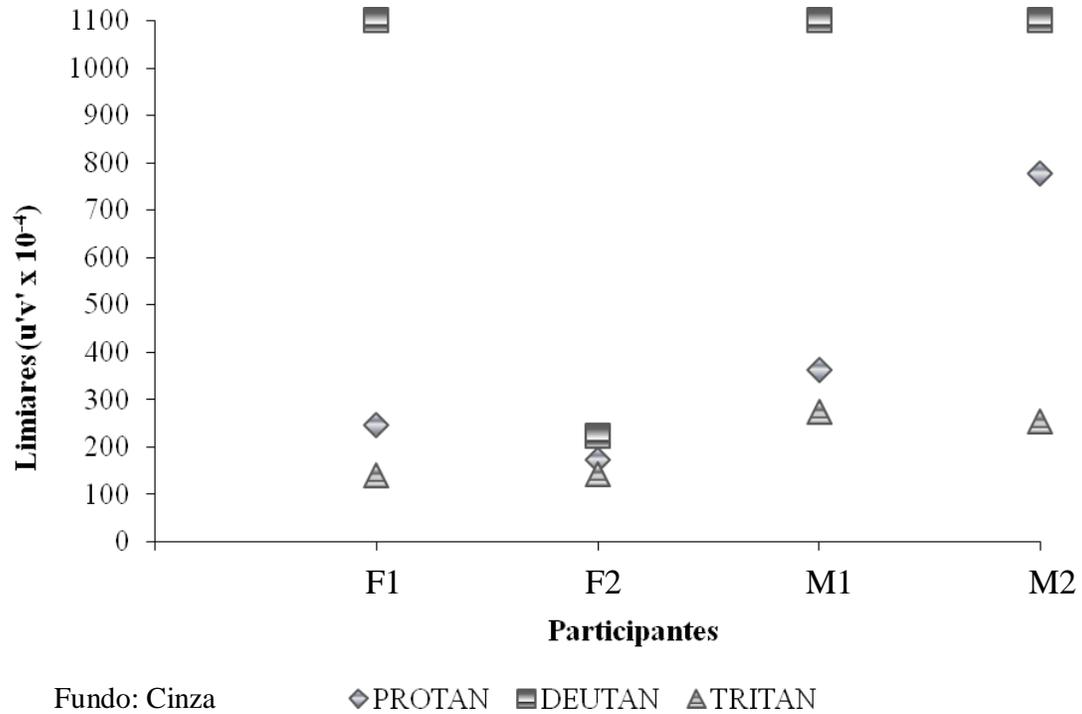


Figura 12: Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiares discriminativos obtidos pelo participante M2 no Teste P.

Pode-se observar que todos os participantes, com exceção da participante F2, apresentaram no eixo “deutan” limiares 1100, distância esta a máxima estipulada entre o fundo e o alvo neste teste. Nos demais eixos, todos os participantes, com exceção do sujeito M2, obtiveram baixos limiares discriminativos. Com este teste foi confirmada a condição tricromata da participante F2 e a condição dicromata dos demais sujeitos.

## EXPERIMENTO 2

### MÉTODO

### PARTICIPANTES

Participaram os mesmos sujeitos do Experimento 1.

### EQUIPAMENTO

O software e o equipamento utilizados no Experimento 2 foram os mesmos descritos para o Experimento 1.

### ESTÍMULOS

O matiz dos estímulos utilizados foi definido com base no Diagrama de Cromaticidade CIE 1976. No experimento 2, os estímulos foram gerados pelo sistema ViSaGe e apresentados no arranjo alvo-fundo característico do *Cambridge Colour Test*. As coordenadas  $u'v'$  de cada estímulo utilizado estão apresentadas na Tabela 5 e suas posições no Diagrama estão representados na Figura 13.

Tabela 5

Coordenadas  $u'v'$  de cada estímulo utilizado no Experimento 2

	$u'$	$v'$
VD1	0,135	0,545
VD2	0,136	0,504
VM1	0,377	0,517
VM2	0,362	0,482
VM3	0,281	0,526
VM4	0,311	0,486
AZ	0,171	0,228
AM	0,184	0,556

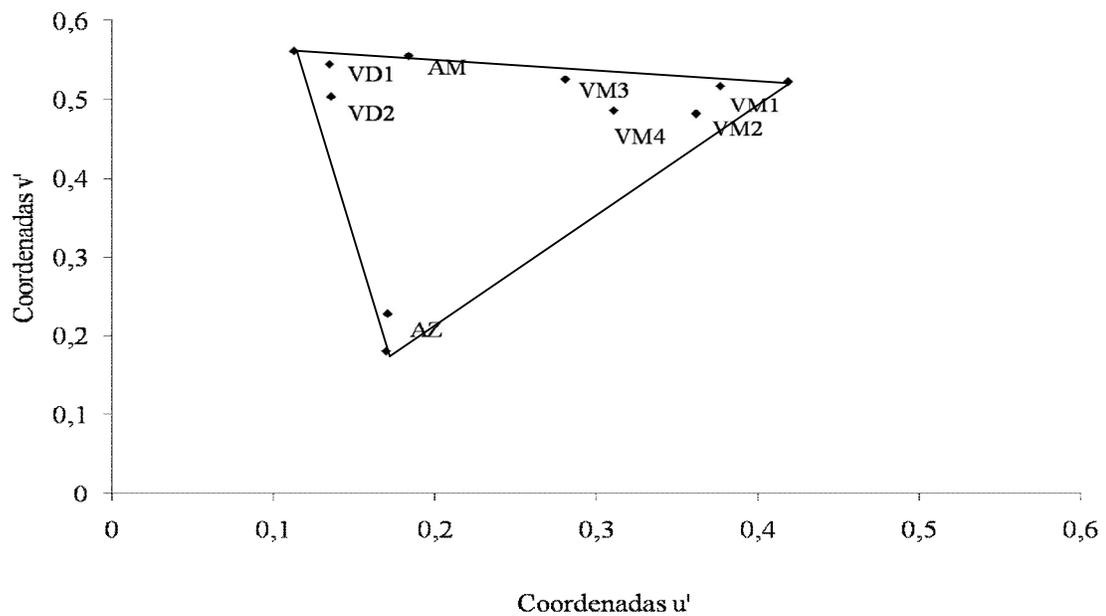


Figura 13. Posições das coordenadas  $u'v'$  utilizadas no Experimento 2 no Diagrama de Cromaticidade CIE 1976.



Tabela 7

Distância máxima entre alvo e fundo no Diagrama de Cromaticidade CIE 1976

DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS			
VD1-VM1	0,244	VD2-VM4	0,176
VD1-VM2	0,236	AZ-VM1	0,356
VD1-VM3	0,147	AZ-VM2	0,319
VD1-VM4	0,182	AZ-VM3	0,318
VD2-VM1	0,242	AZ-VM4	0,294
VD2-VM2	0,228	AZ-VD1	0,320
VD2-VM3	0,147	AZ-VD2	0,279
		AM-VD2	0,071

O teste começava com o alvo tendo nível máximo de contraste em relação ao fundo. No decorrer das sessões, a diferença de cromaticidade entre alvo e fundo diminuía ou aumentava a cada tentativa, dependendo do desempenho do sujeito. Acertos faziam com que o matiz do alvo fosse definido em um ponto mais próximo do fundo, na tentativa seguinte. O critério para encerramento destas sessões foram 11 reversões (erro seguido de acerto e acerto seguido de erro) em cada eixo. Após as 11 reversões, o software automaticamente calculava os limiares de discriminação de cores, a partir da média das distâncias alvo-fundo das sete últimas reversões. Os limiares eram apresentados como [distância média] x  $10^{-4}$  unidades  $u'v'$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO 2

Foi considerado arranjo de cor indistinguível aquele em que os sujeitos não apresentaram nenhum acerto em cinco tentativas consecutivas onde o alvo apresentava saturação máxima. Nessa situação, o participante obtinha o limiar máximo permitido, que

correspondia à distância máxima entre o fundo e o alvo. Foi considerado arranjo de cor de difícil discriminação aquele em que sujeitos apresentaram limiar acima de  $500 \times 10^{-4}$ , limiar este  $300 \times 10^{-4}$  pontos acima da distância mínima exigida nas sessões de treino, que foi de  $200 \times 10^{-4}$ . As tentativas envolvendo o estímulo AZ “azul” foram programadas em todas as sessões para servir como “parâmetro de responsividade”, pois essas tentativas permitiam a discriminação com base em componentes de comprimentos de onda curtos. Com isso, essas tentativas não se constituiriam como um desafio para as condições mais comuns de dicromacia da espécie, caracterizadas por insensibilidade a comprimentos de onda médio/longos.

Cada sessão foi realizada duas vezes com cada participante, com exceção do participante M2, que realizou todas as sessões somente uma vez, impossibilitando o cálculo da média de seus resultados em todos os testes. Os resultados dos demais sujeitos estão demonstrados com médias aritméticas.

Abaixo, estão ilustradas as médias dos participantes F1, F2 e M1 e os limiares discriminativos do participante M2 nos testes 1 (Figura 14) e 2 (Figura 15).

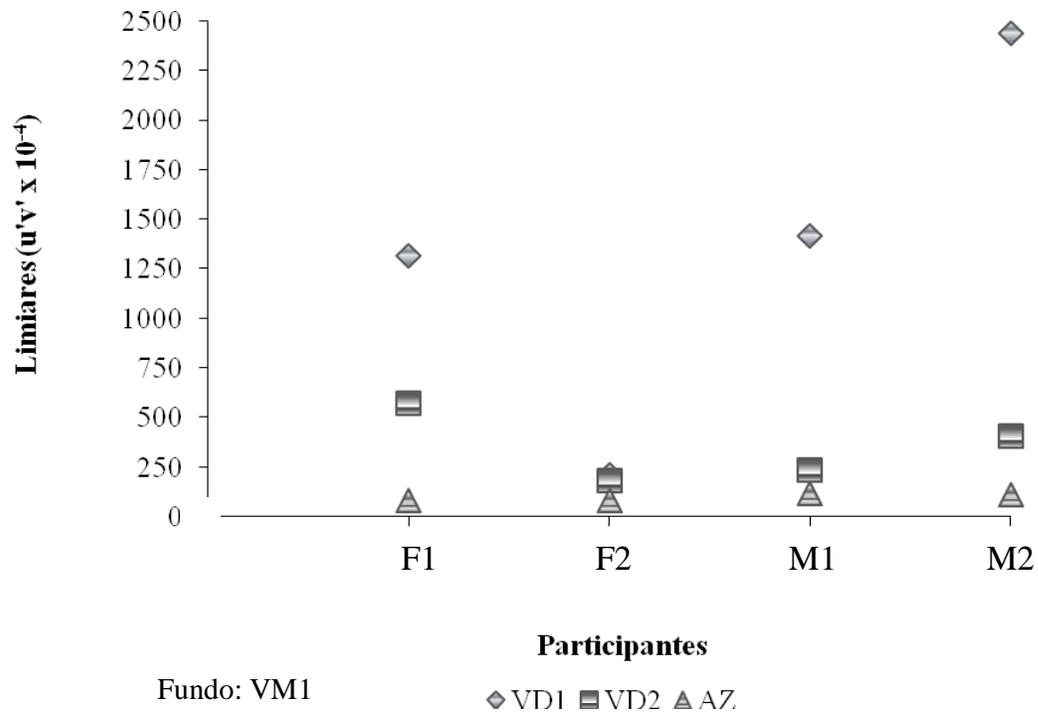


Figura 14. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 1.

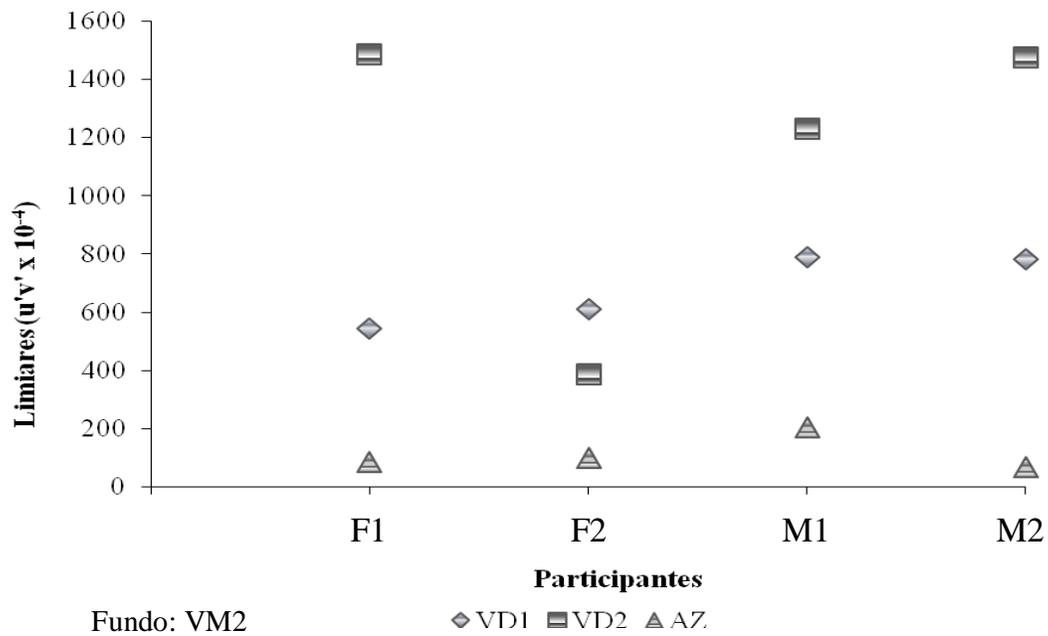


Figura 15. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 2.

Nos testes 1 e 2 (Figuras 14 e 15, respectivamente), os alvos foram compostos pelos matizes VD1, VD2 e AZ, sendo que a diferença entre essas sessões foi a programação de matizes de fundo diferentes, VM1 no teste 1 e VM2 no teste 2.

No teste 1, observou-se que todos os sujeitos, com exceção da participante F2, obtiveram limiares maiores que 1000 na discriminação VD1-VM1 (alvo-fundo), caracterizando esse arranjo como de difícil discriminação para os sujeitos F1 e M1 e indistinguível para o sujeito M2. Os participantes apresentaram também limiares abaixo de 200 na discriminação envolvendo alvo AZ (média de 82, média  $\pm$  d.p. 18,38; 80, média  $\pm$  d.p. 1,41; e 118, média  $\pm$  d.p. 104,6 para os participantes F1, F2 e M1 respectivamente, e limiar 112 para o participante M2), indicando que os sujeitos mantiveram-se responsivos até o término do teste.

Já no teste 2, os sujeitos machos apresentaram limiar maior que 700 na discriminação VD1-VM2 (alvo-fundo) do teste e todos os sujeitos, com exceção da participante F2, obtiveram limiares maiores que 1000 no eixo VD2-VM2. Nas discriminações envolvendo alvo AZ, todos os participantes apresentaram limiares próximos ou abaixo da distância mínima exigida nas sessões de treino (média de 84,5, média  $\pm$  d.p. 28,99; 98,5, média  $\pm$  d.p. 13,43; 202,5, média  $\pm$  d.p. 40,30 para os participantes F1, F2 e M1 respectivamente, e limiar 69 para o participante M2).

Abaixo, estão representadas as médias dos participantes F1, F2 e M1 e os limiares discriminativos do participante M2 nos testes 3 e 4 (Figuras 16 e 17, respectivamente).

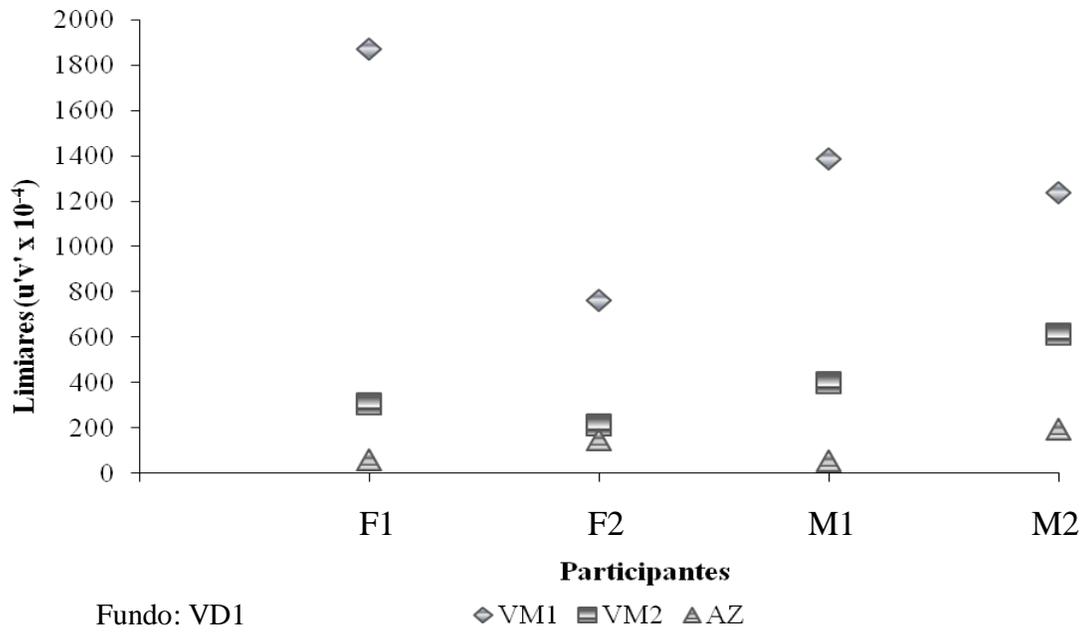


Figura 16. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 3.

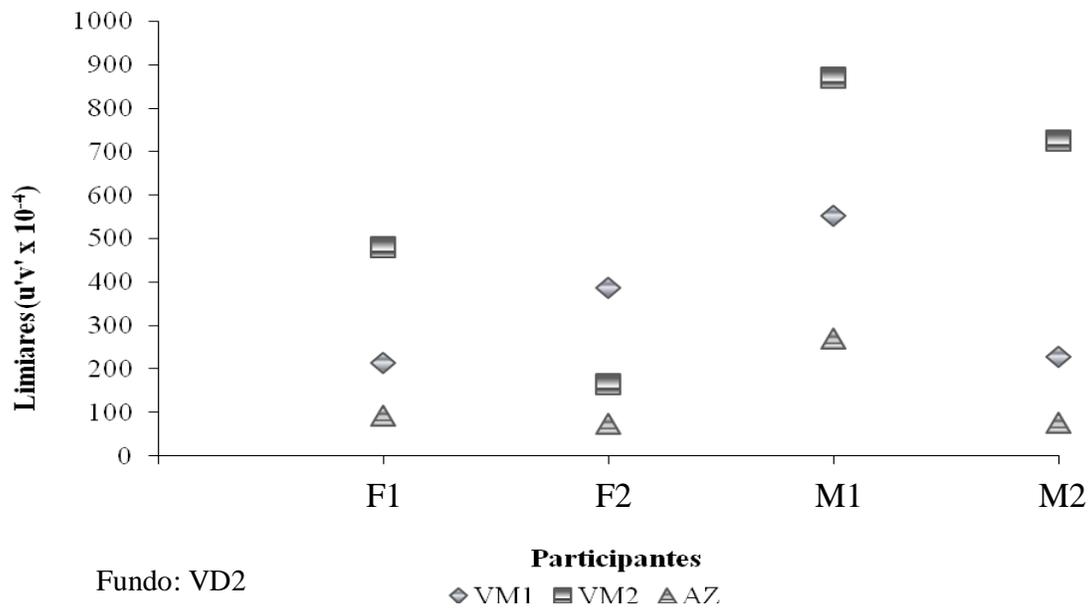


Figura 17. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 4.

Nos testes 3 e 4, os alvos foram compostos pelos matizes VM1, VM2 e AZ. A diferença entre estas sessões foi a programação dos matizes de fundo: VD1 no teste 3 e VD2 no teste 4.

No teste 3, observou-se que todos os sujeitos apresentaram limiares maiores que 700 na discriminação VM1-VD1 (alvo-fundo), caracterizando-o como de difícil discriminação. Este eixo (VM1-VD1) constituiu-se como o arranjo invertido no teste 1 (VD1-VM1). Em ambos os testes, os sujeitos F1, M1 e M2 apresentaram limiares altos, sugerindo que o eixo formado por VM1-VD1 fazia parte de uma linha de confusão para esses sujeitos. A participante F2 obteve baixo limiar discriminativo neste eixo no teste 1 (média=210, média  $\pm$  d.p. 49,49), mas alto limiar no teste 3 (média=764, média  $\pm$  d.p. 319,61). Variáveis outras podem ter interferido neste resultado, como distúrbios no ambiente externo ao ambiente experimental ou a emissão de toques pouco refinados na direção do alvo, mas fora dele. Na discriminação envolvendo AZ-VD1, os participantes apresentaram limiares abaixo da distância mínima exigida nas sessões de treino (média de 59,5, média  $\pm$  d.p. 20,5; 147,5, média  $\pm$  d.p. 71,41; e 57, média  $\pm$  d.p.26,87 para os participantes F1, F2 e M1 respectivamente, e limiar 194 para o participante M2), indicando que os sujeitos mantiveram-se responsivos ao longo do teste.

No teste 4, apenas os machos obtiveram limiares maiores que 700 na discriminação VM2-VD2. Este eixo (VM2-VD2), neste teste, constituiu-se como o arranjo invertido do eixo VD2-VM2 do teste 2. Somente os machos apresentaram limiares maiores que 600 em ambos os testes, sugerindo que o eixo formado por VM2-VD2 fazia parte de uma linha de confusão para esses participantes. Todos os sujeitos apresentaram, na discriminação AZ-VD2, limiares próximos ou abaixo da distância mínima exigida nas sessões de treino (média de 93, média  $\pm$

d.p. 14,14; 74, média  $\pm$  d.p. 2,82 e 271, média  $\pm$  d.p. 216,37 para os participantes F1, F2 e M1 respectivamente, e limiar 77 para o participante M2).

Diante da identificação de duas possíveis linhas de confusão, buscou-se confirmá-las planejando-se eixos adicionais de teste compostos por novos matizes contidos naquelas linhas. Os testes 5 e 6 visaram a verificação da linha VD1-VM1, por meio do matiz VM3, e os testes 7 e 8 visaram a verificação da linha VD2-VM2, por meio do matiz VM4. Os resultados destes testes estão mostrados a seguir.

Abaixo, estão ilustradas as médias dos participantes F1, F2 e M1 e os limiares discriminativos do participante M2 nos testes 5 e 6 (Figuras 18 e 19, respectivamente).

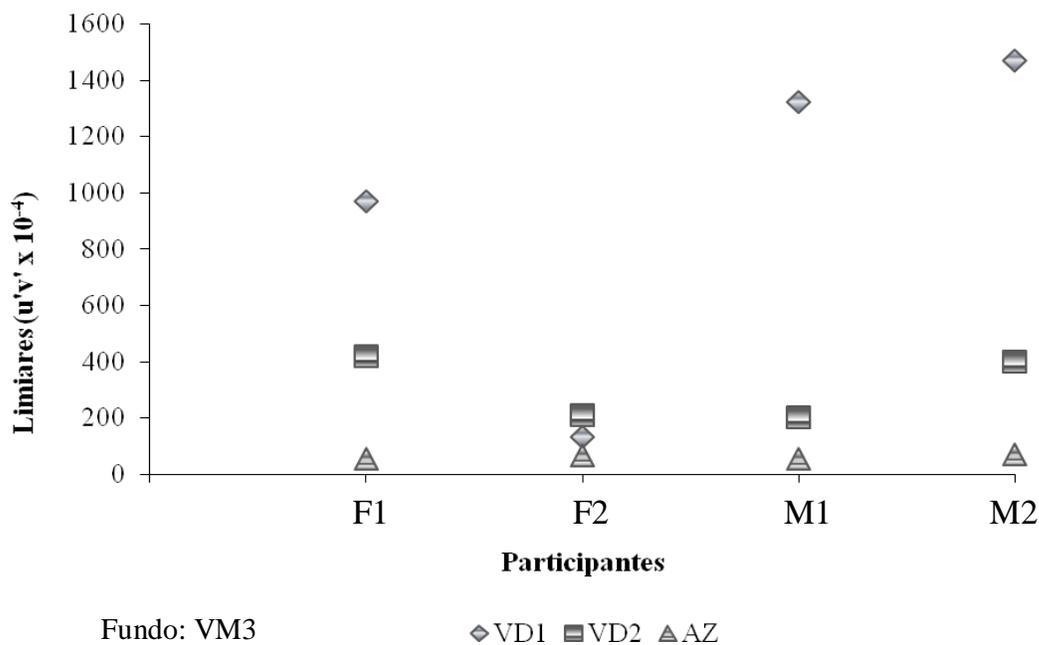


Figura 18. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 5.

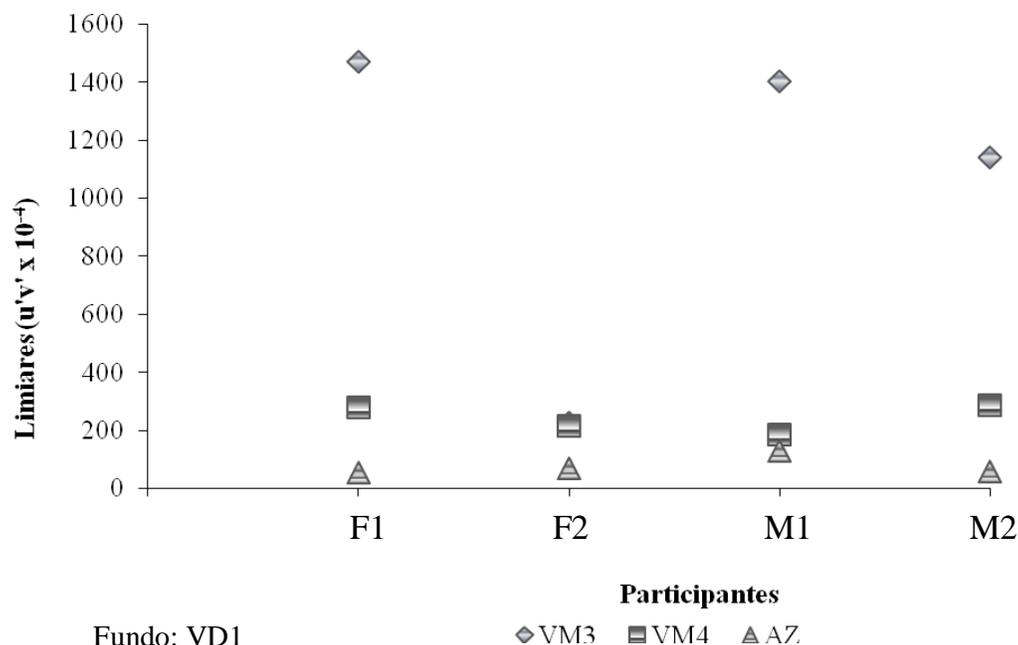


Figura 19. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 6.

No teste 5 (ver Figura 18), pode-se observar que todos os sujeitos, com exceção da participante F2, obtiveram limiares maiores que 900 na discriminação VD1-VM3 (alvo-fundo), caracterizando este arranjo como de difícil discriminação para os sujeitos F1 e M1 e indistinguível para o sujeito M2, que obteve limiar 1470, distância máxima entre os pontos referentes a esses estímulos. Na discriminação AZ-VM3, os participantes apresentaram limiares abaixo da distância mínima exigida nas sessões de treino (médias de 54, média  $\pm$  d.p. 14,14; 66,5, média  $\pm$  d.p. 97,58 55,5, média  $\pm$  d.p. 97,58) para os participantes F1, F2 e M1, respectivamente e limiar 70 para o participante M2).

Já no teste 6 (ver Figura 19), todos os sujeitos, com exceção da participante F2, obtiveram limiares maiores que 1000 na discriminação VM3-VD1 (alvo-fundo), sendo que a participante F1 obteve limiar máximo (médias de 1470, 1403,5 para os participantes F1 e M1, respectivamente; e limiar 1142 para o participante M2). O eixo VM3-VD1, neste teste,

corresponde ao arranjo invertido do eixo VD1-VM3 do teste 5. Em ambos os eixos, os mesmos sujeitos apresentaram limiares altos, enquanto que a participante F2 manteve baixo limiar discriminativo (Média=172; média  $\pm$  d.p.79,19). Todos os participantes apresentaram, nas discriminações envolvendo AZ, limiares abaixo da distância mínima exigida nas sessões de treino (média de 55, média  $\pm$  d.p. 14,14; 67, média  $\pm$  d.p. 21,21, e 130 média  $\pm$  d.p. 97,58 para os participantes F1, F2 e M1 respectivamente, e limiar 58 para o participante M2), indicando que os participantes mantiveram-se responsivos ao longo do teste.

Abaixo, estão representadas as médias dos participantes F1, F2 e M1 e os limiares discriminativos do participante M2 no teste 7 (Figura 20) e no teste 8 (Figura 21).

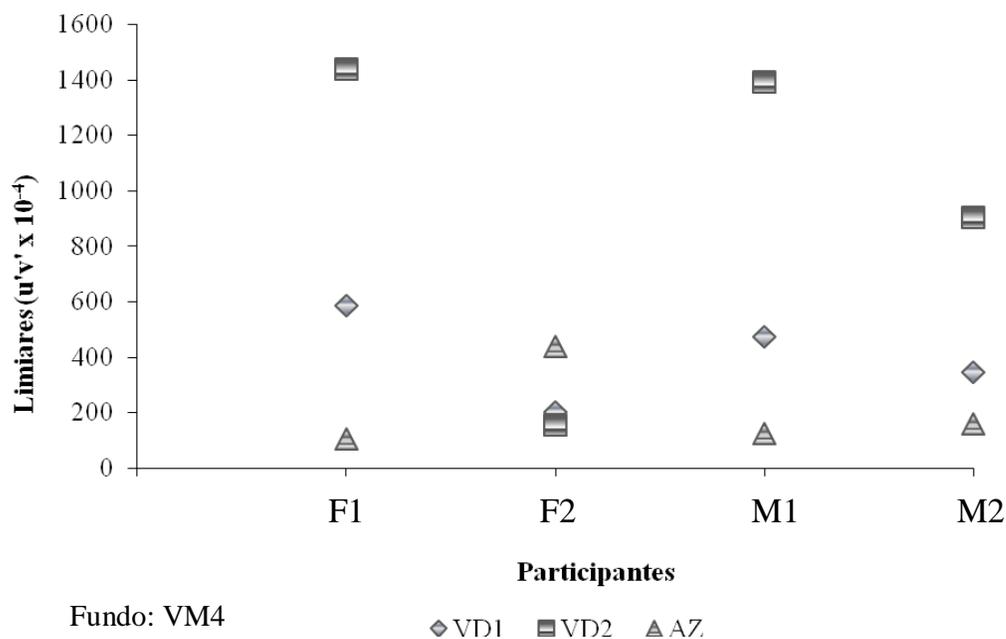


Figura 20. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 7.

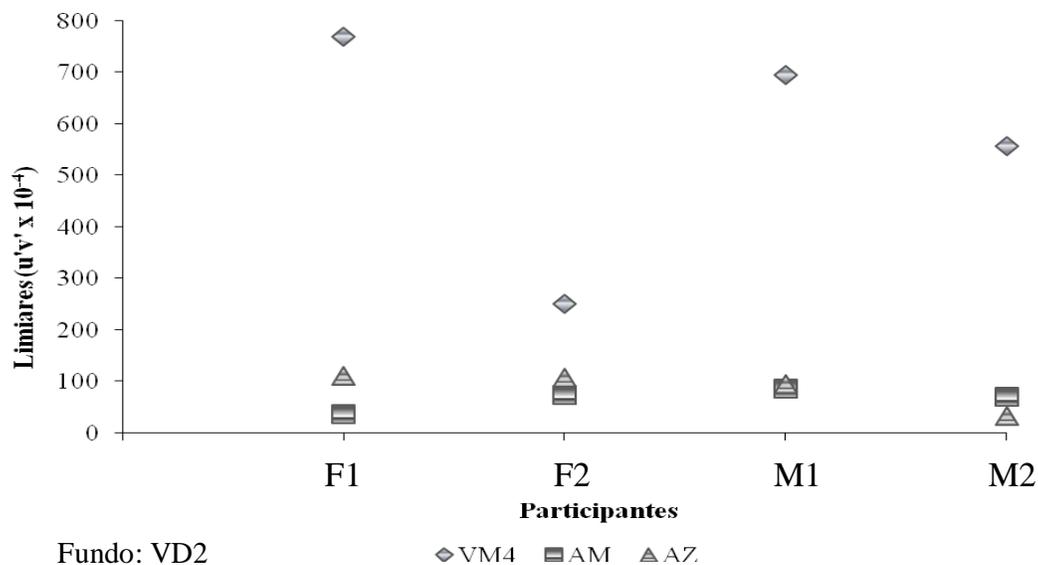


Figura 21. Média de limiares obtidos pelos participantes F1, F2 e M1 e limiar obtido pelo participante M2 no Teste 8.

No teste 7 (ver Figura 20), todos os participantes, com exceção da participante F2, obtiveram limiar maior que 900 na discriminação VD2-VM4 (alvo-fundo), caracterizando esse eixo como de difícil discriminação. Todos os participantes apresentaram limiares próximos ou abaixo da distância mínima exigida nas sessões de treino no eixo AZ-VM4 do teste (média de 106, média  $\pm$  d.p. 14,14; 436,5, média  $\pm$  d.p.460,32 e 124,5, média  $\pm$  d.p.38,98) para os participantes F1, F2 e M1 respectivamente, e limiar 158 para o participante M2).

No teste 8 (ver Figura 21), os participantes F1 e M1 apresentaram médias de limiares maiores que 500 nas discriminações VM4-VD2 desse teste. Este eixo (VM4-VD2), neste teste, corresponde ao arranjo invertido do eixo VD2-VM4 do teste 7. Os sujeitos F1 e M1 apresentaram limiares altos em ambos os arranjos. A participante F2 apresentou média de 204,5 (média  $\pm$  d.p. 65,5). Todos os sujeitos obtiveram limiares menores que 200 nas discriminações envolvendo AM-VD2 (média de 36, média  $\pm$  d.p. 0; 97,5, média  $\pm$  d.p. 33,23;

e 86, média  $\pm$  d.p.29,69 para os participantes F1, F2 e M1 respectivamente e limiar de 71 para o participante M2) e AZ-VD2 (média de 111, média  $\pm$  d.p. 17,67; 86,5, média  $\pm$  d.p. 30,4; e 94,5 média  $\pm$  d.p.23,33 para os participantes F1, F2 e M1 respectivamente, e limiar de 33 para o participante M2).

A partir dos resultados obtidos neste Experimento, pode-se observar que os arranjos envolvendo VM1, VM3 e VD1 foram os que se constituíram como arranjos de difícil discriminação perceptual para todos os participantes, com exceção da participante F2. Resultados semelhantes foram produzidos pelos arranjos envolvendo VM2, VM4 e VD2. Seus respectivos pontos estão dispostos no Diagrama de tal forma que, ligando os pontos referentes ao VM1 e VD1 por uma linha reta, esta linha também liga o ponto referente ao VM3 aos demais (ver Figura 22). O mesmo ocorre com VM4 com relação aos pontos VD2 e VM2. Seguindo o pressuposto de que uma linha reta ligando dois pontos indistinguíveis passa por pontos que também são indiscrimináveis para um indivíduo dicromata, os estímulos VM3 e VM4 foram elaborados com a finalidade de se testar novos arranjos de estímulos que produzissem desempenho próximo ao produzido pelos arranjos VM1-VD1 e VM2-VD2. Apesar destes pontos não terem, consistentemente, se constituídos como indistinguíveis para nenhum sujeito, produziram desempenho com limiares discriminativos acima de 500. E a premissa foi confirmada quando o desempenho dos sujeitos F1, M1 e M2 diante dos arranjos envolvendo VM3-VD1 e VM4-VD2 também obteve limiares altos.

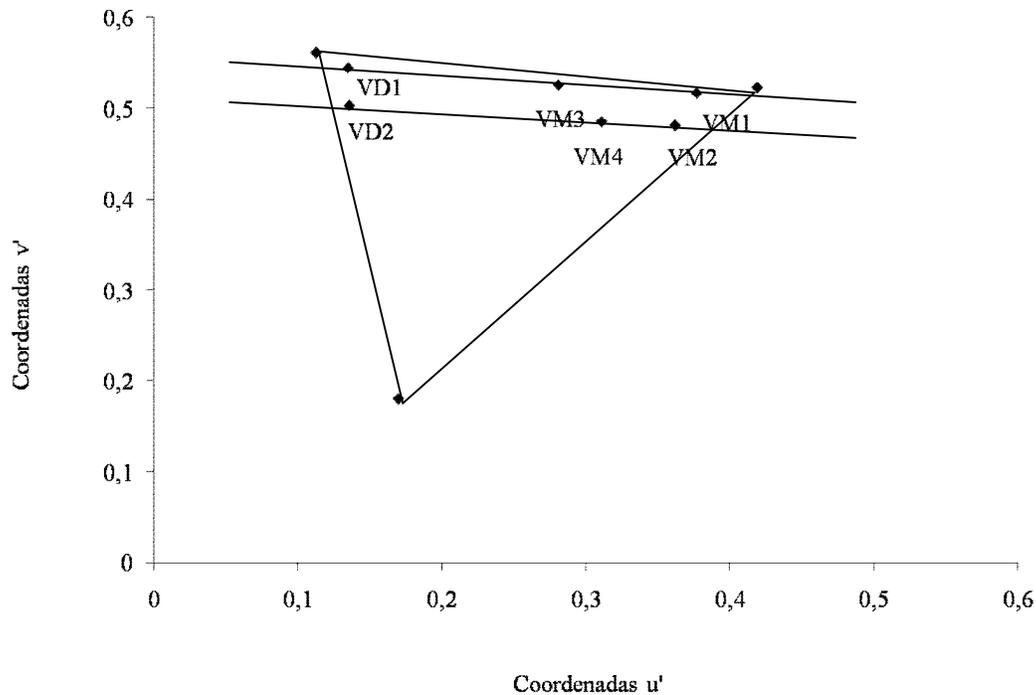


Figura 22. Representação gráfica dos pontos  $u'=0,135$ ;  $v'=0,545$  (VD1),  $u'=0,377$ ;  $v'=0,517$  (VM1) e  $u'=0,281$ ;  $v'=0,526$  (VM3) ligados por uma linha reta e dos pontos  $u'=0,136$ ;  $v'=0,504$  (VD2),  $u'=0,362$ ;  $v'=0,482$  (VM2) e  $u'=0,311$ ;  $v'=0,486$  (VM4) também ligados por uma linha reta.

Vale ressaltar que através dos resultados obtidos neste Experimento 2 ratificou-se que os limiares obtidos no Experimento 2 estão de acordo com o desempenho característico de indivíduos dicromatas demonstrado no Experimento 1. Constatou-se também que a participante F2 obteve consistentemente limiares menores que os dos demais participantes (com exceção nas discriminações VD1-VM2 e VM1-VD1 nos testes 2 e 3, respectivamente), indicando uma possível tricromacia. Esta condição é geneticamente possível quando a fêmea é heterozigota, i.e. quando apresenta genes que codificam fotopigmentos com sensibilidades espectrais distintos (Jacobs, 1998). Já a participante F1 apresentou indícios de dicromacia, por apresentar limiares mais altos que os da participante F2 ao longo dos testes (com exceção

nas discriminações VM1-VD2 no teste 4, onde apresentou limiar próximo de 200). Esta condição é geneticamente possível quando a fêmea é homozigota, i.e. quando apresenta genes que codificam fotopigmentos com sensibilidades espectrais semelhantes (Jacobs, 1998). Os participantes machos apresentaram indícios já esperados de dicromacia.

A Figura 22 permite observar que as linhas de confusão sugeridas pelos matizes de confusão VD1-VM3-VM1 e pelos matizes VD2-VM4-VM2 têm orientação semelhante às linhas de confusão características da condição deuterânope humana. Este resultado está de acordo com o registrado no Experimento 1, onde se utilizou eixos de teste característicos das formas “protan”, “deutan” e “tritan” de dicromacia humana para investigação dos fenótipos dicromatas dos sujeitos deste estudo.

### EXPERIMENTO 3

#### MÉTODO

#### PARTICIPANTE

Participou deste experimento duas fêmeas (F1 e F2) e um macho (M1) da espécie *Cebus sp.* Todos participaram dos experimentos anteriores.

#### EQUIPAMENTO

Para o Experimento 3, foi utilizada uma câmara experimental com 60 cm x 60 cm x 60 cm, sendo um dos lados em metal, o piso em metal gradeado e os lados restantes em acrílico transparente (ver Anexo 2). O lado em metal continha uma abertura (30 cm x 23 cm) na qual se encaixava um monitor de 17" com tela sensível ao toque, no qual eram apresentados os estímulos. No lado à esquerda do monitor, havia uma porta de 20 cm x 30 cm pela qual o sujeito entrava e saía da câmara experimental. Na parede à direita do monitor, havia uma entrada alternativa ao interior da câmara, que media 20 cm x 30 cm. Em cima da câmara encontrava-se um dispensador de pelotas (MED Associates, Inc.) que despejava pelotas em um comedouro localizado acima da tela do monitor. Abaixo à câmara havia uma bandeja que coletava os detritos que eram despejados pelo sujeito durante as sessões. A câmara situava-se sob um balcão de madeira a 1 m do chão. A câmara podia ser isolada através do fechamento de uma porta revestida de esponja.

Para a execução do Experimento 3, o equipamento utilizado foi um computador Intel Core 2 Duo com processador de 2 Gb, sistema operacional Windows XP Professional versão 2002. Foi utilizado o software PCR (Programa de Contingências de Reforço), desenvolvido por Marcio L. Bandeira, Paulo R. K. Goulart, Romariz de S. Barros e Carlos B. de Sousa, a fim de implantar uma alternativa de baixo custo para a avaliação da visão de cores para macacos-prego. Este software permitia a apresentação de uma tela dividida uniformemente

por 25 quadrados (matriz 5x5) de até 5 cm x 4 cm cada (área=20 cm<sup>2</sup>) (Figura 23), cujas posições, na tela do monitor, eram determinadas de modo randômico.

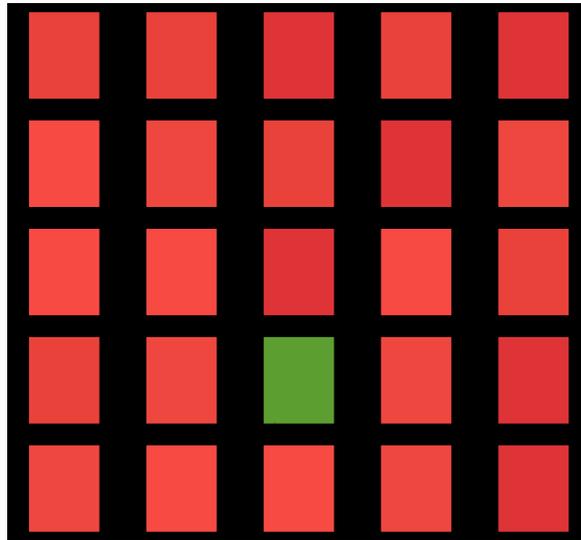


Figura 23. Arranjo de estímulos programados pelo PCR e reproduzidos pelo sistema computacional padrão.

## ESTÍMULOS

Para o experimento 3, quatro estímulos (VD1, VM1, VM3 e AZ) com as mesmas coordenadas  $u'v'$  utilizadas no Experimento 2 foram elaborados por meio do software de manipulação de imagem denominado Gimp versão 2.6 (*The Gimp Team*), gerados por uma placa de vídeo padrão e medidos na tela de monitor LCD com o fotômetro ColorCAL, através do programa LightScan (*Cambridge Research Systems*). A luminância dos estímulos que compuseram o alvo e o fundo nas sessões de teste (S-) variava entre 25, 30, 35 e 40 cd/m<sup>2</sup>, ou seja, os estímulos S- podiam possuir uma das quatro luminâncias citadas, com exceção dos estímulos que compuseram o fundo nas tentativas de Linha de Base (LDB), nos quais a luminância podia variar entre 20, 25, 30, 35 e 40 cd/m<sup>2</sup>. O estímulo que compôs o alvo na Linha de Base assumia apenas a luminância de 20 cd/m<sup>2</sup>.

## AMBIENTE EXPERIMENTAL

O ambiente consistiu em uma sala localizada ao sul do Laboratório de Psicologia Experimental, na Universidade Federal do Pará. O ambiente era refrigerado e, durante as sessões, a câmara era isolada, conferindo à sala fraca luminosidade.

## PROCEDIMENTO

### Procedimento Geral

As sessões foram realizadas em dois dias, entre 8 e 9 hs. Para o Experimento 3, foram programadas duas sessões de Teste, cada uma antecedida por uma sessão de Linha de Base. Os demais parâmetros de manejo e preparação de sessão foram os mesmos descritos para os Experimentos 1 e 2.

A quantidade de tentativas apresentadas nas sessões era fixo, independente do desempenho do sujeito. O IET era de 5s e a duração da tentativa era indeterminada, dependendo de uma resposta de toque do sujeito para que fosse encerrada e iniciada a tentativa seguinte. O critério para encerramento das sessões desse experimento foi a conclusão de todas as tentativas. A interrupção de cada sessão estava prevista dos casos de: a) dez minutos transcorridos; b) cinco minutos transcorridos sem toques na tela; ou c) destruição de qualquer material contido na câmara experimental.

### Procedimento Específico da Fase de Linha de Base

Foram programadas duas sessões de Linha de Base com 20 tentativas cada. A primeira sessão, denominada de LDB1, foi composta pelos pontos AZ (alvo) e VM1 (fundo); e a segunda sessão, denominada de LDB2, foi composta pelos pontos AZ (alvo) e VM3

(fundo). Nessas sessões, o AZ, com luminância aproximada de  $20 \text{ cd/m}^2$ , apresentava-se como alvo e os pontos VM1 e VM3 como fundo, com luminância variando entre 20, 25, 30, 35 e  $40 \text{ cd/m}^2$ . O critério para o encerramento desta fase foi um índice de acertos maior ou igual a 70%.

### Procedimento Específico da Fase de Teste do Experimento 3

Para esta fase, foram programadas duas sessões com 40 tentativas cada. Os estímulos utilizados foram selecionados a partir dos resultados dos testes do experimento 2.

Na primeira sessão, denominada de PCR1, as tentativas de teste foram compostas pelos pontos VD1 como alvo e VM1 como fundo. As tentativas de LDB foram compostas pelos pontos AZ (alvo) e VM1 (fundo). Na segunda sessão, denominada de PCR2, as tentativas de teste foram compostas pelos pontos VD1 como alvo e VM3 como fundo. As tentativas de LDB foram compostas pelos pontos AZ (alvo) e VM3 (fundo). Nestas sessões, 60% das tentativas foram constituídas de matizes de teste e 40% foram de constituídas de matizes de linha de base.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO 3

Abaixo, está ilustrado o percentual de acertos dos participantes nas duas sessões de Linha de Base, denominadas LDB 1 e LDB2 (Figura 24). Na LDB1, o estímulo AZ compôs o alvo e o estímulo VM1 compôs o fundo. Na LDB2, o estímulo AZ compôs o alvo e o estímulo VM3 compôs o fundo.

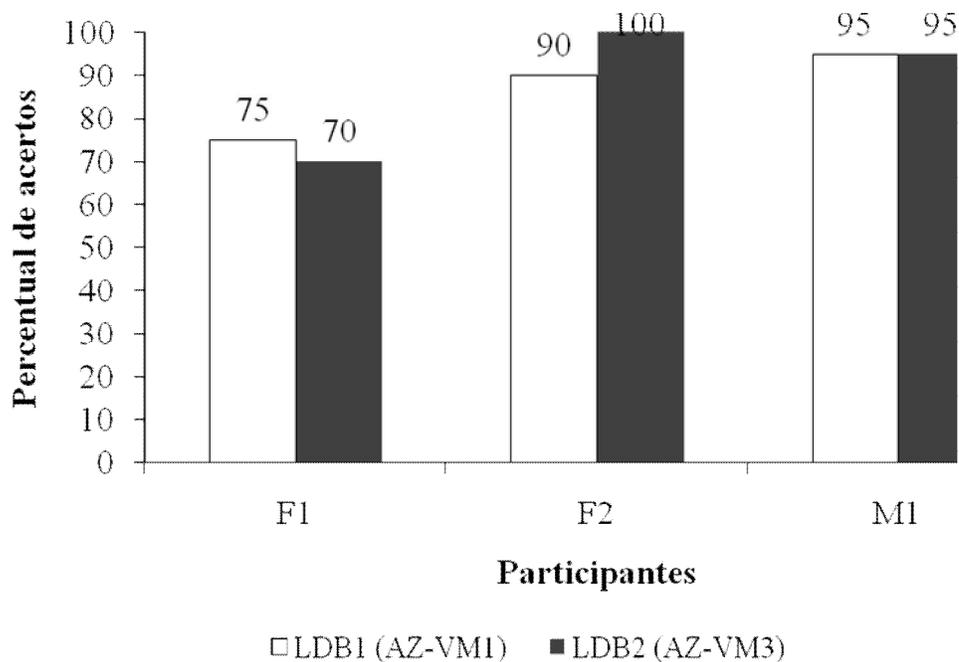


Figura 24. Percentual de acertos dos participantes nas sessões de Linha de base (LDB1 e LDB2).

Na sessão de LDB1, a participante F1 obteve 75% de acertos, após tocar corretamente em 15 das 20 tentativas apresentadas. Já na sessão de LDB2, a participante F1 obteve 70% de acertos, após tocar corretamente em 14 das 20 tentativas apresentadas.

Na sessão de LDB1, a participante F2 obteve 90% de acertos, após tocar corretamente em 18 das 20 tentativas apresentadas. Já na sessão de LDB2, a mesma participante obteve 100% de acertos, após tocar corretamente em todas as 20 tentativas apresentadas.

Já o participante M1 obteve 95% de acertos em ambas as sessões de Linha de Base, após tocar corretamente em 19 das 20 tentativas apresentadas.

Abaixo, está ilustrado o percentual de acertos dos participantes na 1ª sessão de Teste, denominada Teste PCR1 (Figura 25). As tentativas da sessão foram compostas tanto por

tentativas da sessão LDB1 (AZ-VM1) quanto por tentativas com arranjo VD1-VM1 (alvo-fundo).

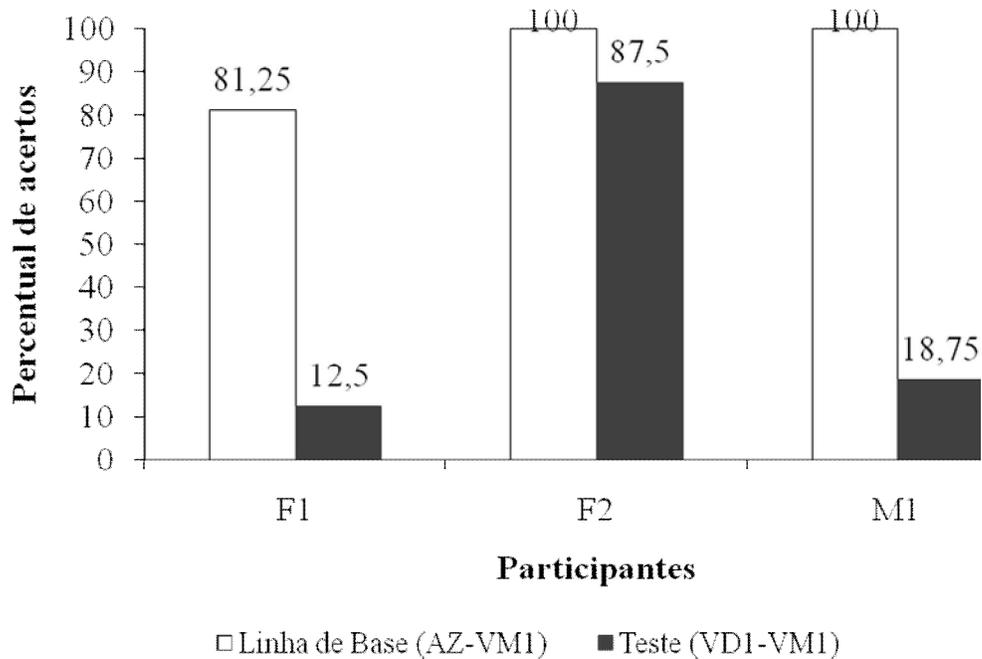


Figura 25. Percentual de acertos dos participantes nas tentativas de linha de base e de teste na sessão PCR1.

Na sessão de teste PCR1, a participante F1 obteve 81,25% de acertos nas tentativas de linha de base (13 acertos em 16 tentativas) e 12,5% de acertos nas tentativas de teste (3 acertos em 24 tentativas). Já a participante F2 obteve 100% de acertos nas tentativas de linha de base e 87,5% de acertos nas tentativas de teste (28 acertos em 32 tentativas). O participante M1 obteve 100% de acertos nas tentativas de linha de base e 18,75% de acertos nas tentativas de teste (6 acertos em 32 tentativas).

Pode-se observar que os participantes F1 e M1 mantiveram desempenho bom e consistente nas tentativas de linha de base, tanto na sessão LDB1 quanto na sessão PCR1,

mas obteve baixo índice de acertos nas tentativas de teste da sessão PCR1. O desempenho destes participantes também está de acordo com o observado no Experimento 2, onde os mesmos apresentaram altos limiares discriminativos na discriminação VD1-VM1 (ver Figura 14 e 15). Já a participante F2 apresentou um desempenho característico de tricromacia ao obter altos índices de acertos nas sessões de LDB1 e PCR1. Esta participante também apresentou um desempenho característico da tricromacia com semelhante arranjo no Experimento 2 ( ver Figura 14 e 15).

Abaixo, está demonstrado o percentual de acertos dos participantes na 2ª sessão de Teste, denominada Teste PCR2 (Figura 26). As tentativas da sessão foram compostas tanto por tentativas da sessão LDB2 (AZ-VM3) quanto por tentativas com arranjo VD1-VM3 (alvo-fundo).

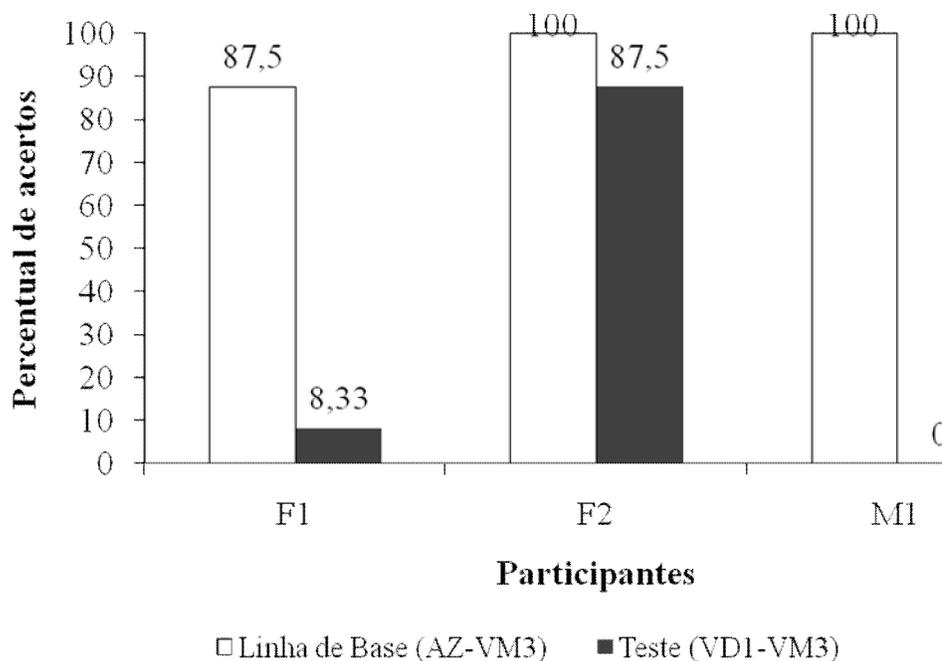


Figura 26. Percentual de acertos dos participantes nas tentativas de linha de base e de teste na sessão PCR2.

Na sessão de teste PCR2, a participante F1 obteve 87,5% de acertos nas tentativas de linha de base (14 acertos em 16 tentativas) e 8,3% de acertos nas tentativas de teste (2 acertos em 24 tentativas). Já a participante F2 obteve 100% de acertos nas tentativas de linha de base e 87,5% de acertos nas tentativas de teste (21 acertos em 24 tentativas). O participante M1 obteve 100% de acertos nas tentativas de linha de base e 0% de acertos nas tentativas de teste.

Pode-se observar que os participantes F1 e M1 mantiveram desempenho bom e consistente nas tentativas de linha de base, tanto na sessão LDB2 quanto na sessão PCR2, mas obteve baixo índice de acertos nas tentativas de teste da sessão PCR2. O desempenho destes participantes também está de acordo com o observado no Experimento 2, onde os mesmos apresentaram altos limiares discriminativos na discriminação VD1-VM3 (ver Figura 18 e 19). Já a participante F2 apresentou um desempenho característico de tricromacia ao obter altos índices de acertos tanto na sessão de LDB2 e PCR2. Esta participante também apresentou um desempenho característico da tricromacia com semelhante arranjo no Experimento 2 ( ver Figura 18 e 19).

Considera-se que ambos os testes demonstraram de modo satisfatório que condições favoráveis à avaliação de visão de cores em indivíduos do gênero *Cebus sp* podem ser criadas envolvendo equipamento e software de baixo custo financeiro. Devido ao pequeno número de sessões realizadas com esse procedimento, sugere-se a replicação do Experimento 3 com maior número de participantes e de sessões envolvendo outros estímulos nos quais os participantes tenham apresentando previamente altos limiares discriminativos, como nos arranjos envolvendo VD2, VM2 e VM4, por exemplo.

## DISCUSSÃO GERAL

O presente estudo demonstrou a viabilidade da investigação de visão de cores de macacos-prego por meio de dois distintos arranjos de procedimento e equipamento, diferindo em seu padrão técnico e custo. Os Experimentos 1 e 2 confirmaram a aplicabilidade em macacos-prego do *Cambridge Colour Test*, controlado pelo sistema ViSaGe. A versão adaptada do teste de Mollon-Reffin, baseada na versão utilizada por Goulart et al. (2008) foi capaz de produzir arranjos cromáticos desafiadores para a dicromacia de macacos-prego e fornecer indícios da forma específica de dicromacia em questão. A eficácia de uma adaptação semelhante já tinha sido demonstrada com sujeitos não-verbais: em *Saimiri sp*, com a versão da Mancuso et al (2006), e em sujeitos humanos infantes não-verbais com a adaptação de Goulart et al. (2008). As modificações no software, equipamento e nas técnicas de treino produziram condições adequadas para a aplicação do teste, além de ter permitido a aquisição e manutenção do responder de participantes não-humanos sob controle das contingências da tarefa. A necessidade de instruções verbais foi contornada pela exigência de um toque na tela e pela adoção de técnicas de condicionamento operante, tornando possível a exigência de um responder compatível com as características filogenéticas da espécie em questão. Os resultados obtidos também estão em consonância com a literatura científica, que prediz o polimorfismo ligado ao sexo da visão de cores entre indivíduos da espécie *Cebus sp*, o que pôde ser corroborado no Experimento 1.

Apesar de seu elevado padrão técnico, o alto investimento financeiro necessário para a montagem de um sistema que permita a utilização do *Cambridge Colour Test* o torna uma alternativa pouco viável para avaliação de visão de cores em primatas não-humanos. O Experimento 3 apresentou indícios de que condições favoráveis à avaliação de visão de cores em macacos-prego podem ser edificadas envolvendo equipamentos de baixo custo, desde que seja possível criar uma situação em que a diferença de matiz seja a única propriedade

consistentemente correlacionada com reforçamento. Assim, embora o monitor e a placa de vídeo utilizados estivessem aquém daqueles considerados ideais para a geração e controle de estímulos cromáticos, foi possível reproduzir os arranjos de discriminação cromática desafiadores para os animais dicromatas identificados no Experimento 2. Isso foi possível com a criação de um arranjo de múltiplos estímulos com mesma forma e luminância variada, de modo que o único estímulo que diferia em matiz pudesse ser identificado apenas com base nessa propriedade. Nesse caso, diferentemente do que ocorre com sistema ViSaGe, que faz o controle de matiz e luminância automaticamente, é preciso produzir, com o auxílio de um colorímetro acoplado ao monitor, cada variação de matiz e luminância que seria necessária para a programação do teste. Além disso, é necessária também a correção dos estímulos caso eles precisem ser reproduzidos em um monitor diferente daquele em que foram criados. Apesar de ser bastante trabalhoso, este expediente possibilita que equipamentos de menor custo sejam utilizados para a avaliação de discriminação de cores em sujeitos não-humanos.

Deve-se salientar que o *Cambridge Colour Test* resguarda vantagens conspícuas, se comparado com o teste de baixo custo, pois permite a variação dinâmica da diferença cromática alvo-fundo e apresenta os arranjos com ruído espacial e de luminância, artifício essencial para eliminar as chances de discriminação com base nas diferenças de brilho dos estímulos. Além disso, a decisão sobre que estratégia utilizar dependerá de um balanço entre custo operacional e custo financeiro. Seja como for, a demonstração, no presente estudo, de condições favoráveis para a aplicação de teste de avaliação de visão de cores com mais uma espécie de macacos platirrinos viabiliza a pesquisa no âmbito comportamental em outras espécies de primatas, onde os dados são mais escassos ou inexistentes, possibilitando a avaliação de tri/dicromacia de outros primatas platirrinos.

## REFERÊNCIAS

- Catania, C. A. (1999). *Aprendizagem - Comportamento, Linguagem e Cognição*. (D. G. Souza Trad.). Porto Alegre: Artmed.
- Dain, S. J. (2004). Clinical colour vision tests. *Clinical and Experimental Optometry*, 87: 276-293.
- Dominy, N. (1999). Trichromatic color vision in higher primates. Acessado em: 24, Agosto, 2006, em [http://www.explorers.org/news/06/08/060824\\_color\\_vision.html](http://www.explorers.org/news/06/08/060824_color_vision.html).
- Dominy, N. J. & Lucas, P. W. (2001). Ecological importance of trichromatic vision to primates. *Nature*, 410: 363-366.
- Dominy, N. J. & Lucas, P. W. (2004). Significance of Color, Calories, and Climate to the Visual Ecology of Catarrhines. *American Journal of Primatology*, 62:189–207.
- 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. *Behavioral Brain Research*, 129: 153-157.
- Goulart, P. R. K., Makiana, S. T., Fonseca, A. R., Marques, S., K. L., & Galvão, O. F. (2008). Visão de cores em *Cebus apella*: avaliação de discriminação de cores por meio de um monitor CRT padrão e ferramenta de edição de cores do *Windows XP*. *Neurociências*, 4 (2): 80-86.
- Goulart, P. R. K. (2008). *Um teste computadorizado para a avaliação de visão de cores em crianças e sujeitos não-verbais baseado no Cambridge Colour Test*. Tese de Doutorado. Belém: UFPA.
- Goulart, P. R. K., Bandeira, M. L., Tsubota, D., Oiwa, N. N., Costa, M. F. & Ventura, D. F. (2008). A computer-controlled color vision test for children based on the Cambridge Colour Test. *Visual Neuroscience*, 25: 445–450.

- Gouras, P. (1991). Color Vision. Em *Principles of Neural Science*. Orgs: Eric R. Kandel, James H. Schwartz e Thomas M. Jessesl. Pp. 467-479. 3th Edition. Appleton & Lange. Norwark, Connecticut.
- Jacobs, G. H. (1996). Primate photopigment and primate color vision. *Proceedings of the National Academy of Science*, 93: 577-581.
- Jacobs, G. H. (1998). A perspective on color vision in platyrrhine monkeys. *Vision Research*, 38: 3307-3313.
- Jacobs, G. H. (1999). Prospects for trichromatic color vision in male *Cebus* monkeys. *Behavioral Brain Research*, 101: 109-112.
- Jacobs, G. H., Deegan, J. F., Neitz J. A., Crognale, M. A. & Neitz, M. (1993). Photopigment and color vision in nocturnal monkey, *Aotus*. *Vision Research*, 33: 1773-1783.
- Jacobs, G. H., Neitz, M., Deegan, J. F., & Neitz J. (1996). Trichromatic color vision in New World monkeys. *Nature*, 382: 156-158.
- Judd, D. B. (1966). Fundamental studies of color vision from 1860 to 1960. *Proceedings of National Academy Society*, 55: 1313-1330.
- Kolb, H. (2003). How the retina works. *American Scientist*, 91, 28-35. Retirado em 7 de fevereiro de 2008 de <http://webvision.med.utah.edu/2003-01Kolb.pdf>
- Lent, R. (2004). As Portas da Percepção. *Cem Bilhões de Neurônios. Conceitos Fundamentais da Neurociência*. Pp. 557 – 587. Atheneu: São Paulo.
- Lucas, P. W., Dominy, N. J., Riba-Hernandez, P., Stoner, K. E., Yamashita, N., Loria-Calderón, E., Petersen-Pereira, W., Rojas-Durán, Y., Salas-Pena, R., Solis-Madriral, S., Osorio, D., & Darvell, B. W. (2003). Evolution and function of routine trichromatic vision in primates. *Evolution*, 57: 2636-2643.
- Macuso, K., Neitz, M., & Neitz, J. (2006). An adaptation of the Cambridge Color Test for use with animals. *Visual Neuroscience*, 23: 695-701.

- Mollon, J. D., & Regan, B. C. (2000). Cambridge Color Test Handbook. Acessado em 20/01/2008, em <HTTP://VISL.TECHNION.AC.IL/PROJECTS/2002W/THEORY.PDF>
- Oyamada, M. K. (2002). Fototransdução: ativação, inativação e adaptação. Sinopses de oftalmologia, 4(3): 68-72. Retirado em 20 de fevereiro de 2009 de [http://www.cibersaude.com.br/revistas.asp?fase=r003&id\\_materia=2158](http://www.cibersaude.com.br/revistas.asp?fase=r003&id_materia=2158)
- Pessoa, V. F., Tavares, M. C., Aguiar, L., Gomes, U. R. & Tomaz, C. (1997). Color vision discrimination in the capuchin monkey *Cebus apella*: evidence for trichromaticity. *Behavioural Brain Research*, 89: 285-288.
- Regan, B. C., Reffin, J. P., & Mollon, J. D. (1994). Luminance noise and the rapid determination of discrimination ellipses in colour deficiency. *Vision Research*, 34: 1279-1299.
- Skinner, B. F. (1994). *Ciência e Comportamento Humano*. (J. C. Todorov e R. Azzi Trad. ). São Paulo: Martins Fontes.
- Sousa, A. R. (2001). Fototransdução. Modelo de transmissão do sinal através de membranas celulares. *Acta Oftalmologica*, 11: 19-30.
- SurrIDGE, A. K., OSORIO, D. & MUNDY, N. I. (2003). Evolution and selection of trichromatic color vision in primates. *Trends in Ecology and Evolution*, 18: 198-205
- Tessier-Lavigne, M. (1991). Phototransduction and information processing in the retina. Em *Principles of Neural Science*. Orgs: Eric R. Kandel, James H. Schwartz e Thomas M. Jessesl. Pp. 400-416. 3<sup>th</sup> Edition. Appleton & Lange. Norwalk, Connecticut.
- Vogel, E. R., Neitz, M., & Dominy, N. J. (2006). Effect of color vision phenotype on the foraging of wild white-faced capuchins, *Cebus capucinus*. *Behavioral Ecology*, doi:10.1093/beheco/arl082, 292-297
- Vorobyev, M. (2004). Ecology and evolution of primate color vision. *Clinical and Experimental Optometry*, 87: 230-238.

## ANEXO 1

O Diagrama de Cromaticidade CIE foi criado primeiramente em 1931 pela *Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)* a partir da padronização do observador e da definição de três cores primárias imaginárias X, Y e Z que substituíram o vermelho, verde e azul do sistema RGB, pois é possível obter todos os comprimentos de ondas do espectro visível, com luminância constante, através da soma das três cores primárias. Mudanças decorrentes de tentativas de tornar o diagrama mais homogêneo – para que distâncias euclidianas correspondessem ponto a ponto com as distâncias perceptuais – culminaram na criação do Diagrama de Cromaticidade CIE 1976 (Figuras 27 e 28).

O Diagrama de Cromaticidade CIE 1976 consiste na representação matemática das diferenças entre matizes percebidas por humanos tricromatas. Caracteriza-se pela exposição de um espaço de cor em um sistema de coordenadas cartesianas, onde cada valor representa uma cromatância (i.e. matiz + saturação). A curva na fronteira do diagrama representa as cores espectrais puras, monocromáticas. A linha reta que une os dois extremos da curva, compreendendo as várias misturas de violeta e vermelho, é denominada linha púrpura. Cada ponto na região do Diagrama representa cores com a mesma cromatância, mas com diferentes luminâncias.

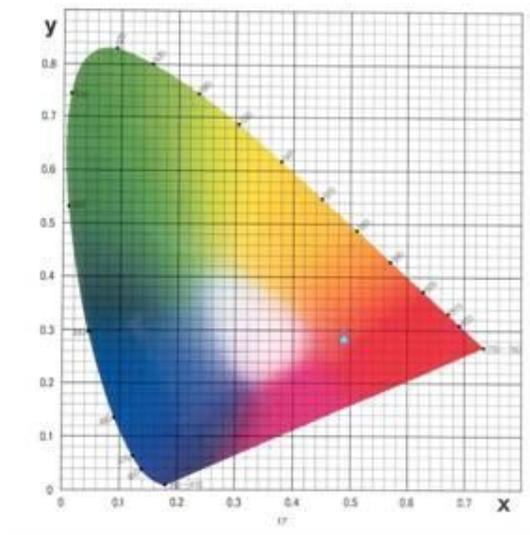


Figura 27. Diagrama de Cromaticidade 1931. Adaptado de:  
[http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5656/Curso\\_Illuminacao/07\\_cores/modelo\\_Yxy.htm](http://www.arq.ufsc.br/labcon/arq5656/Curso_Illuminacao/07_cores/modelo_Yxy.htm).

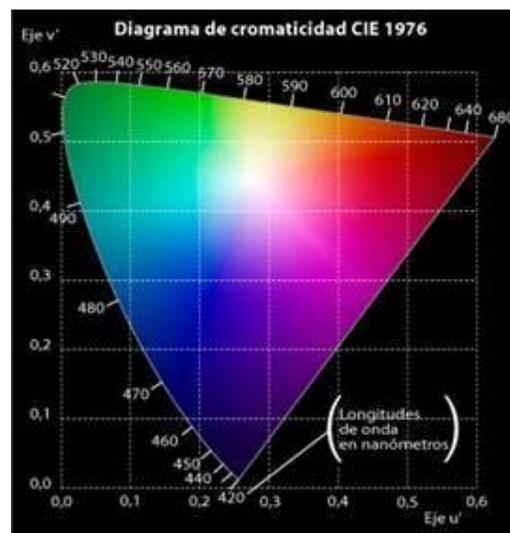


Figura 28. Diagrama de Cromaticidade elaborado em 1976. Retirado de:  
<http://www.gusgsm.com/book/export/html/1>

Entretanto, os dispositivos de reprodução de cores presentes no mercado não conseguem reproduzir todas as cores presentes no Diagrama, mas sim uma porção do mesmo (Figura 29).

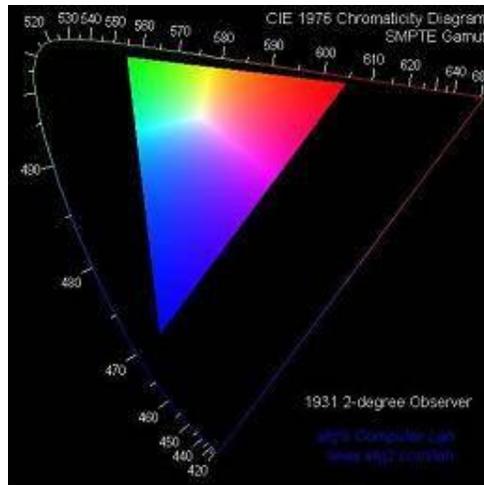


Figura 29. Porção passível de reprodução por um monitor CRT. Retirado de Goulart, 2008.

Essa porção é denominada gamut, e representa todas as cores possíveis de serem reproduzidas por um dispositivo de reprodução gráfica, como monitores e impressoras. Esses dispositivos são limitados porque sua reprodução depende da mistura de cores que não são puras, ou seja, possuem uma proporção de luz branca, comprometendo a reprodução fidedigna das sutilezas presentes no Diagrama.

O Diagrama pode ser pensado como um corte bidimensional de um espaço tridimensional, com um formato cônico (Figura 30). O espaço de cores tridimensional representa, além da cromatância, a luminância, que também é uma propriedade das cores, mas de difícil representação gráfica.

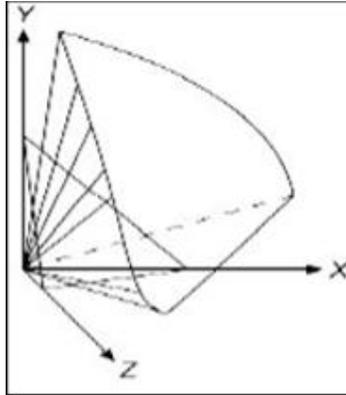


Figura 30. Representação tridimensional do Diagrama de Cromaticidade CIE. O formato cônico contempla a visualização não somente da cromatância (i.e. matiz e saturação) dos estímulos, mas também da luminância dos mesmos. O triângulo interno representa o gamut. Retirado de Luz e Cor. Sistemas Gráficos/Computação Gráfica e Interfaces (2004). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Para converter os valores  $xy$  do Diagrama de 1931 nas coordenadas  $u'v'$  do Diagrama de 1976, deve-se utilizar as seguintes fórmulas (retiradas de <http://www.efg2.com/Lab/Graphics/Colors/Chromaticity.htm>):

$$u' = 4x / (-2x + 12y + 3)$$

$$v' = 9y / (-2x + 12y + 3)$$

ANEXO 2

## Participantes



EVA (F1)



PRETA (F2)



RAUL (M1)



GUGA (M2)

## Câmaras experimentais

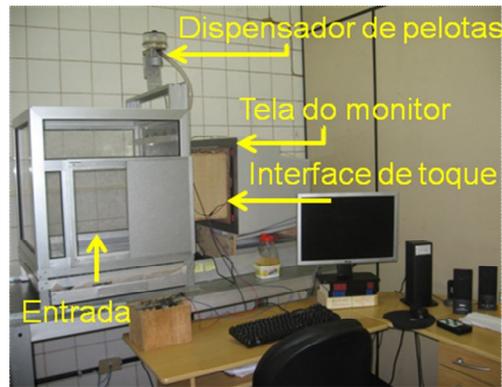


Figura 31. Câmara utilizada nos Experimentos 1 e 2.



Figura 32. Câmara utilizada no Experimento 3.