

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DOS CONDUTORES PORTADORES DE  
DISCROMATOPSIA CONGÊNITA NA PERCEPÇÃO  
CROMÁTICA DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA**

**RENATO SOARES**

**ORIENTADORA: MARIA ALICE PRUDÊNCIO JACQUES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO: T.DM – 008A/2009**

**BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO – 2009**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DOS CONDUTORES PORTADORES DE  
DISCROMATOPSIA CONGÊNITA NA PERCEPÇÃO CROMÁTICA  
DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA**

**RENATO SOARES**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE  
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU  
DE MESTRE EM TRANSPORTES.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof.<sup>a</sup> Maria Alice Prudêncio Jacques, PhD (UnB - ENC)  
(Orientadora)**

---

**Prof. Paulo Cesar Marques da Silva, PhD (UnB - ENC)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof.<sup>a</sup> Marilita Gnecco de Camargo Braga, PhD (UFRJ – COPPE)  
(Examinadora Externa)**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**SOARES, RENATO**

Avaliação dos Condutores Portadores de Discromatopsia Congênita na Percepção Cromática da Sinalização Viária [Distrito Federal] 2009.

xvi, 129p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2009).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Percepção Cromática do Condutor Daltônico      2. Cores da Sinalização Viária

3. Materiais de Acabamento da Sinalização Viária      4. Segurança no Trânsito

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

SOARES, R. (2009). Avaliação dos Condutores Portadores de Discromatopsia Congênita na Percepção Cromática da Sinalização Viária. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM – 008A/2009. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 129p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

**AUTOR:** Renato Soares.

**TÍTULO:** Avaliação dos Condutores Portadores de Discromatopsia Congênita na Interpretação da Sinalização Viária.

**GRAU:** Mestre      **ANO:** 2009

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Renato Soares  
Quadra 101 Lote 8 apto 1201B, Águas Claras.  
71.907-180 Brasília –DF – Brasil.

# **DEDICATÓRIA**

**Dedicado a Lúcia Helena Reis Soares e a Christian Martins de Sabóia**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me incentivaram durante o mestrado.

Gostaria de agradecer especialmente:

À professora Maria Alice Prudêncio Jacques que, desde o início, aceitou orientar-me e mais do que isso: sempre foi extremamente atenciosa e dedicada.

Aos professores participantes da banca examinadora, Paulo Cesar e Marilita, os meus agradecimentos pelas sugestões e críticas que contribuíram para o enriquecimento do trabalho.

A todos os professores do mestrado em transportes da UnB que tanto contribuíram para o meu aprendizado.

Ao Júlio Duarte, secretário do departamento, que sempre me atendeu prontamente com uma palavra amiga.

Aos meus amigos e amigas do mestrado que sempre trabalharam em equipe, ajudando a superar as dificuldades.

A todas as pessoas do Setor de Oftalmologia do Hospital Universitário de Brasília, em especial ao senhor Flávio Aranha que contribuiu para a realização deste trabalho.

À SITRAN, à 3M, ao cerimonial da ANVISA e ao DETRAN-DF que colaboraram para o êxito deste trabalho.

O meu sincero obrigado!

## RESUMO

### **AVALIAÇÃO DOS CONDUTORES PORTADORES DE DISCROMATOPSIA CONGÊNITA NA PERCEPÇÃO CROMÁTICA DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA**

A função dos diferentes subsistemas da sinalização viária é caracterizada, dentre outros aspectos, pela cor dos símbolos e sinais de trânsito. Por essa razão, o conhecimento das necessidades e dificuldades apresentadas por condutores portadores de discromatopsia congênita pode contribuir para aumentar a segurança dos usuários da via, ao permitir a adoção de medidas voltadas à redução de possíveis barreiras de comunicação das regras de circulação para esse tipo de condutor.

Neste contexto, esta dissertação visa identificar as limitações dos condutores daltônicos em relação à identificação das cores da sinalização viária, considerando diversos materiais utilizados na sinalização semafórica, vertical e horizontal, sob diferentes condições de iluminação. O estudo avaliou 32 condutores portadores de discromatopsia congênita com experiência em dirigir no Distrito Federal. Os condutores possuíam o tipo protan e o deutan do distúrbio. Os integrantes da amostra passaram por dois testes de avaliação cromática (Ishihara e TNC), uma entrevista estruturada e testes de sinalização horizontal, vertical e semafórica. Os testes de sinalização foram realizados sob duas condições de iluminação do ambiente, dia e noite.

Os resultados obtidos comprovam a dificuldade na percepção cromática dos condutores daltônicos quanto às cores da sinalização viária, que varia de acordo com os tipos e os graus de severidade do distúrbio. Os materiais analisados da sinalização horizontal não tiveram diferença significativa sobre a percepção de cores pelos daltônicos. Dentre os três tipos de películas analisadas da sinalização vertical, os tipos III e X apresentaram mais facilidade de reconhecimento das cores no período diurno. Na sinalização semafórica, os condutores da forma deutan apresentaram mais dificuldade para reconhecer as cores dos focos com LED's do que com lâmpadas de filamento, tanto no período diurno quanto noturno. Os resultados da pesquisa, portanto, revelam que é possível tornar a sinalização viária mais acessível aos condutores daltônicos, sem comprometer a qualidade da informação para os demais condutores e pedestres.

## **ABSTRACT**

### **ASSESSMENT OF CONGENITAL COLOR-BLIND DRIVERS ON THE COLOR PERCEPTION OF ROAD SIGNS**

The function of the several traffic signal subsystems is defined, among others, by the color of traffic signs and symbols. Therefore, knowing the needs and problems congenital color-blind drivers face can help increase road users' safety as it may lead to the adoption of measures to reduce potential communication barriers on traffic rules to such drivers.

Within this context, this study aims at identifying color-blind drivers' restraints concerning the identification of road sign colors, regarding several materials used for horizontal, vertical and light signs under different light conditions. Thirty-two (32) congenital color-blind drivers with experience over Distrito Federal roads were evaluated. These drivers suffered from Protan and Deutan disorder. They took two color evaluation tests (Ishihara and TNC), a structured interview and tests on horizontal, vertical and traffic light signaling. The latter was conducted under two environmental light conditions: day and night.

Results attest the difficulty color-blind drivers have for recognizing colors when it regards road sign colors, which varies according to the disorder level and type. Materials analyzed for horizontal signaling presented no significant difference concerning color perception by color-blind drivers. Among the three types of covers for vertical signaling analyzed, types III and X promoted easier recognition of colors in daytime. Regarding traffic light signaling, Deutan drivers faced more problems recognizing colors from LED light focus than from filament light bulbs, both in daytime and at night. The survey results, therefore, show that it is possible to make traffic signs more accessible for color-blind drivers without spoiling the quality of information for other drivers and pedestrians.

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA FACE À INFLUÊNCIA DAS CORES NO COMPORTAMENTO HUMANO DO TRÂNSITO .....	2
1.2. JUSTIFICATIVA .....	6
1.3. HIPÓTESE .....	7
1.4. OBJETIVOS.....	7
1.4.1. Objetivo Geral .....	7
1.4.2. Objetivos Específicos .....	7
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	8
2. SINALIZAÇÃO VIÁRIA .....	10
2.1. SINALIZAÇÃO VERTICAL .....	10
2.1.1. Utilização das Cores nos Sinais Verticais .....	11
2.2. SINALIZAÇÃO HORIZONTAL .....	12
2.2.1. Utilização das Cores nos Sinais Horizontais .....	12
2.3. SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA .....	13
2.3.1. Utilização das Cores na Sinalização Semafórica de Regulamentação .....	14
2.4. VISIBILIDADE DOS SINAIS DE TRÂNSITO.....	14
2.4.1. Critérios de Visibilidade.....	14
2.4.2. Conceitos Básicos.....	15
2.4.3. Fenômenos Físicos da Luz .....	16
2.4.3.1. Tipos de Reflexão.....	16
2.4.3.2. Retrorreflexão.....	17
2.4.3.3. Coeficiente de Retrorreflexão.....	17
2.4.3.4. Angularidade de Retrorreflexão .....	17
2.4.4. Cromaticidade.....	18
2.4.4.1. Diagrama CIE.....	19
2.4.4.2. Padrão Münsell.....	20
2.5. MATERIAIS UTILIZADOS NA SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO.....	21
2.5.1. Microesferas de Vidro .....	22
2.5.1.1. Classificação.....	22



2.5.1.2. Condições Específicas .....	23
2.5.2. Materiais Utilizados na Sinalização Horizontal .....	24
2.5.3. Materiais Utilizados na Sinalização Vertical .....	25
2.5.3.1. Tintas .....	25
2.5.3.2. Películas Retrorrefletivas.....	26
2.5.4. Materiais Utilizados na Sinalização Semafórica .....	28
2.5.4.1. Semáforos de Lâmpada de Filamento .....	28
2.5.4.2. Semáforos de LED's.....	31
2.5.4.3. Diferenças entre o Semáforo de Lâmpada e o de LED's .....	32
2.6. TÓPICOS CONCLUSIVOS .....	33
3. PERCEPÇÃO CROMÁTICA .....	34
3.1. O OLHO E A PERCEPÇÃO VISUAL HUMANA .....	34
3.2. DISTÚRBIOS DO PROCESSO DE PERCEPÇÃO CROMÁTICA .....	37
3.2.1. Discromatopsia Congênita.....	37
3.2.1.1. Classificações .....	37
3.2.1.2. Incidência.....	38
3.2.2. Discromatopsia Adquirida.....	39
3.2.3. Diferenças Clínicas entre as Discromatopsias.....	40
3.3. TESTES DE AVALIAÇÃO CROMÁTICA.....	40
3.3.1. Teste de Ishihara.....	41
3.3.1.1. Pranchas Pseudoisocromáticas .....	41
3.3.1.2. Aplicação do Teste de Ishihara.....	42
3.3.2. Teste de Nomeação de Cores (TNC).....	43
3.3.3. Teste da American Optical Hardy-Rand-Rittler (AO-HRR).....	43
3.3.4. Testes de Arranjo de Matizes .....	44
3.3.5. Anomaloscópios .....	44
3.4. LEGISLAÇÃO DE TRÂNSITO SOBRE A PERCEPÇÃO DAS CORES .....	44
3.4.1. Legislação Nacional para a Obtenção de CNH .....	45
3.4.2. Legislação Estrangeira para a Obtenção de CNH .....	46
3.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS .....	47

4. PROCEDIMENTOS PARA AVALIAR OS CONDUTORES PORTADORES DE DISCROMATOPSIA CONGÊNITA.....	48
4.1. ETAPAS PRELIMINARES .....	48
4.1.1. Definição das Características Estudadas .....	49
4.1.2. A Busca de Parceiros.....	49
4.1.3. A Aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) .....	50
4.2. DEFINIÇÃO DA AMOSTRA .....	52
4.3. DEFINIÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS .....	55
4.3.1. Testes de Avaliação Cromática .....	55
4.3.1.1. Teste de Ishihara.....	56
4.3.1.2. Teste de Nomeação de Cores (TNC).....	57
4.3.2. Entrevista Estruturada .....	59
4.3.3. Teste de Sinalização Viária .....	60
4.3.3.1. Sinalização Semafórica .....	61
4.3.3.2. Sinalização Horizontal.....	63
4.3.3.3. Sinalização Vertical.....	64
4.3.3.4. Condições de Iluminação .....	66
4.3.4. Sequência para a Coleta de Dados.....	68
4.4. TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS .....	69
4.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS .....	69
5. ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS .....	70
5.1. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS .....	70
5.1.1. Teste de Associação Qui-quadrado ( $X^2$ ) .....	71
5.1.2. Teste de Fisher.....	73
5.1.3. Teste Mc-Nemar .....	75
5.1.4. Teste de Hipótese para Diferença de Proporções .....	75
5.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA.....	76
5.3. SOBRE A AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO CROMÁTICA.....	79
5.4. SOBRE A PERCEPÇÃO DAS CORES DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA.....	83
5.4.1. Sinalização Horizontal.....	84
5.4.2. Sinalização Vertical.....	86
5.4.3. Sinalização Semafórica.....	89
5.5. SOBRE OS MATERIAIS UTILIZADOS NA SINALIZAÇÃO VIÁRIA .....	92

5.5.1. Sinalização Horizontal.....	92
5.5.2. Sinalização vertical.....	93
5.5.3 Sinalização Semafórica.....	97
5.6. SOBRE AS SUGESTÕES DOS DALTÔNICOS .....	98
5.7. TÓPICOS CONCLUSIVOS .....	100
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	102
6.1. CONCLUSÕES .....	103
6.1.1. Diferenças entre a Dificuldade Relatada e a Dificuldade Detectada no Teste de Sinalização.....	103
6.1.2. Principais Dificuldades para a Percepção da Cores.....	103
6.1.3. Impacto dos Materiais da Sinalização sobre a Percepção das Cores.....	105
6.1.4. Principais Limitações do Trabalho .....	106
6.2. RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS .....	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	108
APÊNDICES .....	112
APÊNDICE A – CORES UTILIZADAS NA METODOLOGIA.....	113
APÊNDICE B _ TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	115
APÊNDICE C – ROTEIRO PARA ENTREVISTA .....	116
APÊNDICE D – TABULAÇÕES DOS DADOS .....	118

## LISTA TABELAS

Tabela 2.1: Padrão Münsell de cores para a sinalização vertical e horizontal .....	21
Tabela 2.2: Classificação da microesferas de vidro (modificado – Schwab, 1999).....	23
Tabela 2.3: Características dos materiais de demarcação horizontal (DAER, 2006).....	24
Tabela 2.4: Coeficientes de retrorreflexão mínimos .....	27
Tabela 2.5: Medidas de intensidade luminosa para lâmpadas de filamento.....	30
Tabela 2.6: Valores das coordenadas de cromaticidade para semáforos de lâmpada ....	30
Tabela 2.7: Semáforo Lâmpada versus Semáforo LED's (Ming, 2009).....	32
Tabela 3.1: Prevalência dos tipos de discromatopsia congênita.....	39
Tabela 3.2: Diferenças clínicas entre discromatopsias congênitas e adquiridas .....	40
Tabela 3.3: Análise do Teste de Ishihara (Ishihara, 1974) .....	42
Tabela 3.4: A percepção cromática pela legislação de trânsito estrangeira .....	46
Tabela 3.5: Exigência da percepção cromática nos Estados Unidos da América .....	47
Tabela 5.1: Elementos da tabela de contingência usados por Fisher.....	74
Tabela 5.2: Elementos da tabela de contingência usados por Mc-Nemar .....	75
Tabela 5.3: Locais comuns para a condução de veículos .....	78
Tabela 5.4: Data da CNH e tipo de teste para condutores da amostra .....	79
Tabela 5.5: Local da CNH e tipo de teste para condutores da amostra.....	80
Tabela 5.6: Categoria e tipo de teste para condutores da amostra.....	81
Tabela 5.7: Síntese do tipo de teste realizado pela amostra .....	81
Tabela 5.8: Descoberta do distúrbio em relação aos exames para habilitação.....	82
Tabela 5.9: Valores de P para as categorias de daltônicos .....	84
Tabela 5.10: Valores de p para diferenças entre Teste e Entrevista (Mc-Nemar).....	85
Tabela 5.11: Dificuldades em relação à sinalização horizontal “Teste” .....	86
Tabela 5.12: Valores de P (Fisher) para as categorias de daltônicos .....	87
Tabela 5.13: Valores de P para diferenças entre Teste e Entrevista (Mc-Nemar).....	87
Tabela 5.14: Dificuldades em relação à sinalização vertical “Teste” .....	88
Tabela 5.15: Resultados “entrevista” sinalização vertical.....	89
Tabela 5.16: Valores de P para as categorias de daltônicos .....	89
Tabela 5.17: Valores de P para diferenças entre Teste e Entrevista (Mc-Nemar).....	90
Tabela 5.18: Dificuldades em relação à sinalização semafórica “Teste” .....	90
Tabela 5.19: Resultados “entrevista” sinalização semafórica .....	91

Tabela 5.20: Valores de P para o teste de proporções (sinalização horizontal) .....	92
Tabela 5.21: Erro em relação à película do Tipo IA (Iluminação diurna).....	93
Tabela 5.22: Erro em relação à película do Tipo IA (iluminação noturna).....	94
Tabela 5. 23: Proporção de erros para a sinalização vertical.....	96
Tabela 5.24: Valores de P para o teste de proporções (sinalização vertical).....	96
Tabela 5. 25: Proporção de erros para a sinalização semafórica .....	97
Tabela 5.26: Valores de P para o teste de proporções (sinalização semafórica).....	97
Tabela 5.27: Propostas de melhoria para a sinalização viária .....	99
Tabela 5.28: Porcentagem da amostra com erros na percepção de cores da sinalização.....	100
Tabela D. 1: Respostas dos deuteranômalos para as questões de 1 a 4.....	118
Tabela D. 2: Respostas dos protanômalos para as questões de 1 a 4 .....	118
Tabela D. 3: Respostas dos deuteranopes para as questões de 1 a 4 .....	118
Tabela D. 4: Respostas dos protanopes para as questões de 1 a 4.....	118
Tabela D. 5: Resultados das questões 7 a 16 para os deuteranômalos .....	119
Tabela D. 6: Resultados das questões 7 a 16 para os protanômalos.....	119
Tabela D. 7: Resultados das questões 7 a 16 para os deuteranopes .....	120
Tabela D. 8: Resultados das questões 7 a 16 para os protanopes.....	120
Tabela D. 9: Resultados dos deuteranômalos para as questões 17 a 19 .....	120
Tabela D. 10: Resultados dos protanômalos para as questões 17 a 19.....	121
Tabela D. 11: Resultados dos deuteranopes para as questões 17 a 19 .....	121
Tabela D. 12: Resultados dos protanopes para as questões 17 a 19.....	121
Tabela D. 13: Propostas de melhoria para a sinalização viária .....	122
Tabela D. 14: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 1 a 5.....	123
Tabela D. 15: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 6 a 10.....	124
Tabela D. 16: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 11 a 15.....	125
Tabela D. 17: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 16 a 20.....	126
Tabela D. 18: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 21 a 25.....	127
Tabela D. 19: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 26 a 30.....	128
Tabela D. 20: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 30 a 32.....	129

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Distância de visibilidade pela cor da roupa (Adura e Sabbag, 2007) .....	3
Figura 1.2: Distância de parada (Adura e Sabbag, 2007) .....	4
Figura 1.3: Cores de carros e riscos de acidentes (Oka, 2008).....	4
Figura 1.4: Relação entre cores e acidentes com motos (Oka, 2008).....	5
Figura 2.1: Frequências do espectro eletromagnético (modificado – Bertulani, 2009) .	18
Figura 2.2: Diagrama CIE (modificado – Bertulani, 2009).....	19
Figura 2.3: Sistema tridimensional de Münsell (modificado – Guimarães, 2000).....	20
Figura 2.4: Cores dos LED's pela combinação de cristais (Ming, 2009).....	31
Figura 3.1: O olho humano (Carvalho, 2006) .....	35
Figura 3.2: Sensibilidade dos cones (Gonçalves, 2004).....	36
Figura 4.1: Setor de oftalmologia do HUB .....	53
Figura 4.2: Sala utilizada para a coleta de dados.....	53
Figura 4.3: Resultado da estratégia de divulgação para a formação do grupo de amostra... .....	55
Figura 4.4: Exemplos de pranchas do teste de Ishihara (modificada - Pereira, 2007) ...	57
Figura 4.5: Teste de Nomeação de Cores .....	58
Figura 4.6: Semáforo de LED's com o foco vermelho aceso.....	66
Figura 4.7: Semáforo de lâmpada com o foco vermelho aceso.....	66
Figura 4.8: Tinta a base de resina acrílica .....	67
Figura 4.9: Termoplástico do tipo extrudado .....	67
Figura 4.10: Películas tipo IA.....	65
Figura 4.11: Películas tipo III.....	66
Figura 4.12: Películas tipo X.....	66
Figura 4.13: Dispositivo de sinalização vertical.....	67
Figura 4.14: Dispositivo de sinalização horizontal.....	67
Figura 4.15: Dispositivos de sinalização semafórica.....	67
Figura 4.16: Sequência de atividades para a coleta de dados.....	68
Figura 5.1: Resultados do Teste de Ishihara.....	77
Figura 5.2: Resultado do Teste de Nomeação de Cores (TNC) .....	78
Figura A.1: Cores utilizadas para o Teste de Nomeação de cores (TNC).....	113
Figura A.2: Cores utilizadas para o teste de sinalização horizontal.....	113

Figura A.3: Cores das películas do Tipo IA.....	114
Figura A.4: Cores das películas dos Tipos III e X.....	114

## LISTA DE SIGLAS

ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA.....	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AO-HRR.....	<i>American Optical Hardy-Rand-Rittler</i>
CEP.....	Comitê de Ética em Pesquisa
CIE.....	<i>Comission Internationale d'Eclairage</i>
CNH.....	Carteira nacional de Habilitação
CNS.....	Conselho Nacional de Saúde
CONTRAN.....	Conselho Nacional de Trânsito
CTB.....	Código de Trânsito Brasileiro
CONTRAN.....	Conselho Nacional de Trânsito
DAER.....	Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem
DER.....	Departamento de Estradas e Rodagem
DETRAN.....	Departamento de Trânsito
HUB.....	Hospital Universitário de Brasília
ICO.....	<i>International Council of Ophthalmology</i>
ITE.....	<i>Institute Transportation Engineers</i>
LED's.....	<i>Light Emitting Diode</i>
SECOM.....	Secretaria de Comunicação
SI.....	Sistema Internacional de Unidades
SISNEP.....	Sistema Nacional de Informações sobre Ética em Pesquisa
TCLE.....	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TNC.....	Teste de Nomeação de Cores



# 1. INTRODUÇÃO

A visão é responsável por 95% das informações sensoriais recebidas pelo motorista durante o ato de dirigir (Aravena, 1998). O sentido da visão permite ao condutor de um veículo interpretar a sinalização viária, além de identificar o ambiente viário e seus elementos constitutivos, como pedestres e até mesmo outros veículos.

As principais características da visão que influenciam a capacidade de condução de um veículo são a mobilidade ocular intrínseca e extrínseca, a acuidade e o campo visual, a visão estereoscópica, a sensibilidade luminosa e a percepção cromática (Adura e Sabbag, 2007). O senso cromático torna o condutor capaz de perceber e distinguir as várias cores presentes no sistema viário. A percepção das cores habilita o motorista a se comunicar com os outros usuários da via por meio da capacidade de ver e ser visto no trânsito, bem como interpretar a comunicação realizada pela Engenharia de Tráfego, por meio da sinalização viária.

A dificuldade de reconhecer todas ou algumas cores é um distúrbio conhecido como discromatopsia. Caso esse distúrbio seja genético e hereditário, é chamado de discromatopsia congênita, popularmente conhecido como daltonismo (Crepaldi, 2003). Os daltônicos podem ter deficiência ou incapacidade de identificar uma ou mais cores, dependendo, respectivamente, do grau e do tipo da discromatopsia que possuem. A verificação da habilidade de reconhecimento das cores, pelos daltônicos, também depende do tipo de teste ao qual são submetidos (Sato et al., 2002).

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), o candidato à Carteira Nacional de Habilitação (CNH) deve distinguir as cores vermelha, amarela e verde para que seja aprovado na avaliação cromática. O CTB não exige o diagnóstico negativo de daltonismo nem especifica o tipo de teste a ser realizado para a avaliação cromática. Assim, alguns portadores de discromatopsia congênita se tornam habilitados a conduzir veículos.

Além da limitação da normatização brasileira para visão de cores, na literatura que trata da avaliação de motoristas não existe consenso científico a respeito da relação entre o número de acidentes de trânsito e o número de condutores portadores de discromatopsia congênita (Sato et al., 2002). No entanto, a situação especial do motorista daltônico requer uma reflexão sobre a sua relação com a segurança viária a fim de identificar possíveis mudanças

na sinalização que garantam conforto para os condutores portadores desse distúrbio, sem diminuir a qualidade da informação para as pessoas de visão normal, além de garantir segurança para toda a população.

### **1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA FACE À INFLUÊNCIA DAS CORES NO COMPORTAMENTO HUMANO DO TRÂNSITO**

Segundo Cristo (2009), a condição mais importante para influenciar o comportamento humano no trânsito é a presença de estímulos que, além de percebidos, chamem a atenção dos usuários da via. Os motoristas e pedestres podem visualizar de forma mais rápida ou mais lenta os vários elementos presentes no sistema viário, dependendo das cores em que esses elementos se apresentem. Isso ocorre porque cada cor é capaz de provocar alterações específicas no organismo humano, quando percebidas.

De acordo com Bocanera (2007), certas cores têm efeitos universais. Cores quentes como a vermelha são capazes de aumentar a pressão sanguínea, a pulsação e a respiração, excitando o sistema nervoso e causando uma sensação de proximidade. São, assim, percebidas de forma mais rápida que outras cores. Enquanto cores frias como a azul diminuem a pulsação e a temperatura corporal, aprofundam a respiração e possuem efeito calmante. Além de necessitarem de maior tempo para serem vistas, as cores frias também aumentam o tempo de resposta de seus observadores e causam uma sensação de distanciamento.

A cor, além de um significado universal compartilhado por meio da experiência, tem também valor informativo, por isso, pode ser explorada com finalidades funcionais, psicológicas, medicinais e no trânsito. As informações associadas a cada cor dependem de um processo educacional e de uma convenção cultural de determinado local ou época, capazes de inclinar o indivíduo a determinadas ações automáticas e instantâneas. Independente do país, um motorista, ao chegar a um cruzamento semafórico e se deparar com a luz vermelha acesa, sabe que deve ter a reação de parar o veículo, já que a convenção do significado das cores semafóricas é adotada internacionalmente. Castela (2004) estabelece que, na área de trânsito são relacionadas algumas cores com as

respectivas informações: vermelho – alarme, perigo; verde – segurança; amarelo – atenção e; azul – informação.

No inverno de países nórdicos, onde a noite é mais longa que o dia e grande parte do fluxo de tráfego ocorre em períodos de baixa luminosidade, são comuns estudos que relacionam as cores ao trânsito (Daros, 2007). No Brasil, apesar das condições de iluminação pública ao longo das vias não serem sempre satisfatórias, pouco se discute a relação cores/segurança viária.

Daros (2007) destaca os resultados de pesquisas realizadas na Suécia, que apontam a relação entre cores e atropelamentos, ou seja, as distâncias entre o veículo e o pedestre no momento em que ele é percebido pelo motorista, conforme as diferentes cores de suas roupas. Foram testadas as cores azul, vermelha, amarela, branca e laranja. Esta última era a única refletiva. O ambiente considerado é noturno. Após a percepção do motorista, um veículo que trafega a 96 km/h, somente consegue parar a uma distância de aproximadamente 80 metros. Portanto, nessas condições, o veículo somente não atropelaria o pedestre que veste material refletivo, os demais seriam atropelados a velocidades distintas dependendo de qual distância o condutor conseguisse percebê-los como mostra a Figura 1.1.

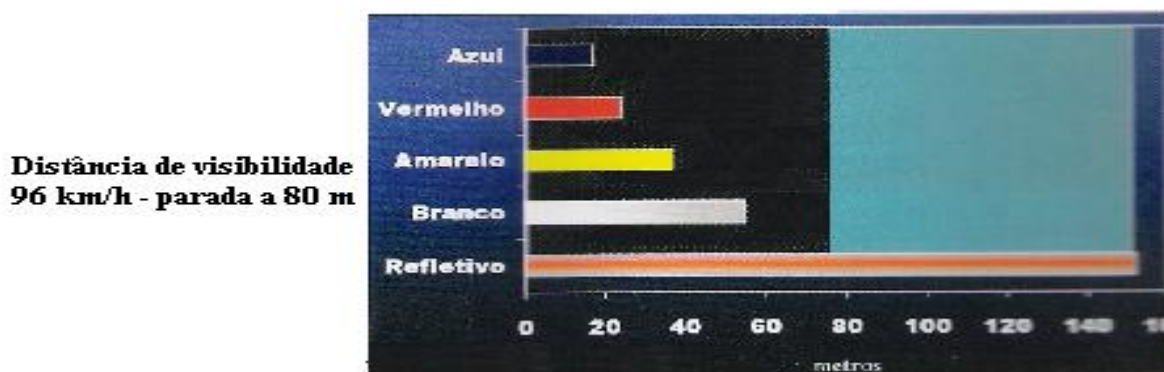


Figura 1. 1: Distância de visibilidade pela cor da roupa (Adura e Sabbag, 2007)

A Figura 1.2 ilustra o caso de um veículo que trafega a 60 km/h e cujo condutor inicia o processo de parada ao avistar um pedestre a uma distância de 40 metros. O motorista consegue reduzir a velocidade do veículo para 44 km/h. Assim, como o pedestre que veste

roupa da cor amarela só consegue ser percebido pelo condutor a distância de 40 metros (Figura 1.1), ou o veículo ou o pedestre precisariam realizar uma manobra evasiva para evitar o atropelamento.

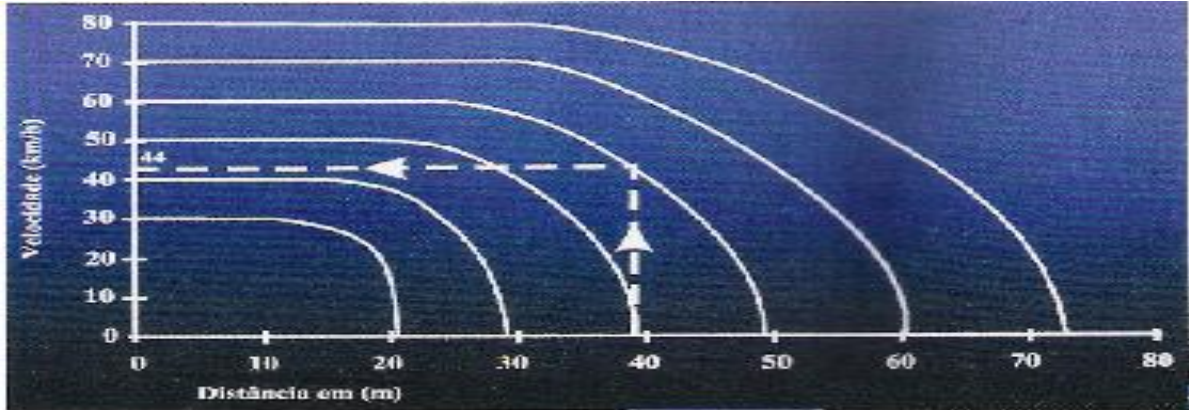


Figura1. 2: Distância de parada (Adura e Sabbag, 2007)

De acordo com Oka (2008), pesquisa realizada na Austrália mostra que a cor do veículo também tem relação com os riscos de acidentes. Em comparação com o veículo branco, quando considerados todos os períodos do dia, as cores que apresentam maior risco de acidentes são a cinza e a prata, seguidas da vermelha, da azul e da verde, como mostra a Figura 1.3.



Figura 1. 3: Cores de carros e riscos de acidentes (Oka, 2008)

No estudo, foram analisados mais de 850 mil acidentes de dois estados australianos, no período de 1987 a 2004. Diversos fatores foram levados em consideração como o estado onde ocorreu, a condição da iluminação, o tipo de veículo e a severidade da lesão provocada pelo acidente. As cores dos veículos foram agrupadas em 17 tipos diferentes. Veículos comerciais, predominantemente brancos, e táxis, na maioria amarelos, foram excluídos pelo uso diferenciado e por não oferecerem uma diversidade de cores que permitisse a comparação.

Outra pesquisa relatada por Oka (2008), realizada na Nova Zelândia, no ano de 2004, estudou os acidentes relacionados às cores dos coletes e capacetes dos condutores de motocicletas, bem como ao uso do farol. Foram analisados mais de 2000 casos por meio de entrevista. O resultado demonstrou que motociclistas com vestes refletivas apresentaram um risco de acidentes 37% menor que aqueles que não usavam esse tipo de roupa. Quem usava um capacete branco apresentou um risco de acidente 24% menor que aqueles que usavam capacete preto. A circulação com farol aceso resultou em um risco de acidentes 27% menor do que aqueles que circulavam com o farol apagado. Os resultados dessa pesquisa podem ser visualizados na Figura 1.4 (Oka, 2008).

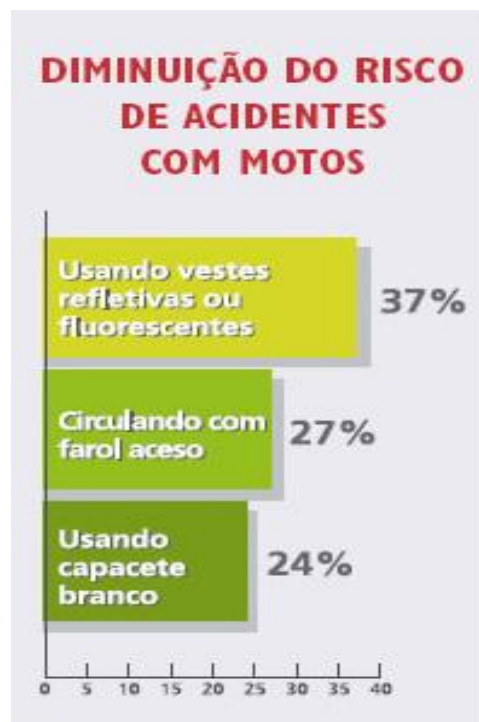


Figura 1. 4: Relação entre cores e acidentes com motos (Oka, 2008)

Os estudos que relacionam cores à segurança viária têm por finalidade mostrar o importante papel exercido pelas cores no comportamento do homem no trânsito. É certo

que as ações de motoristas e pedestres dependem, além das cores, de vários outros fatores como educação, ambiente, fiscalização. No entanto, a capacidade de perceber as cores influencia no modo como o motorista atua no trânsito e no tempo de reação em situações que coloquem em risco sua segurança e a de outros usuários da via.

A cor dos sinais de trânsito está diretamente relacionada à função de cada subsistema da sinalização. No Brasil, quando o motorista avista uma determinada placa de trânsito, pela sua cor é possível ele saber se a mensagem faz referência a uma regulamentação, uma advertência ou uma indicação, antes mesmo de ler o sinal ou legenda impressa naquela placa. Portanto, a cor, dentre outros aspectos, contribui para que a sinalização viária possa ser compreendida pelo condutor.

Assim, pelo fato das cores fornecerem informações fundamentais para o motorista no processo de direção de um veículo ao longo da via, é importante verificar se os condutores portadores de discromatopsia congênita (em princípio aprovados em um teste de identificação das cores vermelha, verde e amarela) têm dificuldades no reconhecimento das cores usadas na sinalização semafórica, vertical e horizontal.

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

Segundo Vespucci (2009), apesar de não haver pesquisas significativas que quantifiquem o número de daltônicos no Brasil, estima-se que 10% dos homens e 1% das mulheres sejam portadores do distúrbio. Conhecer melhor as necessidades e dificuldades dos daltônicos fornece subsídios para integrá-los, de forma mais segura, ao sistema de trânsito.

A avaliação da interpretação da sinalização viária, pelos motoristas daltônicos, é fundamental para a criação de medidas que visem eliminar possíveis barreiras de comunicação no trânsito e estabelecer mecanismos e alternativas técnicas que tornem a sinalização viária acessível a esse tipo de condutor, contribuindo para a promoção da segurança a todos os usuários do sistema viário.

Como o CTB não especifica o tipo de teste cromático a ser adotado, fica a critério dos profissionais de saúde a escolha dos métodos para a verificação da capacidade do motorista de identificar cores. Adura e Sabbag (2007) recomendam a utilização de avaliações

realizadas por meio de sinais luminosos, lâmpadas coloridas, cartolinas e novelos de lã aos médicos peritos examinadores de candidatos a motorista. No entanto, é necessário determinar quais testes conseguem reproduzir o ambiente viário e suas situações de risco, a fim de garantir o aperfeiçoamento da legislação atinente à obtenção da CNH.

Considerando a relevância da interpretação da sinalização viária para a promoção da segurança no trânsito, o tema proposto pretende avaliar a percepção das cores da sinalização pelos motoristas portadores da discromatopsia congênita, ou seja, o daltonismo. O questionamento a respeito da legislação de trânsito afeta aos exames de avaliação cromática pode revelar a necessidade de readequação das normas existentes, de modo a sugerir a padronização dos testes e da sinalização. Se, por um lado, a legislação nacional contém indefinições, por outro, a produção acadêmica se mostra incipiente, não atendendo as necessidades dos daltônicos na condição de condutores (Sato et al. 2002).

### **1.3. HIPÓTESE**

Características do ambiente ou dos materiais utilizados no acabamento dos dispositivos de sinalização viária podem influenciar a capacidade de percepção cromática dessa sinalização por condutores portadores de discromatopsia congênita.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. Objetivo Geral**

- Realizar um estudo exploratório sobre a capacidade dos condutores portadores de discromatopsia congênita em perceber as cores da sinalização viária, visando contribuir para a inclusão segura desses condutores no trânsito.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

São objetivos específicos do presente trabalho:

- identificar as principais limitações apresentadas por condutores portadores de daltonismo no reconhecimento das cores da sinalização vertical, horizontal e semafórica;
- avaliar a diferença de percepção das cores, por condutores daltônicos, em relação aos principais materiais de acabamento utilizados na sinalização viária;
- averiguar a capacidade de percepção das cores dos sinais de trânsito, pelos condutores portadores de discromatopsia congênita, em diferentes condições de iluminação do ambiente.

## **1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação estrutura-se em seis capítulos. O Capítulo 1 buscou contemplar a relação das cores como veículo de comunicação no trânsito, apresentando relatos de alguns estudos que associam as cores à incidência e à gravidade dos acidentes de trânsito, expondo, além do problema, a justificativa, a hipótese e os objetivos da pesquisa.

No Capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre a sinalização viária. São definidas as funções e as cores da sinalização vertical, horizontal e semafórica, bem como caracterizados os critérios para a visibilidade dos sinais de trânsito relacionados aos fenômenos físicos da luz e à padronização de cores. Também foram estudados os principais materiais constituintes da sinalização e os requisitos técnicos necessários para a utilização e classificação desses materiais.

No Capítulo 3, é apresentada uma revisão bibliográfica sobre a questão da percepção cromática. São descritos o processo de captação das cores pelo sistema visual humano e os distúrbios no funcionamento desse mecanismo, com enfoque na discromatopsia congênita, as classificações, a incidência e os métodos de diagnóstico do daltonismo. Ainda sobre a percepção das cores, foram abordados os aspectos legais para obtenção do direito de dirigir no Brasil e em outros países.

O Capítulo 4 se refere à metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa de campo da presente dissertação. Apresentam-se os procedimentos preliminares à pesquisa como a busca de parcerias, o processo de definição dos parâmetros avaliados e da



amostrada estudada. Por último, são descritos os métodos utilizados para a obtenção de dados.

O Capítulo 5 apresenta a análise dos dados obtidos. Busca-se compreender a interpretação dos condutores daltônicos em relação a diferentes materiais usados na sinalização, sob dois tipos de iluminação, considerando, ainda, o tipo e o grau de severidade da discromatopsia congênita.

Por último, o Capítulo 6 apresenta as conclusões e considerações finais da pesquisa realizada. São indicadas, também, recomendações para futuras pesquisas com o intuito de tornar o trânsito mais seguro para todos os usuários do sistema viário, incluindo os condutores portadores de daltonismo.

## **2. SINALIZAÇÃO VIÁRIA**

Neste capítulo são apresentadas as principais características da sinalização vertical, horizontal e semafórica, os requisitos necessários para a escolha dos materiais de acabamento utilizados nos sinais de trânsito, bem como alguns conceitos de iluminação e cores, que interferem na visibilidade, identificação e interpretação dos sinais viários pelos condutores e, conseqüentemente, na segurança do trânsito.

A sinalização viária é um conjunto de sinais de trânsito colocados ao longo da via com o objetivo de transmitir ao usuário restrições, indicações e regulamentações, que promovem a fluidez do fluxo viário, aumentam a segurança e servem como forma de comunicação da Engenharia viária com todos os usuários do sistema viário (Dias, 2005). A sinalização viária é constituída pelos seguintes subsistemas: sinalização vertical (regulamentação, advertência e indicação), sinalização horizontal, sinalização semafórica e sinalização de obras e dispositivos auxiliares. O subsistema de sinalização de obras e dispositivos auxiliares não será abordado no presente trabalho.

A interpretação da sinalização é indispensável para a segurança viária. A função dos diferentes subsistemas da sinalização é caracterizada, dentre outros aspectos, pela cor dos símbolos e sinais de trânsito. A sinalização viária possui normas de padronização das cores para facilitar a visualização e interpretação de cada subsistema por condutores e por pedestres.

### **2.1. SINALIZAÇÃO VERTICAL**

A sinalização vertical é um subsistema da sinalização viária e tem a finalidade de transmitir mensagens mediante símbolos ou legendas pré-estabelecidas e legalmente instituídas. A informação é aposta sobre placas fixadas na posição vertical, ao lado da pista ou suspensas sobre ela (CONTRAN, 2007a, 2007c).

As mensagens transmitidas pela sinalização vertical têm o objetivo de orientar os usuários da via sobre ações adequadas que devem ser adotadas de modo a ordenar os fluxos de tráfego e aumentar a segurança.

De acordo com as mensagens transmitidas, a sinalização vertical pode ser classificada em:

- sinalização vertical de regulamentação: suas mensagens são imperativas e seu desrespeito constitui infração. Comunicam ao usuário condições, proibições, restrições ou obrigações no uso da via urbana ou rural;
- sinalização vertical de advertência: suas mensagens possuem caráter de recomendação. Alertam os usuários da via para condições potencialmente perigosas, indicando sua natureza;
- sinalização vertical de indicação: suas mensagens possuem caráter informativo ou educativo. Educam o condutor e o ajudam em seu deslocamento, indicando direções, localizações, pontos de interesse turístico ou de serviços auxiliares.

### **2.1.1. Utilização das Cores nos Sinais Verticais**

A utilização das cores deve ser feita seguindo os critérios estabelecidos pelo Padrão Münsell de cores. As placas da sinalização vertical podem apresentar sete cores (Dias, 2005):

- vermelha: orla e tarja dos sinais de regulamentação em geral, fundos de placa R-1 (Parada obrigatória);
- verde: fundo das placas de indicação para orientação do destino;
- azul: fundo das placas de indicação de serviços auxiliares, turísticos, destinos de cidades, zonas de interesse de tráfego, identificação de pontes, viadutos, córregos, rios, lagos, limite de município e marcos quilométricos;
- amarela: fundo de todas as placas de advertência;
- preta: utilizada nos símbolos e nas legendas das placas de regulamentação, advertência e indicativa e obras;
- branca: utilizada no fundo das placas de regulamentação, indicativas, educativas; nas legendas e orlas internas das placas R-1;
- laranja: fundo das placas de sinalização de advertência e orientação, somente em obras;

- marrom: utilizada no fundo de placas indicativas de atrativos turísticos.

## **2.2. SINALIZAÇÃO HORIZONTAL**

A sinalização horizontal é um subsistema da sinalização viária onde se utilizam linhas, marcações, símbolos e legendas, pintados ou apostos sobre o pavimento das vias. Tem como objetivo ordenar o fluxo de veículos e pedestres, orientar o deslocamento de veículos em função de condições físicas da via como geometria, topografia, obstáculos e, ainda, complementar a sinalização vertical (CONTRAN, 2007b).

O padrão de traçado e a forma de colocação na via definem os diversos tipos de sinais horizontais. De acordo com o padrão de traçado as linhas podem ser contínuas ou seccionadas e, ainda, apresentar-se na forma de legendas ou símbolos, escritos ou desenhados no pavimento. Assim, a sinalização horizontal classifica-se em:

- marcas longitudinais: separam e ordenam as correntes de tráfego;
- marcas transversais: ordenam os deslocamentos frontais de veículos, harmonizando-os com o deslocamento de outros veículos e de pedestres;
- marcas de canalização: orientam os fluxos de tráfego em uma via;
- marcas de delimitação e controle de parada e/ou estacionamento: delimitam e propiciam o controle das áreas onde é proibido ou regulamentado o estacionamento e/ou a parada de veículos na via;
- inscrições no pavimento: melhoram a percepção do condutor quanto as características de utilização da via.

### **2.2.1. Utilização das Cores nos Sinais Horizontais**

A utilização das cores na sinalização horizontal deve ser feita sob os critérios estabelecidos pelo Padrão Münsell de cores. A sinalização horizontal se apresenta em cinco cores, cada qual com suas funções específicas (CONTRAN, 2007b):

- amarela: utilizada na regularização de fluxos de sentidos opostos, na regulamentação de ultrapassagem e deslocamento lateral, na delimitação de espaços proibidos para estacionamento e/ou parada e na demarcação de obstáculos transversais à pista;

- vermelha: utilizada na demarcação de ciclovias ou ciclofaixas e na inscrição de símbolos (cruz) em hospitais e farmácias;
- branca: utilizada na regularização de fluxos de mesmo sentido; na delimitação de áreas de circulação e trechos de pistas destinados ao estacionamento de veículos especiais; na marcação de faixas de travessia de pedestres, linhas de transposição e de ultrapassagem, linhas de retenção e de “Dê a preferência” e na inscrição de setas, símbolos e legendas;
- azul: utilizada na inscrição de símbolos em áreas especiais de estacionamento ou parada para o embarque e o desembarque de pessoas portadoras de necessidades especiais;
- preta: não constitui propriamente uma cor de sinalização horizontal, sendo utilizada para proporcionar contraste entre o pavimento e a pintura.

### **2.3. SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA**

A sinalização semafórica é um subsistema da sinalização viária, composta de luzes acionadas de forma alternada ou intermitente que, por meio de sistema elétrico/eletrônico, controla os deslocamentos. A sinalização semafórica se divide em dois tipos (CTB, 2006):

- sinalização semafórica de advertência;
- sinalização semafórica de regulamentação.

Os semáforos de advertência têm a função de advertir sobre a existência de obstáculo ou situação perigosa, devendo o condutor reduzir a velocidade e adotar as medidas de precaução compatíveis com a segurança. Esse tipo de sinalização semafórica é composto de uma ou duas luzes amarelas.

Os sinais semafóricos de regulamentação têm a função de efetuar o controle de trânsito em cruzamentos ou seções de via, por meio de indicações luminosas, alternando o direito de passagem dos vários fluxos de veículos e/ou pedestres.

Os semáforos de regulamentação compõem-se de luzes de cores pré-estabelecidas, agrupadas em um único conjunto, dispostas na vertical ao lado da via ou suspensas sobre ela, podendo, nestes casos, serem fixadas na horizontal.

### **2.3.1. Utilização das Cores na Sinalização Semafórica de Regulamentação**

As cores utilizadas para o controle do fluxo de pedestres são:

- vermelha: indica que o pedestre não pode atravessar;
- vermelha e verde intermitente: assinalam que a fase durante a qual podem passar os pedestres está a ponto de terminar. Isso indica que os pedestres não poderão começar a cruzar a via e os pedestres que já tenham iniciado a travessia durante o tempo de verde se desloquem o mais breve possível para o refúgio seguro mais próximo;
- verde: assinala que os pedestres podem passar.

As cores utilizadas para o controle do fluxo de veículos são:

- vermelha: indica obrigatoriedade de parar;
- amarela: indica atenção e parada, desde que não haja risco com relação aos veículos que venham atrás;
- verde: indica permissão de prosseguir na marcha, efetuando o condutor a operação indicada pelo sinal luminoso.

## **2.4. VISIBILIDADE DOS SINAIS DE TRÂNSITO**

Um dos princípios básicos da sinalização é o da visibilidade e legibilidade. A legibilidade, nesse caso é definida como a capacidade de um determinado sinal ser lido e entendido (CONTRAN, 2007a, 2007b, 2007c). A visibilidade por sua vez, é definida como a capacidade de um sinal ser visto, chamando a atenção de condutores e pedestres, fornecendo informações prévias antes mesmo que a leitura seja realizada (Schwab, 1999). A eficiência desse princípio permite aos usuários da via a adoção de um comportamento adequado e tomada de decisão em tempo hábil.

### **2.4.1. Critérios de Visibilidade**

Vários critérios determinam a visibilidade da sinalização viária. De acordo com DAER (2006), a eficiência da visibilidade depende da colocação correta dos sinais, clareza da

mensagem e educação para o entendimento por parte do usuário. Schwab (1999) aponta ainda, a conspicuidade, ou seja, a capacidade de um objeto ser notado em relação ao plano de fundo em que se encontra; a retrorreflexão, a intensidade luminosa. Segundo o CONTRAN (2007a, 2007b, 2007c), outro critério de visibilidade é com relação à cor especificada pela cromaticidade, na sinalização semaforica, e pelo Padrão Münsell, na sinalização vertical e horizontal.

Os critérios relacionados à luz e à cor como a retrorrefletância, a intensidade luminosa e a cromaticidade, além de permitir a visibilidade dos sinais de trânsito em situações de pouca iluminação, interferem diretamente na escolha dos materiais utilizados na sinalização viária (ABNT, 2007a, 2007b). A seguir serão abordados alguns conceitos básicos, bem como os fenômenos físicos que se relacionam com a luz.

#### **2.4.2. Conceitos Básicos**

A luz é uma onda eletromagnética, cujo comprimento é determinado em função da divisão de sua velocidade por sua frequência. O comprimento de onda define a cor pela qual a luz é percebida. Fontes luminosas brancas possuem todos os comprimentos de onda, enquanto uma fonte luminosa colorida tem um comprimento de onda dominante que define o seu matiz (Bertulani, 2009).

As principais grandezas relacionadas à luz e suas unidades de medida de acordo com o Sistema Internacional de Unidades – SI são (Dias, 2005):

- **fluxo luminoso:** energia liberada por uma fonte de luz em todas as direções, capaz de estimular a retina ocular do ser humano, produzindo uma sensação luminosa. Também pode ser compreendido como a quantidade de energia emitida ou recebida por uma superfície em um determinado intervalo de tempo. É avaliado segundo os critérios de eficiência luminosa por meio da unidade de medida lúmen (lm);
- **intensidade luminosa:** a medida de percepção da potência emitida por uma fonte luminosa em uma determinada direção. A representação de intensidade luminosa é feita por um cone contendo a direção da luz dentro de um ângulo. A unidade SI para a medida de intensidade luminosa é a candela (cd). A intensidade luminosa é um fator fundamental na sinalização semaforica, pois se refere à capacidade de emissão de luz

pela lâmpada ou LED. Assim, as normas técnicas que estabelecem os padrões semaforicos utilizam a intensidade luminosa como parâmetro para a qualidade desse subsistema.

- coeficiente de intensidade luminosa: quantidade de intensidade luminosa que sai de um retrorrefletor (candelas) pela quantidade de luz (lux) que vem de uma fonte. A unidade de medida utilizada para determinar esse coeficiente é cd/lx;
- luminância ou brilho: é a quantidade de luz recebida pelo olho, proveniente de uma superfície que está refletindo luz. Sua unidade de medida é a candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ );
- iluminação: quantidade de luz em uma área iluminada por um fluxo luminoso. Sua unidade de medida é o lux (lx). Assim, se um fluxo luminoso de 1 lm incidir em uma área de  $1\text{ m}^2$ , a iluminação dessa área é de 1 lx.

### **2.4.3. Fenômenos Físicos da Luz**

Ao incidir em uma superfície, a luz pode sofrer absorção, refração ou reflexão. Na absorção, a luz é absorvida pela própria superfície em que incidiu. Na refração, a luz atravessa a superfície e passa para um meio de índice de refração diferente. Na reflexão, a luz retorna ao meio que a emitiu. O fenômeno da reflexão permite que objetos que não possuem luz própria possam ser vistos, não pela luz que emitem, mas sim por aquela que refletem (Garrocho, 2005).

#### **2.4.3.1. Tipos de Reflexão**

Há três tipos de reflexão: especular, difusa e retrorreflexão. Na reflexão especular, a luz incide em uma superfície totalmente lisa sendo refletida em uma direção oposta, de mesmo ângulo da fonte que a emitiu. Na reflexão difusa, a luz incide em uma superfície rugosa sendo refletida em várias direções de forma desordenada. Na retrorreflexão, a luz, após incidir sobre uma superfície é redirecionada na direção da fonte que a emitiu (Dias, 2005).



#### 2.4.3.2. Retrorreflexão

A retrorreflexão da luz é uma propriedade das microesferas de vidro e das lentes prismáticas. Esse fenômeno permite que a luz incidente nos sinais de trânsito, principalmente dos faróis dos veículos, retornem aos condutores. A grande importância desses materiais está no fato de contribuir para a visibilidade desses sinais em situações de pouca luminosidade como noite, neblina, iluminação pública insatisfatória.

A retrorreflexão está relacionada diretamente ao bom estado de conservação das películas refletivas e das tintas utilizadas na sinalização horizontal. A sinalização viária quando não recebe os devidos cuidados de manutenção tende a diminuir sua retrorreflexão e aumentar a reflexão difusa, dificultando a visualização dos sinais e de suas cores, pelos condutores (ABNT, 2007b).

#### 2.4.3.3. Coeficiente de Retrorreflexão

O coeficiente de retrorreflexão ou retrorrefletividade é a capacidade que tem um retrorrefletor de refletir a luz. É um parâmetro que define a visibilidade noturna dos sinais horizontais e verticais.

É medido pela razão entre o coeficiente de intensidade luminosa e a área iluminada (Dias, 2005). Portanto, a unidade de medida para o coeficiente de retrorrefletividade é candela por lux por metro quadrado ( $\text{cd/lx/m}^2$ ).

Padrões de coeficiente de retrorreflexão são descritos pela ABNT (2007b) para classificar as películas e tintas refletivas existentes e estabelecer quais delas devem ou não ser utilizadas na sinalização vertical e horizontal.

#### 2.4.3.4. Angularidade de Retrorreflexão

É a habilidade que um material tem de apresentar um bom desempenho numa variação de ângulos a partir da perpendicular. Os ângulos considerados para a retrorrefletividade são: o ângulo de incidência e o ângulo de observação (Schwab, 1999).

O ângulo de incidência é o ângulo formado pelo feixe de luz incidente e a perpendicular à superfície refletiva. Esse ângulo varia conforme a distância entre o veículo e o sinal de trânsito e conforme a geometria da via.

O ângulo de observação é o ângulo formado pelo raio de luz incidente na superfície retrorrefletiva e o raio de luz refletido que chega ao olho do observador. Esse ângulo varia de acordo com a distância entre o veículo e o sinal e com a altura de visão do motorista em relação ao farol esquerdo do veículo. A luz retrorrefletida em direção ao condutor é distribuída na forma de um cone estreito, denominado cone de visão.

#### 2.4.4. Cromaticidade

A cromaticidade é a tonalidade que uma cor possui dentro do espectro de cores percebido pelo olho humano. As diferentes cores, ou espectros luminosos, que podem ser percebidos pelo sistema visual humano correspondem a uma pequena faixa de frequências do espectro eletromagnético, que inclui as ondas de rádio, microondas, os raios infravermelhos e os raios X, como mostrado na Figura 2.1.

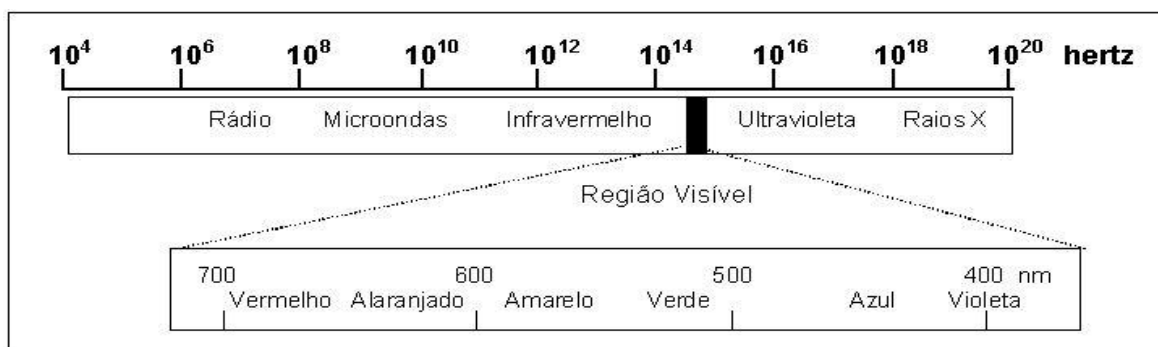


Figura 2. 1: Frequências do espectro eletromagnético (modificado – Bertulani, 2009)

A frequência de ondas (hertz) visíveis pelo olho humano vai desde a vermelha à violeta, descritas pelo seu comprimento de onda ( $\lambda$ ) e especificadas, tipicamente, em nanômetros (nm).

Na sinalização vertical e horizontal, as cores são especificadas pelo Padrão Münsell. Para definição da cromaticidade na sinalização semafórica, a ABNT (2007a) toma como base o

diagrama de cromaticidade desenvolvido em 1931 pela *Comission Internationale d'Eclairage* (CIE).

#### 2.4.4.1. Diagrama CIE

O diagrama CIE é usado como referência padrão para a definição de cores (Bertulani, 2009) por meio de duas coordenadas (x) e (y) chamadas coordenadas de cromaticidade, como ilustrado na Figura 2.2.

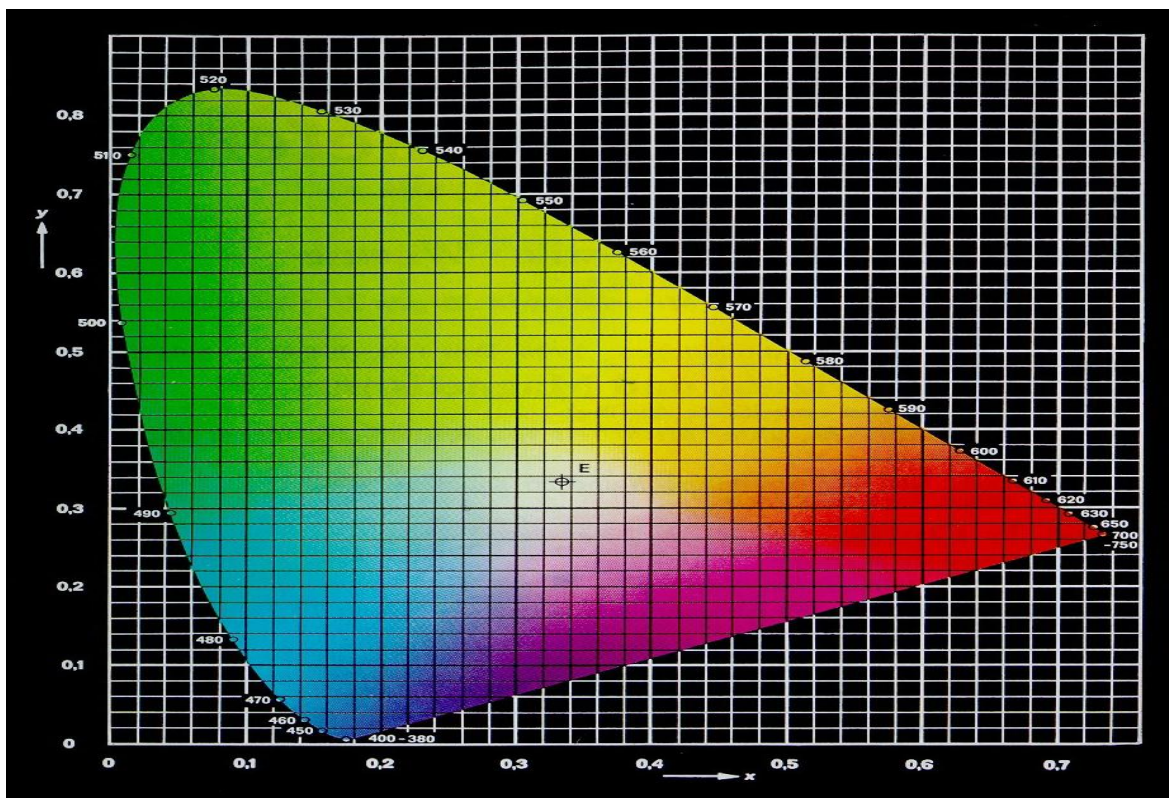


Figura 2. 2: Diagrama CIE (modificado – Bertulani, 2009)

A luz é definida pelo comprimento de onda dentro do espectro de luz visível pelo olho humano. O ponto E da Figura 2.2 representa o local onde a luz é branca e  $x = y = 1/3$ . As coordenadas de cromaticidade da luz, emitida pelos semáforos, devem ficar no interior das regiões verde, vermelha e amarela.

#### 2.4.4.2. Padrão Munsell

Em diversos países, inclusive o Brasil, a sinalização vertical e horizontal é baseada num sistema de cor específico, conhecido como Padrão Munsell. Albert H. Munsell, na primeira década do século XX, criou um sistema tridimensional, como mostra a Figura 2.3, para especificar uma determinada cor de acordo com suas três principais características: matiz (*H-hue*), disposta em um eixo circular; saturação (*C-chroma*), em um eixo radial e; luminosidade (*V-value*), situada no eixo vertical (Guimarães, 2000). Essas características são os principais fatores observados em uma cor para análise da percepção humana da sinalização viária (Gao et al., 2005).

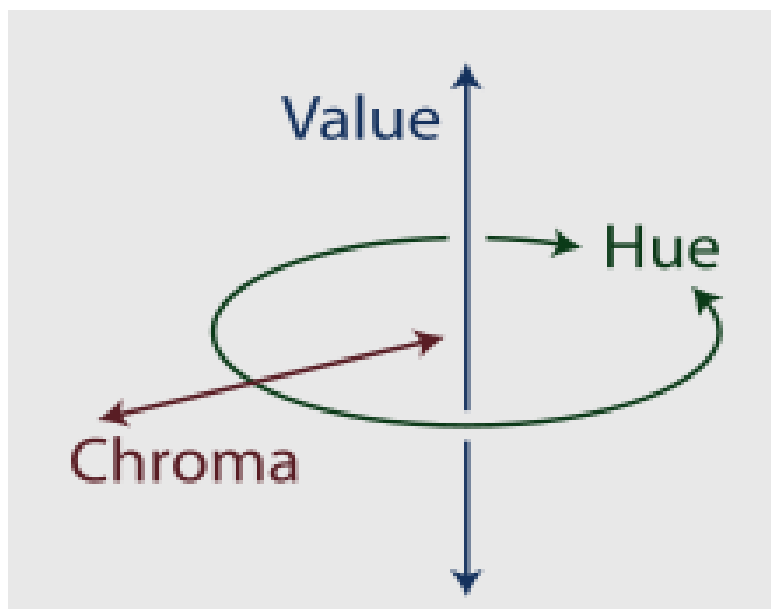


Figura 2. 3: Sistema tridimensional de Munsell (modificado – Guimarães, 2000)

No sistema de Munsell, portanto, as cores são representadas pelo formato H V/C. Assim, a cor 7,5 R 4/14, utilizada na sinalização vertical brasileira, pode ser especificada da seguinte forma: 7,5 R é o código da cor vermelha, 4 significa luminosidade próxima da média e saturação 14 indica alto grau de pureza.

O matiz é a cor propriamente dita. O conjunto de matizes é composto de cinco cores base: vermelho (R), amarelo (Y), verde (G), azul (B) e violeta (P) e cinco cores derivadas: laranja (YR), verde-amarelo (GY), azul-verde (BG), azul-violeta (PB) e vermelho-violeta (RP). Cada matiz está distante 10 graus um do outro, por isso a escala do matiz vai de 1 a

10, onde o 5 representa uma cor primária enquanto os demais valores representam cores secundárias.

A saturação é a pureza da cor. Assim, quanto mais pura uma cor, mais saturada ela será. Pode-se diminuir a saturação de uma cor misturando-a com a cinza. A escala de saturação vai de 1 a  $n$  valores, onde “ $n$ ” depende do matiz. Uma saturação de valor 10 é considerada alta para a maioria das cores.

A luminosidade diz respeito à quantidade de luz que incide sobre a cor. Varia em uma escala de 1 a 9. Quanto mais branco se acrescenta a uma cor, mais luminosa ela se torna, e, quanto mais preto se adiciona, mais escura ela fica. Assim, na escala considerada o valor 10 representa o branco e o valor 0 a cor preta. As cores branca e preta são consideradas neutras, sendo representadas pela letra N.

As cores utilizadas na sinalização vertical e horizontal definidas pelo Padrão Münsell são visualizadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Padrão Münsell de cores para a sinalização vertical e horizontal (modificado - CONTRAN, 2007a, 2007b e 2007c)

<b>Cores</b>	<b>Padrão Münsell</b>
Vermelha	7,5 R 4/14
Verde	10 G 3/8
Azul	5 PB 2/8
Amarela	10 YR 7,5/14
Preta	N 0,5
Branca	N 9,5
Laranja	2,5 YR 6/14
Marrom	10 R 3/8

## **2.5. MATERIAIS UTILIZADOS NA SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO**

As marcas viárias devem ser visíveis sob qualquer grau de luminosidade. Para proporcionar melhor visibilidade noturna, os materiais utilizados na confecção da sinalização horizontal devem ser retrorrefletivos (DAER, 2006).

Para a sinalização vertical, apesar de a retrorreflexão ser um fator fundamental, o CONTRAN (2007a) prevê, também, a possibilidade das placas serem luminosas (dotadas de iluminação interna) ou iluminadas (dotadas de iluminação externa frontal) e recomenda o uso das placas retrorrefletivas, luminosas ou iluminadas para os locais onde a iluminação pública não seja satisfatória.

A sinalização semafórica não depende do fenômeno da retrorreflexão, pois os semáforos emitem luz própria para exercerem sua função. O elemento responsável pela geração de luz nos semáforos pode ser uma lâmpada de filamento incandescente, uma lâmpada de filamento halógena ou um conjunto de LED's.

### **2.5.1. Microesferas de Vidro**

As microesferas de vidro podem estar agregadas aos materiais utilizados na demarcação horizontal e a algumas películas retrorrefletivas dos sinais verticais. São responsáveis pela capacidade de retrorreflexão desses materiais.

São geralmente fabricadas com vidro tipo soda-cal-sílica ( $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ ), com teor de sílica superior a 65%. O vidro plano é moído e submetido à temperatura de 1200°C, à velocidade regulada, transformando-o em microesferas (Schwab, 1999).

#### **2.5.1.1. Classificação**

Para a sinalização horizontal, as microesferas de vidro são classificadas, de acordo com o uso, conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Classificação da microesferas de vidro (modificado – Schwab, 1999)

Características	Microesferas de vidro					Esferas de vidro		
	Tipo I		Tipo II			Tipo III		
	A	B	A	C	D	B	A	B
Material	Massas termo-plásticas	Tinta	Tintas Extrudados Aspergidos			Tinta camada úmida menor ou igual a 0,4mm	Tintas	Extrudados Aspergidos
Aplicação	Prévia	Prévia	Conco-mitante			Conco-mitante	Conco-mitante	Concomitante
Retror-refletorização	Após desgaste	Após desgaste	Imediata			Imediata	Imediata	Imediata
Diâmetro (mm)	0,850 a 0,075	0,3 a 0,063	0,850 a 0,075			0,6 a 0,15	2,00 a 0,850	2,36 a 1,00

As microesferas tipo III são chamadas de esferas de vidro devido ao fato de seu diâmetro ser maior que os demais tipos. No caso da sinalização horizontal as microesferas tipo II-A, II-C e II-D podem ser aplicadas simultaneamente. Nessa situação, são utilizados 60% do tipo II-C ou II-D e 40% do tipo II-A. As esferas devem ser aplicadas de forma simultânea às microesferas do tipo II (A, C ou D), na proporção de 60% daquelas para 40% destas.

#### 2.5.1.2. Condições Específicas

Segundo DER/MG (2006), as condições específicas das microesferas de vidro recomendadas pela ABNT são:

- resistência ao cloreto de cálcio, ao ácido clorídrico, à água e à solução de sulfeto de sódio;
- teor de sílica: 65% mínimo;
- índice de refração: 1,5 mínimo;
- densidade de massa: 2,3 a 2,6 g/cm<sup>3</sup>
- esfericidade: 75% mínimo;
- granulometria: diâmetros variam de 2,36 a 0,063 mm

## 2.5.2. Materiais Utilizados na Sinalização Horizontal

Os vários materiais utilizados na demarcação horizontal são misturados a microesferas de vidro responsáveis pela retroreflexão das marcas viárias feita no pavimento. As principais características dos materiais de demarcação horizontal podem ser visualizadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Características dos materiais de demarcação horizontal (DAER, 2006)

Materiais	Tinta Resina Livre		Tinta Resina Acrílica (solvente)		Tinta resina Acrílica (água)		Termoplástico Extrudado	Termoplástico Aspergido	Elastoplástico Ou Fx. Pré fabricada
	Características								
Estado físico (natural)	Líquido		Líquido		Líquido		Sólido	Sólido	Sólido
Estado físico (aplicação)	Líquido		Líquido		Líquido		Pastoso	Pastoso	Sólido
Temperatura de aplicação	Ambiente		Ambiente		Ambiente		180° C (branca) 200° C (amarela)	180° C (branca) 200° C (amarela)	Ambiente
Espessura úmida (mm)	0,6	0,4	0,6	0,4	0,5	0,3	3,0	1,6	-
Espessura seca (mm)	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	3,0	1,5	1,5
Tempo de secagem (min.)	20	15	50	40	10	05	05	01	Imediata
Método de aplicação	Pistola pneumática		Pistola pneumática		Pistola pneumática		Bico extrudador ou sapatas	Pistola pneumática	Manual
Proteção ao tráfego	Indispensável		Indispensável		Indispensável		Requer pouca	Não requer	Não requer
Tipo de tráfego	Leve		Médio		Médio		Intenso	Intenso	Intenso
VDM (veíc./faixa/dia)	1.000		1.000 a 3.000		1.000 a 3.000		3.000 a 10.000	3.000 a 10.000	3.000 a 10.000
Vida útil (meses)	12	06	24	12	24	12	36	24	24

Diversos materiais podem ser empregados na demarcação dos sinais horizontais. As marcas viárias podem ser confeccionadas com os seguintes materiais (DAER, 2006):



- tintas à base de resina livre, à base de resina acrílica ou à base de resina acrílica emulsionada em água;
- termoplásticos do tipo extrudado ou aspergido;
- elastoplásticos.

A escolha do material mais apropriado para cada situação deve considerar fatores como a natureza do projeto (provisório ou permanente), volume do tráfego, qualidade e vida útil do pavimento, frequência de manutenção (CONTRAN, 2007b). Independente do material utilizado, as características de cor e refletividade devem ser as mesmas para todas as marcas.

### **2.5.3. Materiais Utilizados na Sinalização Vertical**

De acordo com o tipo de material utilizado no acabamento das placas, a sinalização vertical classifica-se em (DAER, 2006):

- retrorrefletivas: apresentam fundo, orla e sinais em película retrorrefletiva;
- semi-retrorrefletivas: apresentam o fundo pintado e apenas a orla e os sinais em película retrorrefletiva.

#### **2.5.3.1. Tintas**

Nas placas de sinalização vertical, a tinta é utilizada para cobrir o fundo de placas semi-retrorrefletivas. A pintura pode ser na forma de pó a base de resina poliéster ou poliuretano e em esmalte sintético (DER/SP, 2006). Em ambos os casos o efeito final é fosco, pois como as microesferas de vidro não estão presentes nessas tintas, a luz dos faróis dos veículos não consegue retrorrefletir no local pintado da placa. A retrorreflexão da luz só ocorre nos pontos da placa cobertos com películas retrorrefletivas.

### 2.5.3.2. Películas Retrorrefletivas

As películas utilizadas nos sinais verticais podem possuir capacidade retrorrefletiva devido ao fato de possuírem microesferas de vidro ou lentes prismáticas, como elementos constitutivos de sua composição.

#### a) Classificação

As películas retrorrefletivas são classificadas, pela ABNT (2007b), de acordo com os valores mínimos de coeficiente de retrorreflexão que apresentam. Ou seja, o que diferencia cada tipo de película retrorrefletiva é, justamente, a capacidade de retornar a luz aos observadores. Podem ser constituídas de microesferas de vidro ou lentes prismáticas.

As películas tipo I-A, I-B e tipo II são constituídas por microesferas de vidro, agregadas a uma resina sintética, espelhadas por filme metalizado e recobertas por filme plástico flexível e transparente, permitindo que os sinais apresentem a mesma cor durante o dia e durante a noite. Recomendáveis para distâncias médias e curtas em relação ao observador.

As películas tipo III, VII, IX e X são constituídas por lentes prismáticas não metalizadas, gravadas em uma resina sintética transparente e selada em uma camada de ar por uma fina camada de resina, também permitindo aos sinais apresentarem a mesma cor durante o dia e a noite. Com relação à distância entre a placa e o observador, as películas tipo VII são indicadas para distâncias médias e longas, as de tipo IX e tipo III para distâncias médias e curtas e tipo X para distâncias longas, médias ou curtas.

As películas, tipo VI e tipo VIII, são também formadas por lentes prismáticas não metalizadas, no entanto as de tipo VI não possuem necessidade de substrato sendo indicadas para uso temporário. Já nas de tipo VIII, as lentes não necessitam serem seladas por uma camada de ar, e como as películas tipo X são indicadas para longas, médias e curtas distâncias.

b) Requisitos técnicos

A principal diferença entre as películas retrorrefletivas são os valores mínimos de coeficiente de retrorreflexão que devem apresentar sob determinada angularidade. A Tabela 2.4 mostra um resumo dos coeficientes de retrorreflexão mínimos exigidos pela ABNT (2007b) para cada uma das cores dos vários tipos de películas.

Tabela 2.4: Coeficientes de retrorreflexão mínimos (modificado - ABNT, 2007b)

Tipo	Ângulos		Cores						
	Observação	Entrada	Branca	Amarela	Laranja	Verde	Vermelha	Azul	Marrom
I-A	0,2	- 4	70	50	25	9,0	14	4	1
	0,2	+ 30	30	22	7	3,5	6	1,7	0,3
	0,5	- 4	30	25	13	4,5	7,5	2	0,3
	0,5	+ 30	15	13	4	2,2	3	0,8	0,2
I-B	0,2	- 4	140	100	60	30	30	10	5
	0,2	+ 30	60	36	22	10	12	4	2
	0,5	- 4	50	33	20	9	10	3	2
	0,5	+ 30	28	20	12	6	6	2	1
II	0,2	- 4	250	170	100	45	45	20	12
	0,2	+ 30	150	100	60	25	25	11	8,5
	0,5	- 4	95	62	30	15	15	7,5	5
	0,5	+ 30	65	45	25	10	10	5,0	3,5
III	0,2	- 4	360	270	145	50	65	30	18
	0,2	+ 30	170	135	68	25	30	14	8,5
	0,5	- 4	150	110	60	21	27	13	7,5
	0,5	+ 30	72	54	28	10	13	06	3,5
VI	0,2	- 4	500	350	125	60	70	45	-
	0,2	+ 30	200	140	50	24	28	18	-
	0,5	- 4	225	160	56	27	32	20	-
	0,5	+ 30	85	60	21	10	12	7,7	-
VII	0,2	- 4	700	525	265	70	105	42	21
	0,2	+ 30	325	245	120	33	49	20	10
	0,5	- 4	240	190	90	21	38	10	7,5
	0,5	+ 30	115	86	43	10	17	5	3
VIII	0,2	- 4	700	470	280	120	120	56	-
	0,2	+ 30	400	270	160	72	72	32	-
	0,5	- 4	160	110	64	28	28	13	-
	0,5	+ 30	75	51	30	13	13	6	-
IX	0,2	- 4	380	285	145	38	76	17	-
	0,2	+ 30	215	162	82	22	43	10	-
	0,5	- 4	240	180	90	24	48	11	-
	0,5	+ 30	135	100	50	14	27	6	-
X	0,2	- 4	520	395	210	52	106	26	-
	0,2	+ 30	215	160	80	21	43	10	-
	0,5	- 4	350	230	90	31	67	18	-
	0,5	+ 30	135	100	50	14	27	6	-

### c) Nomes comerciais

As películas retrorrefletivas podem ser encontradas no mercado com os seguintes nomes (ABNT, 2007b):

- Tipo I-A – grau técnico;
- Tipo I-B – grau superengenharia;
- Tipo II – alta intensidade;
- Tipo III – alta intensidade prismática.

## **2.5.4. Materiais Utilizados na Sinalização Semafórica**

O foco semafórico é o elemento modular de um semáforo no qual é inserida uma luz para transmitir informação a condutores e pedestres. Independentemente da fonte luminosa, todo semáforo de regulamentação é constituído das seguintes partes: dispositivo de fixação (destinado à sustentação do semáforo); anteparo e conjunto óptico. No caso dos semáforos de advertência os componentes são os mesmos, podendo o anteparo sofrer variações (ABNT, 1982).

Segundo Vilanova (2006), conjunto óptico é o conjunto de elementos responsável pela geração, coloração e direcionamento da luz emitida pelo foco semafórico. No caso dos grupos focais que utilizam lâmpadas, é constituído pela própria lâmpada, pelo refletor, pela lente e pela pestana. No caso dos grupos focais que utilizam LED's, é constituído pelos próprios LED's e pestana.

A sinalização semafórica destinada a controlar movimentos veiculares possui lente redonda com diâmetro de 200 ou 300 milímetros. Os semáforos destinados a controlar o movimento de pedestres possuem lente quadrada com o lado de 250 ou 300 milímetros.

### 2.5.4.1. Semáforos de Lâmpada de Filamento

A lâmpada de filamento, incandescente ou halógena, é a fonte geradora de luz desse tipo de semáforo. Os semáforos de lâmpada possuem, situada atrás da lâmpada, uma peça

chamada de refletor, que tem a finalidade de refletir o feixe luminoso de forma direcionada e de otimizar o rendimento do fluxo luminoso gerado pela lâmpada.

A luz emitida pela lâmpada é branca. O efeito colorido, dos semáforos que utilizam lâmpadas, é realizado pela lente. A lente, colorida e translúcida, é o elemento por onde passa a luz emitida pela fonte. Além de resguardar os elementos internos do foco, a lente, nesse caso, tem a função de definir a cor da indicação luminosa (vermelha, amarela ou verde), homogeneizar a distribuição de luz e dirigir o feixe luminoso aos respectivos usuários.

A pestana, outro elemento do conjunto óptico, tem a função de dirigir o feixe luminoso para os usuários corretos e impedir a incidência de fontes de luz externa (principalmente raios solares), diminuindo o “efeito fantasma”. Efeito fantasma é o nome dado ao fenômeno luminoso provocado pela incidência de luz externa sobre o refletor, dando a falsa impressão ao motorista de que uma lâmpada está acesa.

#### a) Critérios de medição de intensidade luminosa

Para a verificação da distribuição de intensidade luminosa emitida pelo foco de um semáforo de lâmpada de filamento, a ABNT (2007a) determina que a medição seja feita considerando um ângulo horizontal, com diferença de 5 graus um do outro, sendo 6 pontos para a direita e 6 pontos para a esquerda do foco em relação ao observador. Deve ser considerado, ainda, um ângulo vertical, abaixo do plano horizontal, com 4 pontos, também com diferença de 5 graus. Assim, na Tabela 2.5, o ponto E2,5 representa a quantidade de intensidade luminosa que tem o observador a 2,5 graus horizontalmente e à esquerda do foco, enquanto que o ponto D2,5 a quantidade de intensidade luminosa que tem o observador à direita do mesmo foco.

Após a medição, os valores mínimos em candelas, para cada um dos pontos, não pode ser inferior a 80% dos valores da Tabela 2.5. Não é permitido também, que mais de oito pontos de ensaio estejam com valores inferiores a 90% dos valores da Tabela 2.5. Os valores marcados (xxx) não devem ser medidos.

Tabela 2.5: Medidas de intensidade luminosa de lâmpadas de filamento (ABNT, 2007a)

<b>Lente Vermelha</b>												
Ângulo Vertical (abaixo do plano horizontal)	Ângulo Horizontal											
	E 27,5	E 22,5	E 17,5	E 12,5	E 7,5	E 2,5	D 2,5	D 7,5	D 12,5	D 17,5	D 22,5	D 27,5
2,5	xxx	xxx	29	67	114	157	157	114	67	29	xxx	xxx
7,5	12	21	48	76	105	119	119	105	76	48	21	12
12,5	10	14	24	33	38	43	43	38	33	24	14	10
17,5	5	7	10	12	17	19	19	17	12	10	7	5
<b>Lente Amarela</b>												
2,5	xxx	xxx	132	308	528	726	726	528	308	132	xxx	xxx
7,5	55	99	220	352	484	550	550	484	352	220	99	55
12,5	44	66	110	154	176	198	198	176	154	110	66	44
17,5	22	33	44	55	77	88	88	77	55	44	33	22
<b>Lente Verde</b>												
2,5	xxx	xxx	51	120	205	283	283	205	120	51	xxx	xxx
7,5	22	39	86	137	188	214	214	188	137	86	39	22
12,5	17	26	43	60	68	77	77	68	60	43	26	17
17,5	9	13	17	22	30	34	34	30	22	17	13	9

b) Critérios de medição de cromaticidade

As cores emitidas pelos focos semafóricos são definidas em função de suas coordenadas de cromaticidade obtidas com o uso do Diagrama CIE mostrado na Figura 2.2. Na Tabela 2.6 são apresentados os valores das coordenadas x e y para cada uma das cores de um semáforo que utiliza lâmpada de filamento como fonte de luz, em quatro opções possíveis (A, B, C e D).

Tabela 2.6: Valores das coordenadas de cromaticidade para semáforos de lâmpada (ABNT, 2007a)

Cor da Lente	A		B		C		D	
	x	y	x	y	x	y	x	y
<b>Vermelha</b>	0, 645	0, 335	0, 665	0, 335	0, 734	0, 266	0, 721	0, 259
<b>Amarela</b>	0, 546	0, 426	0, 560	0, 440	0, 617	0, 382	0, 612	0, 382
<b>Verde</b>	0, 11	0, 718	0, 284	0, 520	0, 183	0, 359	0, 028	0, 385

#### 2.5.4.2. Semáforos de LED's

A palavra LED tem origem nas iniciais das palavras em inglês *light emitting diode*. A geração de luz se deve a propriedade de emissão de diodos formados por cristais de materiais semicondutores (Ming, 2009).

Nos semáforos que utilizam essa tecnologia, o conjunto de LED's além de gerar a fonte de luz também define a cor da indicação luminosa, conforme o comprimento de onda emitido pelos diodos (Vilanova, 2006). Portanto, nesses semáforos, a lente é transparente e tem a função apenas de resguardar os elementos internos do foco, não sendo considerada elemento do conjunto óptico.

A pestana, por sua vez, cumpre o mesmo papel que desempenha nos semáforos à lâmpada, direcionando o feixe luminoso aos usuários corretos e fazendo parte do conjunto óptico. Apesar da pestana também diminuir a incidência de luz externa sobre os focos, esse tipo de semáforo não apresenta o chamado efeito fantasma (Ming, 2009).

Para as cores vermelha e amarela, os LED's utilizados são derivados de uma tecnologia de combinação de cristais denominada AlInGaP (Alumínio, Índio, Gálio e Fósforo). Para a cor verde, são utilizados LED's provenientes da combinação de cristais InGaN (Índio, Gálio e Nitrogênio) (Ming, 2009). A Figura 2.4 ilustra os comprimentos de onda em função de cada cor.

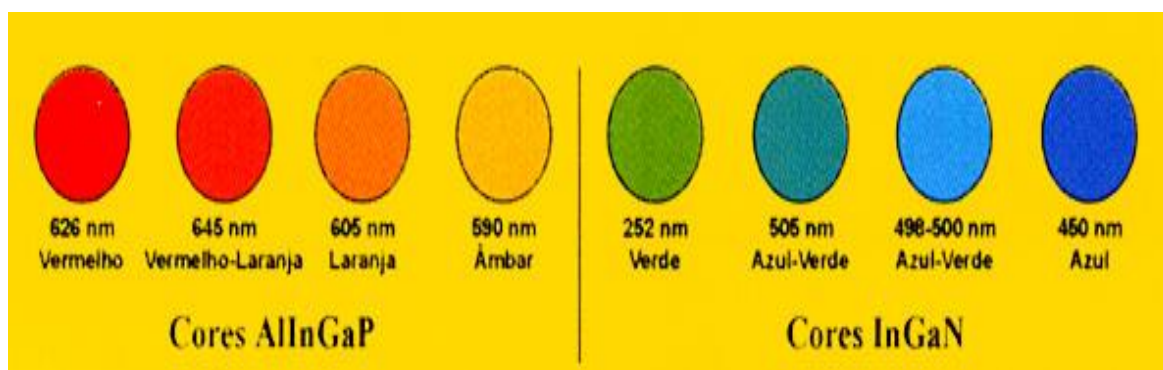


Figura 2.4: Cores dos LED's pela combinação de cristais (Ming, 2009)

#### a) Critérios Específicos

Por ser uma tecnologia recente, os semáforos a LED's não possuem especificações técnicas consolidadas. Existem duas especificações provisórias, uma européia e outra publicada pelo *Institute of Transportation Engineers* (ITE). Um projeto baseado nas especificações já existentes está sendo analisado pela ABNT, que ainda não publicou nenhuma norma a respeito (Ming, 2009).

#### 2.5.4.3. Diferenças entre o Semáforo de Lâmpada e o de LED's

As principais diferenças entre os semáforos que utilizam lâmpadas e os semáforos que utilizam LED's como fontes de luz são mostradas na Tabela 2.7.

Tabela 2.7: Semáforo Lâmpada versus Semáforo LED's (Ming, 2009)

<b>Lâmpada com filamento</b>	<b>LED</b>
Queima do filamento causa perda total	Queima de um LED mantém a operação normal
Dissipa calor	Não apresenta perda de calor
Cor obtida através de filtragem por lente colorida	Cor da própria luz emitida
Vida útil pequena: 4.000 horas	Vida útil grande: 100.000 horas
Alto consumo de energia: 50 a 100 W	Baixo consumo de energia: 7 a 20 W
Apresenta efeito fantasma	Não apresenta efeito fantasma
Grande degradação da intensidade luminosa	Degradação de 20% durante a vida útil
“Queima” da lente devido à dissipação de calor	Não há alterações no aspecto visual do foco
Visibilidade do foco em grandes ângulos	Luz direcionada – visibilidade só para pequenos ângulos
Não tem garantia	Garantia de seis anos

O semáforo de LED's apresenta muitas vantagens em relação ao tradicional semáforo de lâmpadas, como a economia do consumo de energia e de manutenção e a maior segurança ao usuário. No entanto, segundo Ming (2009), o semáforo de LED's apresenta como



desvantagem um alto custo de implantação e, como ainda é uma tecnologia recente, inexistem especificações técnicas consolidadas. Outra desvantagem apontada por Vespucci (2009) é que os daltônicos apresentam uma maior dificuldade na percepção dos semáforos de LED's, pelo fato desse tipo de foco emitir uma intensidade luminosa muito alta.

## **2.6. TÓPICOS CONCLUSIVOS**

As cores estão relacionadas às funções dos sinais de trânsito. Existe uma padronização de cores na sinalização viária. Na sinalização horizontal e vertical, as cores seguem o Padrão Münsell. Na sinalização semafórica, as cores são especificadas de acordo com coordenadas de cromaticidade fornecidas pelo Diagrama CIE. No entanto, fenômenos físicos da luz e características diferenciadas dos diversos materiais usados no acabamento da sinalização podem interferir na percepção das cores.

Dentre os fenômenos físicos da luz, a retroreflexão é a principal responsável por tornar a sinalização horizontal e vertical visível, à noite. Esse fenômeno permite que a luz proveniente dos faróis dos veículos, após incidir na superfície da sinalização, retorne ao olho do condutor. A intensidade luminosa é o fenômeno físico responsável por contribuir para a visibilidade da sinalização semafórica.

Os materiais utilizados no acabamento dos dispositivos de sinalização são vários. Cada um deles apresenta determinadas características que os diferenciam um do outro. A capacidade de retroreflexão da luz é fator diferencial entre os vários materiais utilizados no acabamento da sinalização vertical e horizontal. Para a sinalização semafórica, uma diferença é com relação ao tipo de fonte emissora de luz. Assim, os focos semafóricos podem ser com lâmpadas de filamento ou com LED's.

### **3. PERCEPÇÃO CROMÁTICA**

A percepção cromática é o processo pelo qual um indivíduo percebe e diferencia as cores dentro do espectro de luzes visíveis ao olho humano. Neste capítulo, está exposto, de forma simplificada, o processo de identificação das cores pelo sistema visual humano, as principais características da discromatopsia congênita, os testes que avaliam a capacidade de percepção cromática e a legislação de trânsito a respeito do assunto para os candidatos a condutores.

#### **3.1. O OLHO E A PERCEPÇÃO VISUAL HUMANA**

Guimarães (2000) define o olho como uma “câmara escura” dotada de um jogo de lentes que converge os raios luminosos para a parede interna oposta ao orifício, captando, dessa forma, a imagem.

De acordo com Carvalho (2006), a luz incide na córnea, passa pela íris, responsável por controlar o tamanho da pupila, e, então, para a parte interna do olho. A luz incide no cristalino que funciona como uma lente, focalizando os raios incidentes sobre a retina, para a formação da imagem. A retina é a película que reveste a parede interna do globo ocular e possui células fotossensíveis que captam o estímulo luminoso, transformando-o em estímulo elétrico que, através do nervo óptico, é transmitido ao cérebro.

A retina é composta por várias camadas, entre elas a inferior ou nervosa (formada pelas ramificações do nervo óptico) é a responsável pela visão. Essa camada é constituída por cerca de 130 milhões de células, das quais cerca de 100 milhões são os bastonetes, sensíveis à luz e suas mudanças, mas sem sensibilidade à cor. Cerca de 30 milhões de células restantes, os cones, são sensíveis às cores e formas (Guimarães, 2000).

Segundo Carvalho (2006), os bastonetes são responsáveis pela percepção da luz, fornecendo uma visão de baixa resolução e alta sensibilidade. Distribuídos na periferia da retina, estão relacionados com a chamada visão periférica. Na região central da retina, chamada fóvea (uma região diminuta no centro da retina), se encontram os cones,

responsáveis pela percepção das cores e detalhamento da imagem, relacionados com a visão detalhada ou de alta resolução.

Do ponto de vista óptico e fisiológico, o processo de formação de imagem é bem mais complexo e a estrutura do olho é mais detalhada, como ilustra a Figura 3.1.

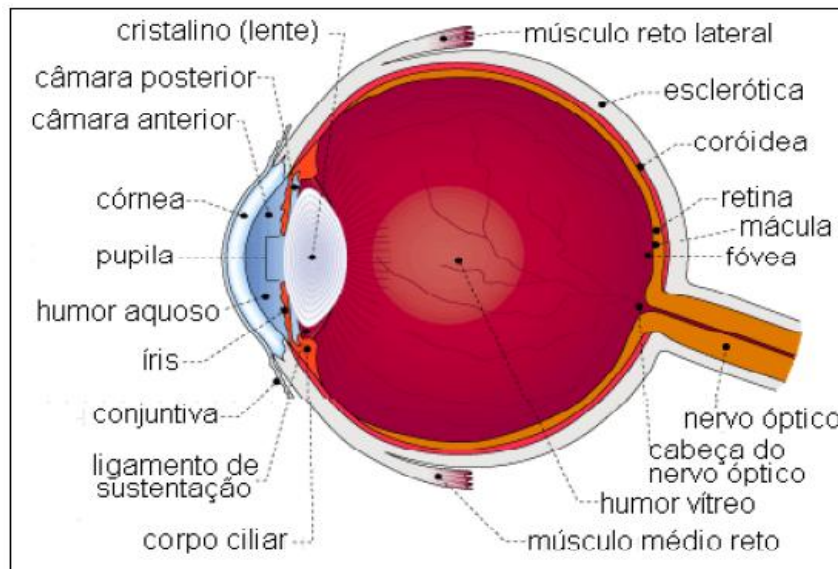


Figura 3. 1: O olho humano (Carvalho, 2006)

Segundo a Teoria Tricromática da percepção, existem três tipos de cones ou receptores de cor, cada um sensível a determinado comprimento de onda correspondente ao vermelho, azul e verde, como mostra a Figura 3.2. As letras L, M e C representam os três tipos de cones com seus picos de sensibilidade para diferentes comprimentos de onda, sendo L sensível para o vermelho, M para o verde e C para o azul. Quanto à quantidade de cones, existe uma proporção de 6L: 3M: 1C (Gonçalves, 2004).

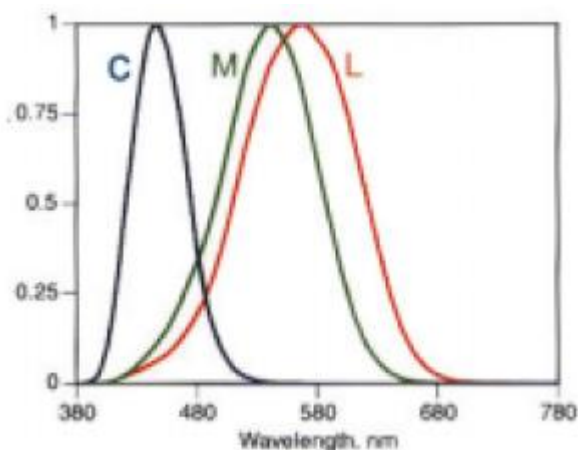


Figura 3. 2: Sensibilidade dos cones (Gonçalves, 2004)

A Teoria Tricromática da percepção refere-se ao processo inicial do processamento visual das cores, ou seja, à recepção das cores pelos três tipos de cones existentes na retina.

A próxima etapa da percepção consiste no envio da mensagem recebida pelos cones ao cérebro, sendo explicada pela Teoria dos Processos Opostos. De acordo com essa teoria os cones não possuem uma conexão individual com o cérebro. A transmissão ao cérebro é feita através de três campos de recepção, onde os sinais dos cones são emitidos em conjunto. Os campos de visão, também chamados de canais oponentes, são os canais preto-branco, vermelho-verde e amarelo-azul (Guimarães, 2000). Assim, de acordo com a teoria dos Processos Opostos, esses canais podem trabalhar em conjunto ou de forma isolada. Quando o canal vermelho-verde sinaliza o vermelho, e o canal amarelo-azul está “desligado” a mensagem que chega ao cérebro é a cor vermelha, no entanto se o canal vermelho-verde sinaliza o vermelho e o canal amarelo-azul sinaliza o amarelo, a mensagem recebida pelo cérebro é a cor laranja.

De acordo com Gonçalves (2004), a Teoria dos Processos Opostos também explica por que os dicromatas têm dificuldade de diferenciar o vermelho do verde ou o amarelo do azul, uma vez que esses pares de cores trabalham em oposição, em um mesmo canal.

## **3.2. DISTÚRBIOS DO PROCESSO DE PERCEPÇÃO CROMÁTICA**

Quando os cones não funcionam de maneira perfeita, o indivíduo não consegue ou tem dificuldade em perceber uma ou todas as cores. Esses distúrbios recebem o nome de discromatopsias. De acordo com as causas podem ser classificadas em Adquiridas e Congênitas.

### **3.2.1. Discromatopsia Congênita**

A discromatopsia congênita, também conhecida como daltonismo, é um distúrbio genético e hereditário para a percepção das cores. O portador não consegue ou pode apenas ter dificuldade de perceber uma ou mais cores. Como faz parte da herança genética, não existe cura ou tratamento.

#### **3.2.1.1. Classificações**

Os indivíduos, de acordo com a capacidade de funcionamento dos cones, podem ser classificados como: acromatas (ausência de cones funcionais), monocromatas (presença de apenas um tipo de cone funcional), dicromatas (percebem a luz branca com apenas dois tipos diferentes de cones) e tricromatas (possuem na retina os cones para o vermelho, verde e azul) (Crepaldi, 2003).

Os acromatas e os monocromatas possuem deficiência absoluta em relação à percepção de cores, enxergando em preto, branco e tonalidades de cinza. O dicromatismo, por sua vez, pode ser classificado em protanope (deficiência para o vermelho), deuteranope (deficiência para o verde) e tritanope (deficiência para o azul).

De acordo com Adura e Sabag (2007), existe ainda, mais uma divisão que seria com relação à deficiência para o amarelo ou tetranope. O tricromatismo pode ser classificado em normal ou anômalo. Os indivíduos normais possuem, portanto, os três tipos de cones em funcionamento na retina. Enquanto que, os tricromatas anômalos, apesar de possuírem as três variedades de cones funcionais, percebem a luz branca através de proporções anormais de vermelho, verde e azul, sendo classificados, respectivamente, de protanômalos, deuteranômalos e tritanômalos (Sato et al. 2002).

As discromatopsias também podem ser classificadas, de acordo com o grau de severidade que ocorrem, em: leves, moderadas (ou médias) e graves (ou fortes). Ao grau leve e moderado dá-se o sufixo **omalia**, enquanto que o grau forte recebe o sufixo **opia**. Portanto, os dicromatas são portadores de discromatopsia congênita de grau forte, enquanto os tricromatas anômalos são daltônicos de grau médio ou leve, dependendo da dificuldade para o reconhecimento das cores (Sato et al. 2002).

A Figura 3.3 ilustra as classificações da discromatopsia congênita quanto ao tipo e grau de severidade.

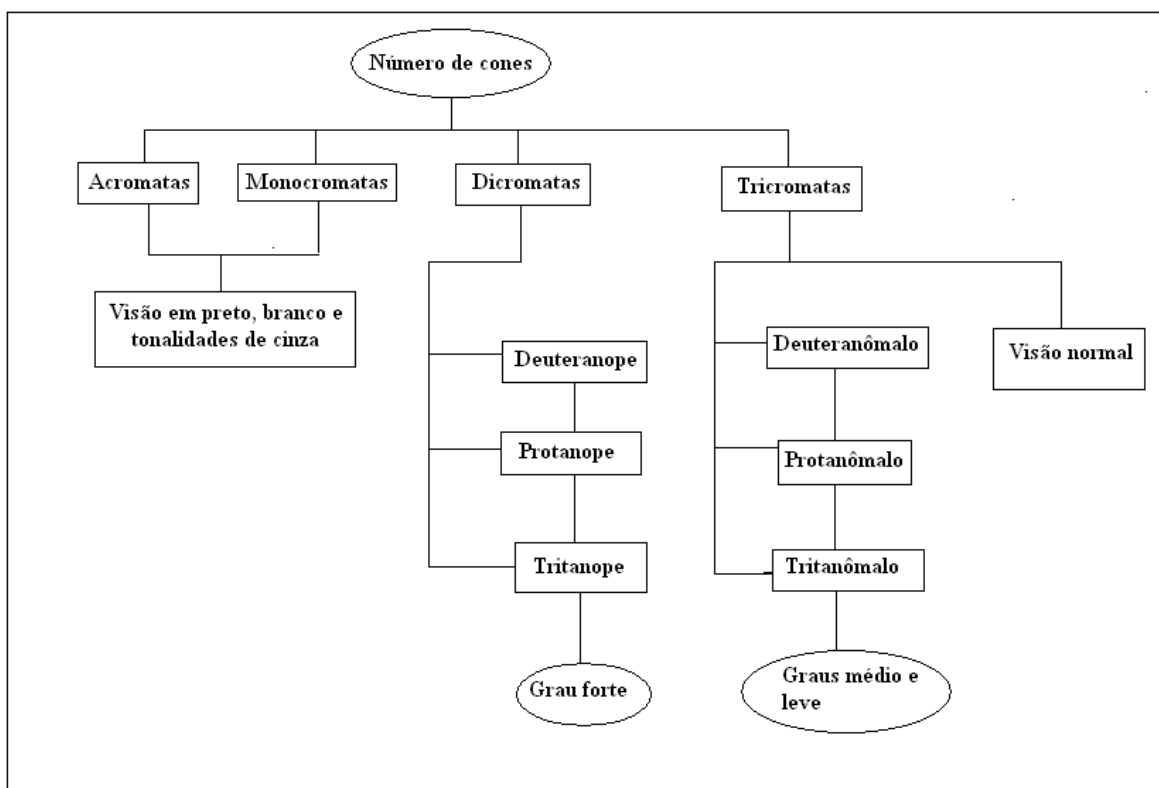


Figura 3.3: Classificação das discromatopsias congênicas (feito pelo autor)

### 3.2.1.2. Incidência

A deficiência dos cones é herdada geneticamente por um defeito no cromossomo X. Por isso, praticamente só os homens são afetados, apresentando uma incidência, na população masculina, de 8% contra apenas 0,5% das mulheres (Crepaldi, 2003). A porcentagem apontada por Crepaldi (2003) é menor que a estimativa feita por Vespucci (2009) para a população brasileira de 10% dos homens para 1% das mulheres. A incidência do

daltonismo também varia de acordo com os grupos raciais. Segundo Sato et al. (2002), a população masculina afetada é de 5%, no caso de japoneses, cerca de 3% em aborígenes australianos, e de 7% a 9% em caucasianos de maneira geral.

As formas mais comuns de discromatopsias congênicas são as formas protan e deutan, também chamadas de deficiências vermelho-verde, sendo que a tritan é mais rara. A Tabela 3.1 mostra os resultados da prevalência das formas de discromatopsia em estudo realizado na Inglaterra com a população masculina e feminina.

Tabela 3.1: Prevalência dos tipos de discromatopsia congênita (Bruni e Cruz, 2006)

<b>Condição</b>	<b>Homens (%)</b>	<b>Mulheres (%)</b>
Protanopia	1	0,02
Protanomalia	1,5	0,03
Deuteranopia	1	0,01
Deuteranomalia	5	0,40
Tritanopia/Tritanomalia	0,001	0,001

### **3.2.2. Discromatopsia Adquirida**

A discromatopsia adquirida, ao contrário da congênita, ocorre depois do nascimento como efeito colateral de algumas enfermidades ou ingestão de algumas substâncias químicas. A hipertensão arterial, o diabetes e a cirrose hepática (alcoólica e não alcoólica) são enfermidades que frequentemente apresentam alteração do senso cromático. O uso de drogas como a cloroquina, a hidroxicloroquina e anticoncepcionais hormonais são muitas vezes relacionados com anormalidade na visão de cores (Ventura et al., 2008).

Essas doenças ou o uso de substâncias químicas causam alterações nos filtros pré-receptores, redução de densidade óptica dos fotopigmentos dos cones (verdes, vermelhos ou azuis), perda desequilibrada dos tipos de cones e alterações nos níveis de processamento pós-receptores levando à dificuldade de reconhecimento das cores.

Ao contrário da discromatopsia congênita, onde a maior incidência dos casos são das deficiências verde-vermelho, a maioria dos distúrbios de discromatopsia adquirida são as deficiências azul-amarelo (Bruni e Cruz, 2006). Os portadores da forma adquirida do

distúrbio sentem, portanto, maior dificuldade ou incapacidade de reconhecer as cores azul e amarela.

### 3.2.3. Diferenças Clínicas entre as Discromatopsias

As principais diferenças entre as discromatopsias estão resumidas na Tabela 3. 2.

Tabela 3.2: Diferenças clínicas entre discromatopsias congênicas e adquiridas (Bruni e Cruz, 2006)

	<b>Congênicas</b>	<b>Adquiridas</b>
<b>Ocorrência</b>	Inata	Após o nascimento
<b>Prevalência por gênero</b>	Alta em homens Baixa em mulheres	Igual em homens e mulheres
<b>Tipo e severidade</b>	Estáveis	Variáveis
<b>Classificação do defeito</b>	Precisa	Limitada
<b>Manifestação</b>	Ambos os olhos igualmente afetados	Diferenças entre olho esquerdo e direito
<b>Acuidade visual</b>	Acuidade inalterada Exceto no monocromatismo	Geralmente reduzida
<b>Campo visual</b>	Normal	Pode ser reduzido
<b>Defeitos predominantes</b>	Protan e deutan	Tritan

### 3.3. TESTES DE AVALIAÇÃO CROMÁTICA

Os testes de avaliação cromática têm como objetivo avaliar a percepção das cores, identificando indivíduos portadores de discromatopsias; alguns testes permitem, ainda, identificar o grau de severidade dos distúrbios de percepção cromática. No entanto, os testes geralmente apresentam limitações, como por exemplo, a variação de iluminação do ambiente e o fornecimento de informações erradas pelos pacientes (Fernandes, 2008).

Segundo Bruni e Cruz (2006), existem cerca de 200 métodos de avaliação cromática desenvolvidos ao longo dos anos, mas, atualmente, apenas cerca de 20 testes são comumente encontrados. Este trabalho enfatiza os testes mais conhecidos e utilizados para a avaliação clínica da sensibilidade cromática.



### **3.3.1. Teste de Ishihara**

O teste mais conhecido e utilizado no mundo para a avaliação da percepção cromática é o teste de Ishihara, publicado pela primeira vez em Tóquio, no ano de 1917. É constituído de 24 pranchas pseudoisocromáticas e considerado o teste mais eficaz para conclusão dos defeitos protan (deficiência para o vermelho) e deutan (deficiência para o verde) (Fernandes et al., 2008).

Com o Teste de Ishihara é possível não só definir o tipo de discromatopsia congênita, como também determinar o grau de severidade do distúrbio apresentado pelo portador de daltonismo.

#### **3.3.1.1. Pranchas Pseudoisocromáticas**

As pranchas pseudoisocromáticas foram publicadas pela primeira vez por Stilling, em 1878. São lâminas formadas por pontos coloridos, e possuem um objeto (número ou letra) delineado por uma diferença de cores, com um fundo de igual refletância de luminosidade e, de acordo com seu objetivo, podem ser classificadas em (Bruni e Cruz, 2006):

- pranchas de demonstração: o objeto desenhado possui uma luminosidade de contraste significativa em relação ao fundo, sendo a percepção cromática dispensável para uma resposta correta;
- pranchas de desaparecimento: mesmo o objeto possuindo uma diferença de cores em relação ao fundo, os dicromatas não conseguem perceber essa diferença, caso ela esteja próxima ao eixo de confusão do paciente;
- pranchas combinadas: com dois objetos delineados, um do tipo demonstração e outro do tipo desaparecimento, essa prancha pode ser visualizada completamente pelo indivíduo de visão normal; os dicromatas só conseguem identificar o objeto do tipo demonstração;
- pranchas diagnósticas: também possuem dois objetos e ambos são do tipo desaparecimento; no entanto, esses objetos são desenhados com diferentes matizes, um para ser confundido pelos daltônicos com dificuldade de perceber o vermelho e outro para aqueles com dificuldade de percepção do verde;

- pranchas quantitativas: uma série de objetos de mesmo matiz, com diferença gradual de saturação em relação ao fundo, de forma a identificar o grau de severidade do distúrbio;
- pranchas escondidas: nesse tipo de prancha, os objetos delineados podem ser visualizados apenas por daltônicos, pois são constituídos por cores a um eixo de confusão enquanto o fundo é de uma cor de outro eixo de confusão. Um indivíduo normal observa as cores, mas sem conseguir definir os objetos.

### 3.3.1.2. Aplicação do Teste de Ishihara

A Tabela 3.3 fornece uma análise da versão do teste de Ishihara publicada em 1974.

Tabela 3.3: Análise do Teste de Ishihara (Ishihara, 1974)

Prancha	Pessoa normal	Deficiências vermelho-verde				Acromatas/monocromatas
		Protan		Deutan		
		Forte	Médio	Forte	Médio	
1	12					12
2	8					X
3	29					X
4	5					X
5	3					X
6	15					X
7	74					X
8	6			X		X
9	45			X		X
10	5			X		X
11	7			X		X
12	16			X		X
13	73			X		X
14	X			5		X
15	X			45		X
16	26	6	(2) 6	2	2 (6)	
17	42	2	(4) 2	4	4 (2)	

Na Tabela 3.3, as pranchas de 1 a 15 determinam a normalidade ou o defeito da percepção cromática. Caso 13 ou mais pranchas sejam lidas, da maneira correta, a visão é considerada

normal para a percepção das cores. O “x” mostra as pranchas que não podem ser lidas pelos indivíduos portadores da forma deutan e protan da discromatopsia congênita. Destaca-se que nas pranchas numeradas de 2 a 7, os portadores das deficiências vermelho-verde vêem números diferentes dos observados pela pessoa normal, enquanto que nas pranchas 14 e 15, esses tipos de daltônicos vêem números que as pessoas de visão normal não conseguem ver. As pranchas 16 e 17 definem se o tipo de discromatopsia congênita é da forma protan ou deutan e o grau de severidade do distúrbio.

As pranchas devem ser utilizadas preferencialmente sob iluminação natural. Caso o teste seja efetuado sob luz elétrica, deve-se ter cuidado com a posição das lâmpadas para evitar sombras sobre as pranchas. Cada prancha deve ser posicionada a uma distância de 75 cm em alinhamento com a visão do paciente. O tempo para o paciente identificar e dizer o que está vendo nas pranchas não deve ultrapassar 3 segundos (Ishihara, 1974).

### **3.3.2. Teste de Nomeação de Cores (TNC)**

Os testes de nomeação consistem na identificação de cores pelo indivíduo a ser examinado. Não avaliam precisamente as alterações da visão cromática, mas podem ter um desempenho satisfatório nas avaliações ocupacionais, como as realizadas com candidatos a motoristas. Podem ser realizados com objetos e luzes coloridos. No entanto, no caso das luzes, podem ser altamente influenciados pelas diferenças de intensidade luminosa (Bruni e Cruz, 2006).

### **3.3.3. Teste da American Optical Hardy-Rand-Rittler (AO-HRR)**

Também é realizado com pranchas pseudoisocromáticas. Além das deficiências vermelho-verde, serve para identificar distúrbios para percepção do azul (tritan) e do amarelo (tetran). A detecção de deficiências azul-amarelo raramente pode ser feita em outros testes de pranchas. O termo tetran vem da teoria que supõe haver um quarto tipo de defeito congênito, envolvendo um possível cone para absorção da cor amarela. A grande crítica ao AO-HRR, é que esse teste não fornece resultados precisos, pois pessoas com sensibilidade cromática normal podem ser classificadas como deficientes (Bruni e Cruz, 2006).

### **3.3.4. Testes de Arranjo de Matizes**

Consistem no ordenamento de papéis coloridos extraídos do sistema de cores de Münsell, os quais diferem somente no matiz, tendo saturação e luminosidade constantes. O paciente faz o ordenamento de cores dentro de uma caixa de madeira, onde já estão pré-estabelecidas as cores inicial e final. Os principais testes de arranjo de matizes são o teste de Farnsworth-Münsell 100 Hue (FM100) e o teste de Farnsworth-Münsell D-15. Este último utiliza menos matizes que o FM100 e, por isso, é mais simples de ser utilizado.

### **3.3.5. Anomaloscópios**

Consistem em aparelhos onde o indivíduo a ser examinado vê um campo dividido em duas partes. Uma delas é iluminada por uma luz amarela, enquanto a outra é iluminada por uma mistura de luzes monocromáticas vermelha e verde. O indivíduo deve igualar os dois campos, podendo alterar a razão entre a intensidade das luzes vermelha e verde, bem como reduzir ou aumentar a intensidade da luz amarela.

O Anomaloscópio de Nagel é o mais conhecido, porém ele não está mais disponível comercialmente. Porém existem outros testes de equalização equivalentes como os Anomaloscópios de Neitz e o de Heidelberg (Bruni e Cruz, 2006).

Nesses testes de equalização, os portadores de discromatopsia não conseguem igualar os dois campos como as pessoas de visão normal. De acordo com as diferenças de resultados entre os dois campos coloridos é possível identificar o tipo e o grau de severidade da discromatopsia do indivíduo (Fernandes, 2008).

## **3.4. LEGISLAÇÃO DE TRÂNSITO SOBRE A PERCEPÇÃO DAS CORES**

Neste item estão descritos critérios adotados em relação à percepção cromática dos candidatos a condutores no Brasil e em alguns outros países.

### **3.4.1. Legislação Nacional para a Obtenção de CNH**

Antes mesmo da publicação do Código de Trânsito Brasileiro (CTB) em 1997, o CONTRAN, por meio do Anexo II, da Resolução 734/89, regulamentava que para obtenção ou renovação da Carteira Nacional de Habilitação (CNH) era necessário que o candidato identificasse as cores verde, vermelha, amarela, azul e âmbar. A avaliação cromática deveria ser realizada através de tábuas pseudoisocromáticas.

A Resolução 734/89 foi alterada pela Resolução 51/98, que em seu Anexo I estipulava que para a realização do exame oftalmológico, o candidato deveria reconhecer as cores vermelha, verde e amarela, sem especificar qual procedimento deveria ser adotado para avaliar a percepção cromática. A Resolução 80/98 alterou a Resolução 51/98, modificando partes do processo de obtenção e renovação da CNH. No entanto, a parte do texto referente à visão cromática permaneceu a mesma, ou seja, é obrigatório o reconhecimento das cores vermelha, verde e amarela sem a especificação do exame a ser adotado.

Segundo Sato et al. (2002), os testes de nomeação de cores permitem que parte dos portadores de discromatopsia congênita de graus leve e médio consiga identificar as cores exigidas pela Resolução 80/98, fato impossível de acontecer com o uso das tábuas pseudoisocromáticas. Nesse sentido, pode-se concluir que a retirada da obrigatoriedade do uso das pranchas permite que um número maior de daltônicos de graus leve e médio se torne condutores. Outro fator a ser considerado é que a falta de padronização dos testes permite que alguns exames reprovem mais que outros, ou seja, a depender do exame, uma pessoa com o mesmo grau de severidade de daltonismo, submetida a teste diferente, pode não conseguir avançar no processo de obtenção da CNH.

A incipiência da legislação brasileira, a respeito da indicação de testes que melhor atendam às necessidades do trânsito, ou seja, a capacidade de resposta do candidato daltônico na interpretação da sinalização viária pode levar o médico perito examinador a fazer uso de exames mais acessíveis ou conhecidos, e não necessariamente dos mais adequados ao candidato a condutor.

### 3.4.2. Legislação Estrangeira para a Obtenção de CNH

Desde o ano de 1998, a Comissão Europeia recomenda que a percepção cromática não seja considerada critério de impedimento ao candidato à motorista por não haver literatura científica que comprove a associação entre a discromatopsia congênita e um pior desempenho do indivíduo como condutor. Desde então,, muitos países da União Europeia deixaram de restringir o direito de dirigir aos portadores de daltonismo. No entanto, os critérios adotados em relação à percepção cromática variam muito de país para país (ICO, 2007). Exemplos de como alguns países tratam o assunto podem ser vistos na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: A percepção cromática pela legislação de trânsito estrangeira (ICO, 2007)

País	Percepção cromática	Avaliação cromática
EUA	A exigência depende de leis estaduais; Lei federal exige para condutores profissionais, exceto quando leis estaduais os eximirem dessa obrigação.	A critério do médico especialista
Austrália	Sem exigência	-
Bélgica		
França		
Suíça		
Holanda		
Nova Zelândia		
Suécia		
Alemanha	Exigência para condutores profissionais	A critério do médico especialista
Canadá		
Romênia	Exigência para todos os motoristas	Pranchas pseudoisocromáticas
Bulgária		
Singapura		
Tailândia		
Venezuela	Exigência do vermelho, verde e amarelo	Nomeação de cores por meio de luzes semaforicas

Os critérios de exigência da percepção cromática podem variar até mesmo dentro de um único país, conforme a legislação de determinado estado ou município. A Tabela 3.5 mostra a diferença da legislação sobre o assunto, em alguns estados americanos.

Tabela 3.5: Exigência da percepção cromática nos Estados Unidos da América (ICO, 2007)

<b>Estados Americanos</b>	<b>Exigência da Percepção Cromática</b>
Alaska, Arkansas, Califórnia, Colorado, Delaware, Flórida, Geórgia, Idaho, Illinois, Iowa, Kansas, Kentucky, Louisiana, maine, Michigan, Minnesota.	Nenhuma
Alabama, Washington D.C., Texas	Para a 1 <sup>a</sup> Habilitação
Arizona, Indiana, Maryland, Montana, Tennessee, Wisconsin	Para motoristas profissionais

### 3.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS

A percepção cromática do ser humano é feita por células localizadas na retina e chamadas de cones. Algumas pessoas, por um distúrbio genético e hereditário, possuem uma dificuldade natural no reconhecimento das cores. A discromatopsia congênita, também conhecida como daltonismo, pode ser classificada em vários tipos e se apresenta sob diferentes graus de severidade. Apesar de haver vários testes que avaliam a capacidade de um indivíduo em reconhecer as cores, o mais conhecido é o Teste de Ishihara.

Não existe consenso na literatura sobre a relação do daltonismo a um melhor ou pior desempenho do indivíduo como condutor. Assim, a percepção cromática como critério para a condução de veículos varia de país para país. No caso brasileiro, a legislação nacional de trânsito não especifica o tipo de teste de avaliação cromática nem exige o diagnóstico negativo para o daltonismo aos candidatos a motoristas. Assim, verifica-se que os portadores de discromatopsia congênita estão inseridos no trânsito, como condutores. Apesar disso, pesquisas relacionando o trânsito ao daltonismo são escassas.

## **4. PROCEDIMENTOS PARA AVALIAR OS CONDUTORES PORTADORES DE DISCROMATOPSIA CONGÊNITA**

Neste Capítulo está a descrição da metodologia utilizada para o presente trabalho. São relatados desde os procedimentos preliminares da pesquisa de campo até a fase final da coleta de dados.

### **4.1. ETAPAS PRELIMINARES**

A realização do estudo teve início com pesquisa bibliográfica e documental para a obtenção de dados acerca da relação da cor com a sinalização viária, considerando as características de vários materiais de acabamento da sinalização semafórica, horizontal e vertical, e os fenômenos físicos relacionados à luz que influenciam na visibilidade das cores dos sinais de trânsito. Segundo Bruni e Cruz (2006), a intensidade luminosa das luzes semafóricas é um fator fundamental a ser considerado para a identificação das cores desse tipo de sinalização por condutores portadores de discromatopsia congênita.

Foram consultados estudos da área de oftalmologia de diversos autores que descreviam as principais características, classificações e métodos de avaliação sobre a discromatopsia congênita. No entanto, apesar de autores como Sato et al. (2002) realizarem ponderações sobre a capacidade de direção de motoristas daltônicos, constatou-se a escassez de literatura sobre trabalhos que relacionassem os distúrbios de percepção cromática ao trânsito. De maneira geral, não existem trabalhos conclusivos que associem o daltônico a um melhor ou um pior desempenho enquanto motorista.

Em seguida, para levantar o perfil dos motoristas daltônicos e suas expectativas em relação a uma pesquisa que avaliasse a interpretação da sinalização de trânsito referente às cores por condutores portadores de discromatopsia congênita, foram feitos contatos virtuais com comunidades de daltônicos presentes no *Orkut*. Duas comunidades (Daltônicos Anônimos e Daltônicos? Sim e daí?) foram contatadas. A primeira era constituída por 480 integrantes e a segunda possuía 961 pessoas inscritas. Notou-se, por meio de conversas virtuais com 84 pessoas de ambas as comunidades, temor com relação à perda da CNH e,



consequentemente, do direito de dirigir, por parte dos condutores portadores do distúrbio, caso viessem a participar de pesquisas associando o daltonismo ao trânsito. O medo da participação foi então percebido como um fator dificultador para a realização desta pesquisa, pois poderia limitar o número de pessoas dispostas a participar da amostra do estudo.

#### **4.1.1. Definição das Características Estudadas**

A interpretação da sinalização é indispensável para a segurança viária. A função dos diferentes subsistemas da sinalização é caracterizada, dentre outros aspectos, pela cor dos símbolos e sinais de trânsito. Por essa razão, o conhecimento das necessidades e dificuldades apresentadas por condutores portadores de discromatopsia congênita pode contribuir para aumentar a segurança dos usuários da via, ao permitir a redução de possíveis barreiras de comunicação criadas pelas convenções de circulação para esse tipo de condutor.

Assim, esta dissertação visa associar os tipos e os graus de severidade da discromatopsia congênita à visibilidade de diversos materiais utilizados na sinalização semafórica, vertical e horizontal sob duas diferentes condições de iluminação simuladas: ambiente diurno e ambiente noturno.

Foram testados três tipos de películas retrorrefletivas, dois tipos de materiais utilizados para a demarcação do pavimento e dois tipos de dispositivos semafóricos que utilizam diferentes tipos de fonte de luz (LED's e lâmpada de filamento).

#### **4.1.2. A Busca de Parceiros**

Para se atingir os objetivos da pesquisa, algumas parcerias foram firmadas. O Hospital Universitário de Brasília (HUB) forneceu o apoio necessário, por meio do setor de oftalmologia. Além de disponibilizar o espaço físico para que a coleta de dados fosse realizada, também providenciou para que os testes de avaliação cromática fossem realizados de maneira correta e adequada. Os médicos do setor também realizaram os

exames oftalmológicos básicos em todos os condutores integrantes da amostra, de modo a evitar que outras deficiências visuais não tratadas pudessem afetar os resultados do teste de sinalização a ser realizado.

A montagem dos dispositivos utilizados para o teste da sinalização viária foi possível com a colaboração de uma empresa que presta serviços de implantação e manutenção de sinalização no Distrito Federal e de um fabricante de materiais utilizados no acabamento dos sinais de trânsito.

Para garantir uma amostra satisfatória, alguns órgãos colaboraram para a divulgação da pesquisa, publicizando a necessidade de condutores daltônicos para participar da amostra, como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o Departamento de Trânsito do Distrito Federal (DETRAN-DF), a Secretária de Comunicação (SECOM) da UnB, e o Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal (DER-DF).

#### **4.1.3. A Aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP)**

A questão da ética em pesquisa ganhou força no fim da Segunda Guerra Mundial com o Código de Nuremberg, documento de caráter internacional, com normas para pesquisa médica com seres humanos. No Brasil, as diretrizes e normas éticas regulamentadoras de estudos envolvendo seres humanos são especificadas pela Resolução nº 196/96 do Conselho Nacional de Saúde (CNS) (Castilho e Kalil, 2005).

Este trabalho buscou avaliar a interpretação das cores da sinalização de trânsito por condutores portadores de discromatopsia congênita, distúrbio que se apresenta em várias classificações quanto ao tipo e ao grau de severidade. Foi fundamental que se soubesse definir o tipo e o grau de severidade da discromatopsia de cada um dos integrantes da amostra, por se tratarem de fatores que influenciam, diretamente, na capacidade de percepção cromática dos envolvidos (Crepaldi, 2003). Os testes de avaliação cromática para a classificação das discromatopsias é parte do exame médico realizado pelos especialistas em oftalmologia.

Além desta pesquisa envolver exames de caráter médico, houve, também, a necessidade de um contato direto com pessoas que fizeram parte da amostra. De acordo com Castilho e Kalil (2005), toda pesquisa envolvendo seres humanos deve seguir os seguintes princípios éticos:

- respeito à autonomia – trata-se dos direitos de liberdade, livre escolha e privacidade dos envolvidos na pesquisa;
- não-maleficiência – obrigação do pesquisador de não causar danos aos envolvidos;
- beneficência - contribuir para o bem estar dos indivíduos envolvidos e para o benefício de demais pessoas;
- justiça - engloba os conceitos de equidade, merecimento e prerrogativa.

Visando respeitar todos os princípios de ética em pesquisa, este trabalho foi registrado no Sistema Nacional de Informações sobre Ética em Pesquisa envolvendo seres humanos (SISNEP), recebendo, assim, um Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE), ou seja, um código identificador do projeto. O código desta pesquisa é o CAAE 00210012000-09 e está disponível para consulta na página virtual do SISNEP, disponível no endereço eletrônico [WWW.SAUDE.GOV.BR/SISNEP](http://WWW.SAUDE.GOV.BR/SISNEP).

Após ser devidamente registrada no SISNEP, esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde (CEP) da Universidade de Brasília (UnB), sob o número 024/2009.

A Resolução nº 196/96 do Conselho Nacional de Saúde (CNS) preconiza que para toda pesquisa envolvendo seres humanos deve ser elaborado um documento conhecido como Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), o qual deve ser assinado por cada indivíduo que aceite participar do grupo de amostra. O TCLE tem por objetivo permitir que a pessoa que está sendo convidada a participar de um projeto de pesquisa compreenda os procedimentos, riscos, desconfortos, benefícios e direitos envolvidos, visando permitir uma decisão autônoma (Goldim et al., 2003). O TCLE desta pesquisa é apresentado no Apêndice A.

## 4.2. DEFINIÇÃO DA AMOSTRA

A população de interesse é constituída por condutores portadores de discromatopsia congênita, ou seja, daltônicos já aprovados em testes para a obtenção da CNH de acordo com a legislação de trânsito nacional, que dirigem no Distrito Federal. Os critérios de inclusão dos indivíduos para a formação da amostra foram três:

- os indivíduos teriam que apresentar a discromatopsia congênita;
- já serem habilitados a conduzir veículos;
- possuírem experiência em dirigir nas vias do Distrito Federal.

O tipo de amostragem utilizado nesta pesquisa é a amostra por acessibilidade. Essa técnica foi escolhida por tratar-se da seleção de unidades amostrais mais facilmente acessíveis ao pesquisador, principalmente por não haver registros confiáveis, no Distrito Federal, sobre a incidência da discromatopsia congênita na população. Os estudos nacionais são escassos e inexistente coleta de dados pelos órgãos de trânsito ou outras instituições oficiais sobre daltônicos candidatos a condutor, ou mesmo condutores. Na amostra por acessibilidade ou por conveniência, o pesquisador seleciona os elementos a que tem acesso, admitindo que esses possam representar o universo estudado. Apesar de haver riscos de imprecisão dos resultados, esse tipo de amostragem tem como vantagem a rápida obtenção de informações (Marotti et al., 2008).

Como não existem pesquisas anteriores que quantifiquem o número de daltônicos na população brasileira (Vespucci, 2009), é impossível precisar o tamanho da população de interesse e, conseqüentemente, o tamanho da amostra. Sato et al. (2002) realizaram uma pesquisa com 523 candidatos masculinos a condutores para as categorias D e E, onde foram encontrados 29 portadores de discromatopsia congênita, ou seja, 5,5% de motoristas já habilitados para a categoria B. Na presente pesquisa, para que a amostra permitisse fazer inferência à população de interesse, todos os esforços foram no sentido de formar a maior amostra possível dentro do período de três meses, do início de julho ao final de setembro de 2009.

Durante esse trimestre a amostra foi coletada no HUB. As Figuras 4.1 e 4.2 ilustram, respectivamente, o prédio e a sala onde a amostra foi formada. Os pacientes que

procuraram os serviços de oftalmologia na clínica, às quintas-feiras, no período da manhã, e eram diagnosticados daltônicos, foram convidados a participar do grupo de amostra. Esse dia e esse período foram escolhidos em virtude de apresentarem grande número de pacientes maiores de 18 anos, ou seja, com maior probabilidade de serem motoristas habilitados. No entanto, o dia e o período escolhidos para a formação do grupo de amostra foi apenas uma das estratégias utilizadas para que a amostra tivesse um número considerável de integrantes. Outras estratégias também foram consideradas.



Figura 4. 1: Setor de oftalmologia do HUB



Figura 4. 2: Sala utilizada para a coleta de dados

Inicialmente havia sido programada a coleta de dados em dois momentos distintos. A primeira fase ocorreria no HUB onde, depois de diagnosticados, os indivíduos seriam

convidados a participar da pesquisa e, caso aceitassem, passariam por outro teste de identificação de cores e pela entrevista estruturada. A segunda fase, constituída do teste de sinalização viária seria realizada no Laboratório de Tráfego da UnB, em outro dia a ser marcado com o participante. Contudo, o retorno à UnB implicaria em aumento de tempo e custo, relativos ao deslocamento dos participantes. Assim, a segunda fase poderia acarretar desistência por parte de alguns integrantes da amostra. Portanto, optou-se pela realização de todos os procedimentos no HUB em um único momento. O tempo necessário para a execução dos instrumentos de coleta de dados era de aproximadamente 40 minutos para cada integrante da amostra.

Outra estratégia utilizada para o aumento da amostra ocorreu nos dias em que a procura pelos serviços de oftalmologia do HUB era muito grande. Como não havia recurso humano e de tempo suficientes para atender a todos os pacientes, era necessário fazer uma triagem de pessoas que fossem ser submetidas aos testes de avaliação cromática. A triagem era feita dando-se preferência à realização dos testes nos homens em detrimento das mulheres. Como o gene que caracteriza o daltonismo está ligado ao cromossomo X, a incidência do distúrbio em homens é muito maior que em mulheres, pois estas, geralmente, são apenas portadoras, não manifestando clinicamente a discromatopsia (Bruni e Cruz, 2006).

No entanto, com o decorrer do período, verificou-se que a amostra estava sendo formada por um número reduzido de indivíduos. Ao final do mês de julho de 2009, haviam sido atendidos para o estudo 149 pacientes, dos quais 6 foram diagnosticados daltônicos. Três deles se recusaram a participar da pesquisa, restando três integrantes para a amostra. Assim, a implementação de uma nova estratégia tornou-se fundamental. Para estimular a participação na pesquisa foi feito um trabalho de publicização da necessidade de condutores portadores de discromatopsia congênita.

Foi necessária a realização de algumas parcerias para a divulgação da pesquisa a fim de encontrar condutores daltônicos do Distrito Federal que estivessem dispostos a colaborar no estudo em questão.

Após a divulgação, os interessados tiravam suas dúvidas e marcavam dia e horário para o atendimento, por telefone ou por *e-mail*. Essa estratégia causou uma diminuição do número de testes de avaliação cromática para a identificação do distúrbio, realizados nos pacientes

próprios do HUB, uma vez que o tempo era utilizado para o atendimento dos daltônicos que souberam da pesquisa por meio de divulgação. Houve, assim, um impacto positivo para o crescimento do grupo de amostra. O gráfico da Figura 4.3 ilustra os resultados da estratégia de divulgação para o aumento do número de integrantes da amostra em relação ao tempo (meses).

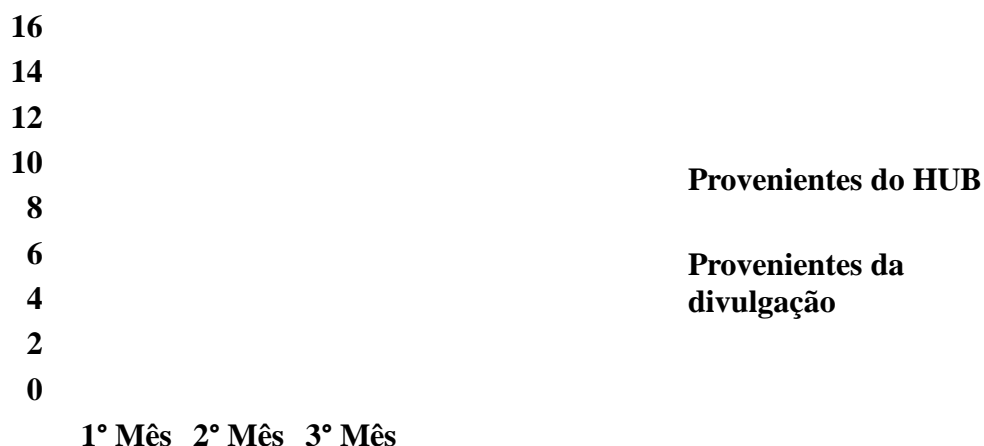


Figura 4. 3: Resultado da estratégia de divulgação para a formação do grupo de amostra

### 4.3. DEFINIÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Para a coleta de dados foram utilizados dois testes de avaliação cromática, uma entrevista estruturada e um teste de percepção cromática de materiais distintos, utilizados na sinalização de trânsito semafórica, horizontal e vertical. Todos os procedimentos para a coleta de dados foram realizados no HUB. A coleta de dados ocorreu tranquilamente, ou seja, sem interrupções de qualquer natureza, em ambiente calmo, possibilitando um grande aproveitamento das informações fornecidas.

#### 4.3.1. Testes de Avaliação Cromática

Para o diagnóstico e classificação das discromatopsias congênitas foram utilizados dois testes de avaliação cromática: o teste de Ishihara e um teste de Nomeação de Cores. Antes de realizar os testes, os indivíduos passavam por um exame oftalmológico básico para que outras alterações relativas à visão, como alteração de acuidade ou campo visual não interferissem nos resultados obtidos por meio dos testes de avaliação cromática. Os

pacientes que faziam uso de óculos para correção da visão, mas não os portavam no momento da avaliação, realizavam os testes por meio do difrator, aparelho que simula o efeito das lentes de óculos, corrigindo a visão do indivíduo.

#### 4.3.1.1. Teste de Ishihara

Os testes constituídos por pranchas pseudoisocromáticas são os mais eficazes para o diagnóstico e classificação dos distúrbios de percepção de cores (Fernandes et al., 2008). Por isso, para determinar e classificar as deficiências protan (vermelho) e deutan (verde) optou-se pela utilização do teste de Ishihara.

As deficiências vermelho-verde, forma mais comum da discromatopsia congênita (Bruni et al., 2006) são identificadas e classificadas por meio desse teste. Os graus leve e médio recebem o sufixo omalia e o grau forte recebe o sufixo opia.

Foi utilizado o teste de Ishihara editado em 1974, formado por 17 pranchas para identificação do distúrbio de percepção das cores em adultos. O teste pertence ao HUB e estava em perfeitas condições de uso. Para a aplicação desse teste foram observadas todas as recomendações do autor quanto à distância das pranchas em relação ao observador e à iluminação do ambiente.

Como o teste de Ishihara só consegue detectar as deficiências vermelho-verde, seria necessária a aplicação de outro teste de avaliação cromática a fim de identificar as deficiências do tipo azul-amarelo. O teste com pranchas pseudoisocromáticas existente para essa finalidade é o AO-HRR (Bruni et al., 2006). No entanto, mesmo tendo sido pedido pelo setor de oftalmologia do HUB que ainda não o possui, o AO-HRR não foi encontrado no mercado para que pudesse ser utilizado nesta pesquisa.

Algumas das pranchas pseudoisocromáticas utilizadas no teste de Ishihara podem ser visualizadas na Figura 4.4.



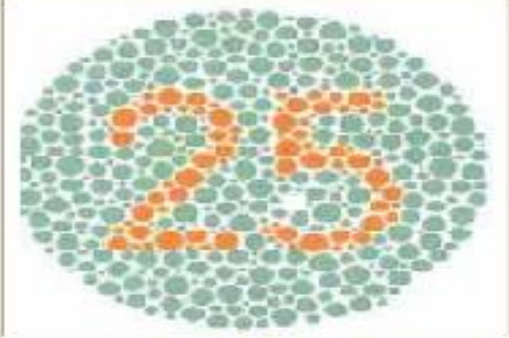
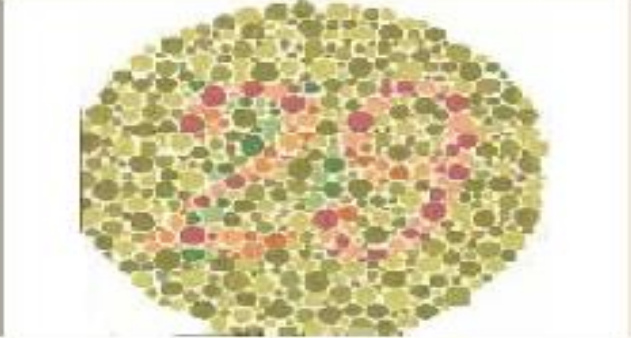

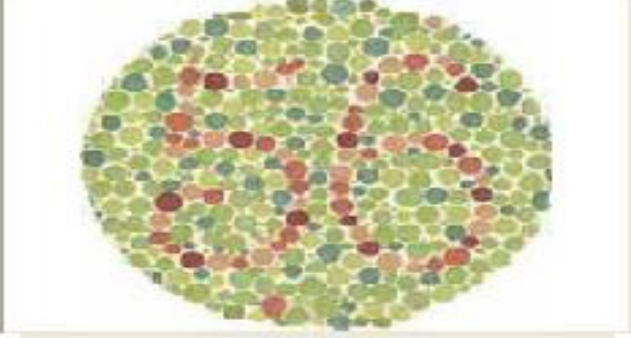
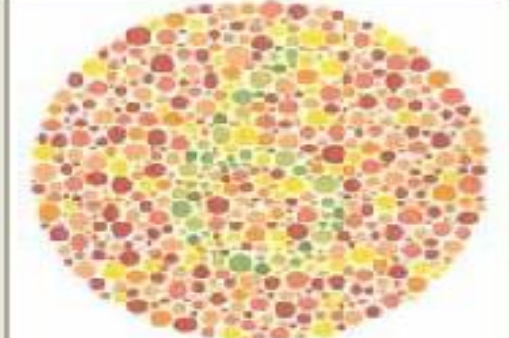

					
					
					
<b>Visão Normal</b>		<b>Deficiência Deutan-Protan</b>			
	<b>Esquerda</b>	<b>Direita</b>		<b>Esquerda</b>	<b>Direita</b>
<b>Em cima</b>	<b>25</b>	<b>29</b>	<b>Em cima</b>	<b>25</b>	<b>Nada</b>
<b>Ao centro</b>	<b>45</b>	<b>56</b>	<b>Ao centro</b>	<b>Nada</b>	<b>56</b>
<b>Abaixo</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>Abaixo</b>	<b>Nada</b>	<b>Nada</b>

Figura 4.4: Exemplos de pranchas do teste de Ishihara (modificada - Pereira, 2007)

#### 4.3.1.2. Teste de Nomeação de Cores (TNC)

O teste de Nomeação de Cores consiste na identificação das cores por meio de objetos coloridos. Segundo Bruni e Cruz (2006), esse teste é eficaz em avaliações ocupacionais, pois apesar de não classificar a discromatopsia congênita, conseguem verificar a capacidade de reconhecimento das cores pelos indivíduos submetidos a ele.

Baseado nas recomendações de Adura (2007) foi confeccionado um teste de nomeação de cores utilizando papel cartão nas cores vermelha, verde e amarela. Essas cores foram escolhidas pelo fato de sua identificação ser obrigatória pela legislação de trânsito nacional acerca da percepção cromática dos candidatos a condutores. Foi acrescentada ao teste a cor azul, pois, inicialmente, pretendia-se identificar os portadores da deficiência azul-amarelo, uma vez que o teste de Ishihara não consegue diagnosticar esse tipo de discromatopsia congênita.

Foram escolhidas duas tonalidades diferentes de cada cor. O papel cartão foi recortado na medida de 3 cm por 6 cm, sendo de fácil visualização, e fixado em uma base de isopor de igual tamanho, para facilitar o manuseio das peças. Seguindo as mesmas orientações de iluminação do ambiente para a realização do teste de Ishihara, as peças eram dispostas de forma aleatória e pedia-se que os indivíduos tirassem uma por uma das cores testadas. A Figura 4.5 ilustra o Teste de Nomeação de Cores aplicado para a realização desta pesquisa, da esquerda para a direita estão, respectivamente, as cores: amarela clara, amarela escura, azul clara, azul escura, verde clara, verde escura, vermelha clara e vermelha escura. No Apêndice A, essas cores são devidamente apresentadas.

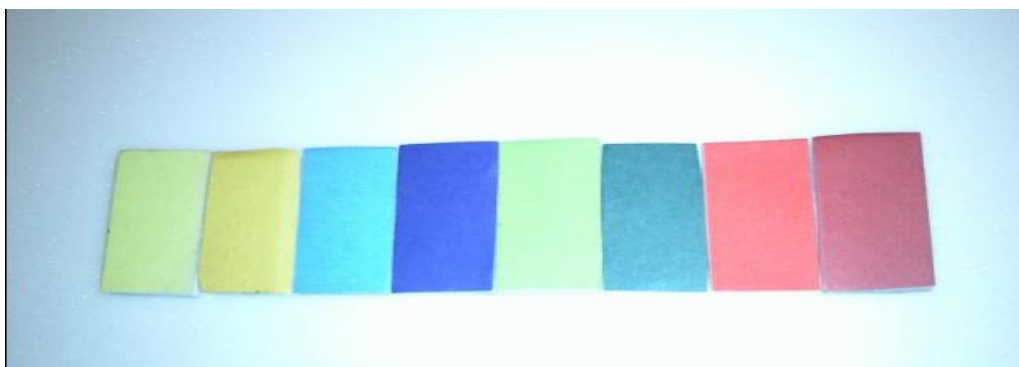


Figura 4.5: Teste de Nomeação de Cores

Todos os indivíduos faziam primeiro o Teste de Ishihara e, independente do diagnóstico positivo ou negativo para as deficiências vermelho-verde, se submetiam, em seguida, ao teste de Nomeação de Cores.

Caso o resultado fosse positivo para o primeiro teste, seria possível estabelecer uma comparação dos resultados de ambos os testes, pois segundo Sato et al. (2002), daltônicos

podem reconhecer as cores dependendo do teste de avaliação cromática ao qual são submetidos.

Caso o resultado fosse negativo para o primeiro teste, o segundo serviria para identificar possíveis deficiências do tipo azul-amarelo. Com o decorrer da pesquisa, foi possível notar que grande parte dos daltônicos protan e deutan conseguia identificar facilmente as cores no Teste de Nomeação, sugerindo, portanto, que caso fosse atendido algum indivíduo com a forma tritan do distúrbio, provavelmente ele não teria sido identificado no segundo teste. Como a incidência das deficiências azul-amarelo é muito rara (Bruni et al., 2006), já era esperado que o grupo de amostra não contivesse nenhum daltônico com a forma tritan da discromatopsia congênita.

#### **4.3.2. Entrevista Estruturada**

O uso de perguntas para a coleta de dados é um método bastante utilizado em pesquisas que procuram obter informações sobre determinados grupos sociais (Cunha, 1982). Em determinado momento, o pesquisador pode encontrar um conjunto de conceitos abstratos capazes de explicar um pouco da realidade vivida pelos indivíduos constituintes do grupo de amostra. O pesquisador pode transformar esses conceitos abstratos em perguntas capazes de prover dados empíricos relevantes à pesquisa.

A entrevista é uma técnica em que as perguntas visam obter informações relevantes para uma investigação, em que o entrevistador formula questões orientadas, com um objetivo definido, frente a frente com o entrevistado e dentro de uma interação social (Costa et al., 2004). De acordo com os autores, a entrevista pode ser classificada de acordo com o tipo em:

- não estruturada – as questões se desenvolvem no fluir da conversa. Não há um roteiro prévio de perguntas;
- semi-estruturada – apesar de haver um roteiro previamente preparado que serve de eixo orientador ao entrevistador, podem ser introduzidas novas perguntas durante o desenvolvimento da entrevista;
- estruturada – o roteiro previamente preparado é seguido de maneira uniforme para todos os entrevistados. É composta por questões fechadas e abertas;

- estruturada fechada – muito semelhante à entrevista estruturada, porém contém apenas questões fechadas.

Como parte da coleta de dados, optou-se pela utilização de uma entrevista estruturada, a fim de criar um contato direto com o entrevistado sendo possível captar as reações do mesmo, de forma a garantir um maior grau de confiabilidade aos dados coletados. Nesse tipo de entrevista, as perguntas são formuladas previamente, formando um roteiro seguido pelo entrevistador com todos os integrantes da amostra. O roteiro evita possíveis distorções causadas pelo pesquisador, além de facilitar a organização e análise dos dados (Cunha, 1982). No entanto, a pouca flexibilidade de respostas poderia causar constrangimentos e limitações aos entrevistados. Assim, todas as entrevistas foram conduzidas com calma, tomando-se o cuidado de não interromper o entrevistado e deixá-lo o mais a vontade possível.

Foram formuladas 20 perguntas, das quais 17 eram fechadas e 3 eram abertas. O instrumento empregado na entrevista realizada neste trabalho encontra-se no Anexo B. Esse método de coleta de dados foi fundamental para determinar possíveis dificuldades dos motoristas daltônicos em relação à sinalização de trânsito, conhecer experiências positivas e negativas do portador de discromatopsia congênita na condução de veículos, verificar como foram os testes de avaliação cromática aos quais esses motoristas foram submetidos para a obtenção da CNH, conhecer possíveis propostas de melhorias para a sinalização, a partir da visão de quem realmente sofre com a dificuldade na percepção das cores, e estabelecer a incidência de daltônicos nas várias categorias de habilitação.

#### **4.3.3. Teste de Sinalização Viária**

O teste de sinalização viária refere-se à capacidade dos integrantes da amostra em reconhecer as cores de alguns materiais de trânsito. Foram testadas as sinalizações semafórica, horizontal e vertical.

Os indivíduos eram convidados a se sentar de frente aos dispositivos de teste da sinalização. A distância entre os dispositivos e o participante da amostra era de 2 metros e

35 centímetros. Todos os dispositivos ficavam a uma altura de 90 centímetros, em relação ao chão.

#### 4.3.3.1. Sinalização Semafórica

Para testar a percepção da sinalização semafórica pela amostra, foram confeccionados dois semáforos. Um semáforo tinha como fonte de luz lâmpadas de filamento, enquanto o outro era composto por LED's. O principal objetivo dessa etapa foi estabelecer se havia alguma diferença, para o condutor daltônico, na percepção cromática em relação ao tipo de fonte de luz utilizada nos semáforos.

Cabe ressaltar que apesar dos semáforos que utilizam lâmpadas de filamento serem os únicos regulamentados pela ABNT, os semáforos de LED's têm sido muito utilizados, em virtude das vantagens apontadas por Ming (2009) e ilustradas na Tabela 2.7 deste trabalho. No entanto, segundo Vespucci (2009), os condutores daltônicos possuem dificuldades para perceber as cores emitidas pelos LED's, embora a autora não relate estudo específico realizado sobre o assunto.

Como os semáforos utilizados na coleta de dados foram confeccionados exclusivamente para esse fim, os componentes de ambos os conjuntos ópticos estavam novos e em perfeitas condições de funcionamento. Cada foco media 200 milímetros de diâmetro como preconizado pelo CTB. O anteparo preto estava dentro dos critérios especificados pela ABNT. Foi criado um interruptor ligado aos semáforos de maneira que cada foco pudesse ser aceso de forma independente dos demais.

Para os focos de lâmpada foram observadas todas as recomendações da ABNT com relação às especificações de intensidade luminosa e cromaticidade. Para os focos de LED's, os critérios com relação à intensidade luminosa e à cromaticidade foram baseados nas especificações provisórias, seguindo o padrão de implementação desse tipo de semáforo nas vias brasileiras. As Figuras 4.6 e 4.7 ilustram os semáforos utilizados para o teste.



Figura 4.6: Semáforo de LED's com o foco vermelho aceso



Figura 4.7: Semáforo de lâmpada com o foco vermelho aceso

Para que o posicionamento dos focos não interferisse no resultado do teste, um cuidado que se teve foi o de não deixar o foco amarelo no meio. Além disso, a posição do foco verde e do vermelho foi diferenciada para cada um dos semáforos. No semáforo de lâmpada o foco verde estava posicionado na extremidade esquerda do semáforo, e o foco vermelho estava no meio. No semáforo de LED's, o foco verde estava no meio enquanto o foco vermelho foi posicionado na extremidade direita do semáforo.



#### 4.3.3.2. Sinalização Horizontal

Para verificar a percepção da sinalização horizontal pela amostra, foram utilizados dois materiais empregados na demarcação de pavimentos: material termoplástico do tipo extrudado e tinta de resina acrílica à base de solvente. As características específicas de ambos os materiais seguiram o disposto na Tabela 2.3 deste trabalho.

Para a confecção desse teste foi utilizada duas placas de pluman de 70 cm por 50 cm, cada uma. O pluman, material semelhante ao isopor, porém com maior resistência e mais compacto, foi escolhido em virtude de ser leve, facilitando o transporte e manuseio, ser resistente o suficiente para que as placas pudessem ser demarcadas e apresentar cores variadas. A cor escolhida para as placas foi a grafite, semelhante à cor do pavimento. As Figuras 4.8 e 4.9 mostram o teste aplicado, respectivamente, da tinta a base de resina acrílica e do termoplástico tipo extrudado.



Figura 4.8: Tinta a base de resina acrílica

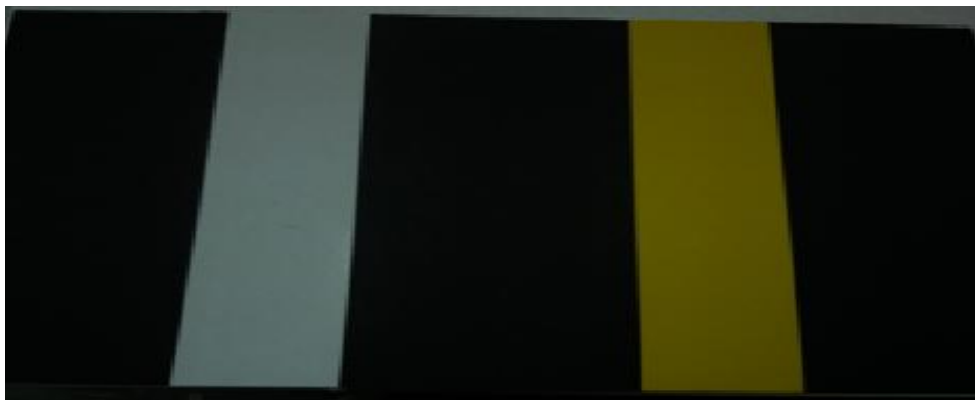


Figura 4.9: Termoplástico do tipo extrudado

Sobre cada placa foram demarcadas duas linhas contínuas de 10 cm de largura, respeitando o preconizado para a largura de linhas viárias, de acordo com o CONTRAN (2007b). O comprimento de cada linha seguiu o comprimento de um dos lados da placa, tendo 50 cm cada uma. Para cada material, uma das linhas era branca e a outra era amarela. Inicialmente, o intuito era conseguir o maior número de cores possíveis de cada material. No entanto, em virtude das cores branca e amarela serem as mais utilizadas, foram as únicas cores disponibilizadas por um dos parceiros da pesquisa. As cores branca e amarela de ambos os materiais seguiam as especificações do Padrão Münsell (ver Anexo A).

O principal objetivo da utilização desses dispositivos foi verificar a percepção das cores de cada um dos materiais em questão. Ambos os materiais apresentam a capacidade de retrorrefletir a luz. No entanto, a retrorreflexão varia de acordo com o tipo e a forma de aplicação das microesferas de vidro de cada material (DAER, 2006). Assim, outro objetivo desse teste foi verificar se havia diferença na percepção das cores desses materiais frente às distintas condições de iluminação simuladas em que o teste foi aplicado. Ou seja, um condutor com a deficiência para o amarelo identifica a cor amarela mais facilmente no extrudado ou na tinta, de dia ou à noite?

#### 4.3.3.3. Sinalização Vertical

Para avaliar a percepção das cores da sinalização vertical, optou-se por utilizar as películas retrorrefletivas, uma vez que elas são responsáveis pelo acabamento final das placas de trânsito e por possuírem capacidades distintas de retrorreflexão. As películas utilizadas foram de três tipos: tipo IA, tipo III e tipo X. Todas as películas foram fornecidas por um mesmo fabricante e obedeciam aos critérios mínimos de retrorreflexão recomendados pela ABNT e ilustrados na Tabela 2.4 deste trabalho. Apesar de outros fabricantes de películas terem sido contatados, o que tornaria esse trabalho mais imparcial com relação às marcas de películas testadas, apenas um fabricante aceitou a parceria com o pesquisador, fornecendo as amostras dos três tipos de películas.

Os tipos de películas utilizados para a coleta de dados foram definidos em razão da frequência de uso e da distância recomendada em relação ao observador. Segundo o fabricante, as películas do tipo IA são as mais utilizadas, em virtude de oferecerem um



custo menor quando comparadas às demais; o tipo III está começando a ser exigido pelos órgãos gestores de trânsito dos grandes centros urbanos, principalmente nas regiões sul e sudeste do Brasil; e as de tipo X, por possuírem maior capacidade de retroreflexão são indicadas, pelo fabricante, como ideais para a sinalização viária vertical. Além disso, com relação à distância entre placa e observador, os três tipos testados podem ser indicados para distâncias curtas (ABNT, 2007b). Nesta pesquisa, foi adotada a distância de 2,35 m entre o observador e os dispositivos do teste aplicado a cada integrante da amostra. Essa distância foi a maior possível em função das dimensões físicas do local onde o teste foi aplicado.

As películas fornecidas pelo fabricante tinham, cada uma, 6 cm de largura por 15 cm de comprimento. Para cada tipo de película, utilizou-se uma placa de pluman de cor branca de 70 x 50 cm. As películas (autocolantes) foram fixadas às placas com a mesma distância separando cada uma delas. Para o tipo IA foram utilizadas películas nas cores amarela, laranja, vermelha, marrom, azul, branca, verde e preta. Para o tipo III e tipo X foram utilizadas películas nas cores verde, amarela, vermelha e azul. O fabricante não tinha disponíveis as cores laranja, marrom, branca e preta para os tipos III e X pelo fato dessas películas serem utilizadas com menos frequência pelos órgãos gestores de trânsito. No caso da cor marrom, ela não é fabricada no tipo X. As Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 ilustram os tipos de películas utilizadas para a coleta de dados sobre a sinalização vertical.



Figura 4.10: Películas tipo IA



Figura 4.11: Películas tipo III



Figura 4.12: Películas tipo X

Todas as cores de ambos os tipos de películas seguem o Padrão Munsell e estão de acordo com as exigências do CONTRAN (2007a, b e c), como mostra a Tabela 2.1 localizada no Capítulo 2 deste trabalho (ver no Apêndice A a ilustração dessas cores). Assim, buscou-se verificar se o tipo de película e o respectivo grau de retrorrefletividade influenciavam na percepção das cores da sinalização vertical por condutores portadores de discromatopsia congênita.

#### 4.3.3.4. Condições de Iluminação

O teste de sinalização foi realizado duas vezes sob duas diferentes condições simuladas de iluminação do ambiente para cada participante. Na primeira situação buscou-se representar o ambiente diurno, onde as janelas eram abertas permitindo a entrada de luz natural na sala.

Na segunda situação, as janelas eram fechadas, de maneira que o ambiente não tivesse nenhuma iluminação natural, simulando o ambiente noturno. Para melhor simular o ambiente noturno, a única fonte de luz utilizada foi a de uma lanterna contendo uma

lâmpada de 50 watts de potência. A lanterna era posicionada na altura do joelho esquerdo do indivíduo, de maneira que o feixe de luz era direcionado para os materiais de sinalização. A utilização da lanterna buscou simular o farol esquerdo de um veículo, respeitando-se o ângulo de observação. As Figuras 4.13, 4.14 e 4.15 ilustram, respectivamente, a sinalização vertical, horizontal e semafórica no ambiente simulado noturno.

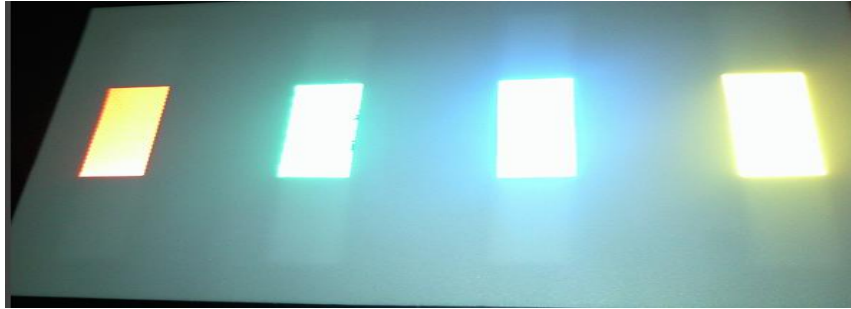


Figura 4.13: Dispositivo de sinalização vertical



Figura 4.14: Dispositivo de sinalização horizontal



Figura 4.15: Dispositivos de sinalização semafórica

#### 4.3.4. Sequência para a Coleta de Dados

Os condutores que procuraram os serviços oftalmológicos do HUB e aqueles que chegaram ao HUB a partir da divulgação da pesquisa passavam pelos testes de avaliação cromática, constituídos pelo Teste de Ishihara e pelo Teste de Nomeação de Cores. Diagnosticado e classificado o distúrbio da discromatopsia congênita, os indivíduos eram convidados a assinar o TCLE para a participação no grupo de amostra. Caso aceitassem, os indivíduos eram entrevistados e depois realizavam o teste de sinalização. Este era realizado duas vezes. Uma, simulando o ambiente diurno, outra, simulando o ambiente noturno. O fluxograma da Figura 4.16 ilustra a sequência de atividades realizadas para a coleta de dados desta pesquisa.

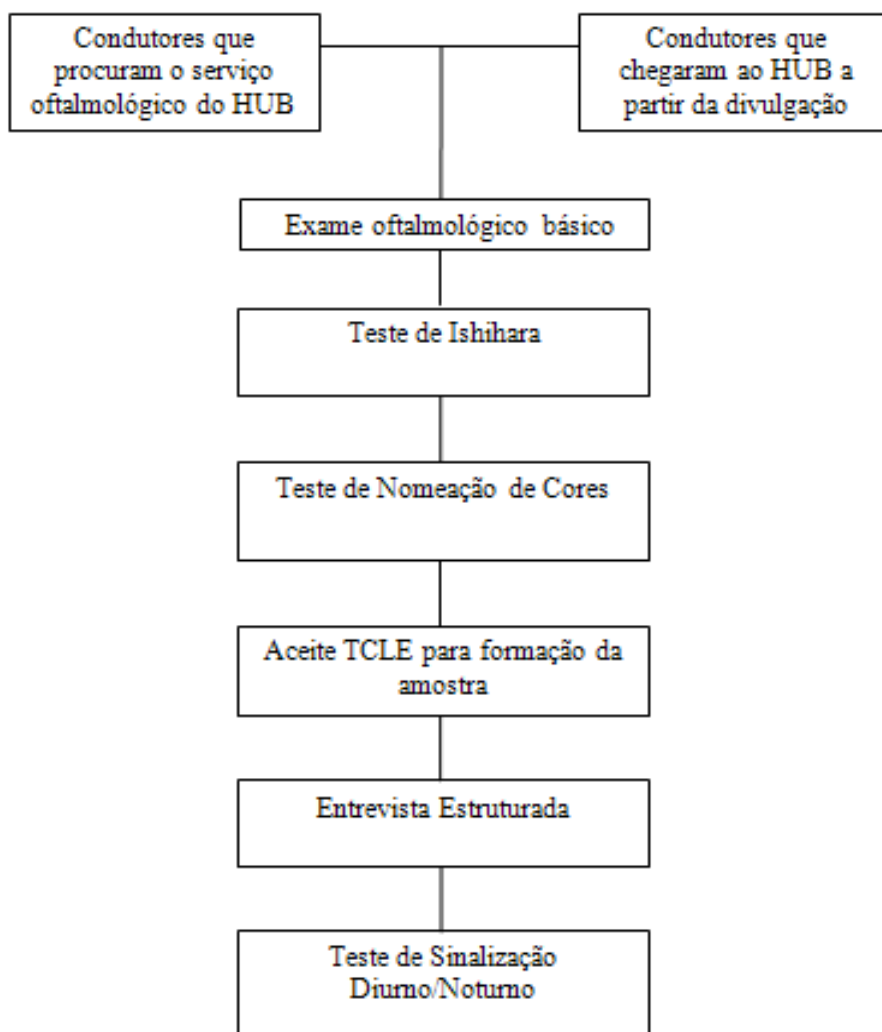


Figura 4.16: Sequência de atividades para a coleta de dados

#### **4.4. TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS**

Nessa etapa, os indivíduos foram numerados pela classificação quanto ao tipo e ao grau de discromatopsia, na ordem cronológica em que eram inseridos na amostra. Ao lado do número era registrada a classificação do tipo e do grau de discromatopsia congênita obtidos nos testes de avaliação cromática. Os dados resultantes da entrevista foram tratados e os resultados dos testes de sinalização foram tabulados. Tabulação é a ordenação dos dados em tabelas ou quadros, possibilitando verificar a relação que eles guardam entre si (Oliveira, 1998). Neste estudo, a tabulação dos dados foi realizada com o uso de planilhas eletrônicas.

O tratamento estatístico dos dados trabalha as informações obtidas em pesquisas, associando os dados ao problema, capacitando o pesquisador a obter conclusões, de tal forma que possam ser entendidas por outras pessoas (Nério, 2008). O papel do método estatístico é fornecer uma descrição quantitativa do objeto estudado. Isto é, ele permite a interpretação e análise dos dados. No Capítulo 5, os resultados da pesquisa, incluindo as análises realizadas, são apresentados.

#### **4.5. TÓPICOS CONCLUSIVOS**

Apesar do receio, em grande parte dos condutores daltônicos, em declarar sua condição como portadores de um distúrbio e sofrerem possíveis implicações em seu direito de conduzir veículos automotores, todos os integrantes da amostra se mostraram dispostos a colaborar com a realização desta pesquisa.

Para a coleta de dados foram utilizados dois testes de avaliação cromática, uma entrevista estruturada e um teste de sinalização. Os testes de avaliação cromática permitiram o diagnóstico e classificação dos integrantes da amostra. A entrevista estruturada procurou verificar a experiência prática dos daltônicos enquanto condutores. O teste de sinalização, realizado em ambiente controlado, verificou as dificuldades de percepção cromática desses condutores com relação a materiais usados na sinalização horizontal, vertical e semaforica. Foi analisado, também, o impacto da iluminação do ambiente sobre a percepção cromática da sinalização.

## **5. ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS**

Neste Capítulo, é apresentada a avaliação dos condutores portadores de discromatopsia congênita na identificação das cores de diferentes dispositivos da sinalização viária. Para tanto, foram utilizados dois testes de avaliação cromática, uma entrevista estruturada e um teste de sinalização. As respostas da entrevista estruturada e do Teste de Sinalização foram tabuladas com o uso de planilhas eletrônicas e encontram-se no Apêndice C deste trabalho.

Os testes de avaliação cromática serviram para diagnosticar e classificar o tipo e o grau de severidade do distúrbio de visão em cores, além de evidenciar a diferença de resultados entre dois dos vários testes existentes para verificar a percepção cromática de um indivíduo.

Na entrevista estruturada houve o contato direto com cada um dos entrevistados, o que permitiu um melhor entendimento da real situação do condutor daltônico perante as condições a que está exposto em seu cotidiano, tanto com relação aos critérios definidos pela legislação de trânsito referente à obtenção da Carteira Nacional de Habilitação (CNH), quanto com relação à interpretação da sinalização viária.

O teste de sinalização permitiu identificar as principais dificuldades dos condutores daltônicos na percepção das cores de alguns materiais utilizados no acabamento da sinalização viária e dos focos semafóricos, sob diferentes condições de iluminação do ambiente.

### **5.1. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS**

O tratamento estatístico dos dados foi feito a partir das tabulações que mostram os resultados dos testes aplicados aos integrantes da amostra. Com a finalidade de facilitar a tabulação dos dados, os indivíduos foram numerados de acordo com a classificação da discromatopsia. Assim, os indivíduos numerados de 1 a 19 são deuteranômalos, os de 20 a 25 são protanômalos, os de 26 a 28 são deuteranopes e os de 29 a 32 são protanopes.

Para os cálculos estatísticos realizados com os dados coletados na entrevista estruturada e no Teste de Sinalização, admitiu-se um nível de confiança de 90% (isto é,  $\alpha = 10\%$ ). Assim, para a estimativa do intervalo de confiança para os valores (expressos em proporções) de algumas variáveis observadas na amostra, para a população, foi usada a Equação 5.1.

$$IC = \left[ \bar{p} \pm Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \right] \quad (5.1)$$

Em que:

$n$  = número de elementos da amostra

$\bar{p}$  = proporção observada na amostra

$Z_{\alpha/2}$  = Valor da distribuição normal padronizada para o nível de significância desejado (para  $\alpha = 10\%$ ,  $Z_{\alpha/2} = 1,645$ ).

Além da estimativa por intervalo, diferentes testes estatísticos foram aplicados. Esses testes são a seguir, brevemente descritos.

### 5.1.1. Teste de Associação Qui-quadrado ( $\chi^2$ )

Para testar a associação entre duas variáveis qualitativas na população alvo foi utilizado o teste qui-quadrado. Este teste é realizado com base na classificação das observações referentes a variáveis qualitativas de acordo com dois critérios.

Para a realização do teste, as observações são apresentadas na forma de uma tabela, denominada Tabela de Contingência. O teste  $\chi^2$  pode ser aplicado para:

a) testar a independência das variáveis. Neste caso é realizada a análise das seguintes hipóteses:

- $H_0$ : As variáveis “XX” e “YY” são independentes na população;
- $H_1$ : Existe associação entre as variáveis “XX” e “YY” na população.

b) testar a homogeneidade das variáveis. Nesse caso, verificar se há diferenças entre grupos com relação a um critério. Para esse teste tem-se:

- $H_0$ : a proporção de elementos das categorias da variável “XX” nas categorias de “YY” é a mesma;
- $H_1$ : existe diferença entre a proporção de elementos das categorias da variável “XX” nas categorias de “YY”.

A estatística do teste, designada  $\chi^2$  (qui-quadrado) é calculada pela Equação 5.2.

$$\chi_{gl}^2 = \sum \left\{ \frac{(O - E)^2}{E} \right\} \quad (5.2)$$

Em que:

gl = graus de liberdade = (n° de linhas – 1) x (n° de colunas – 1)

O = frequência observada em uma célula da tabela de contingência;

E = frequência esperada em célula da tabela de contingência, obtida pela Equação 5.3.

$$E = \frac{(\text{total da linha}) \times (\text{total da coluna})}{(\text{total geral})} \quad (5.3)$$

A verificação da aceitação ou rejeição da hipótese nula ( $H_0$ ) é feita pela determinação da probabilidade de significância “P”, que representa a probabilidade da estatística  $\chi^2$  assumir um valor maior ou igual ao  $\chi^2$  calculado a partir dos dados amostrais. Sendo “ $\alpha$ ”, o nível de significância desejado para o teste, tem-se que:

- se  $P > \alpha$ , aceitar  $H_0$ ;
- se  $P \leq \alpha$ , rejeitar  $H_0$ .

Destaca-se que o teste  $\chi^2$  deve ser aplicado somente quando as seguintes condições forem observadas:

- amostra grande;
- os dados estão organizados em uma tabela de contingência, isto é, cada elemento observado é alocado em somente uma casela.



A maioria dos autores considera que o teste  $\chi^2$  pode ser aplicado quando todas as frequências esperadas forem maiores ou iguais a cinco, e que quando alguma frequência esperada for inferior a cinco, pode-se aplicar o teste exato de Fisher (Barbetta, 2002).

Ainda, em situações de tabelas de contingência com mais de 2 colunas ou 2 linhas ( o que implica em grau de liberdade maior que 1), o teste  $\chi^2$  pode ser adotado se o número de células com frequência esperada inferior a 5 é menor que 20% do total de células e nenhuma frequência esperada for igual a zero (Beiguelman, 1996).

Além disso, mesmo quando as condições gerais indicam que o teste  $\chi^2$  pode ser aplicado, quando a tabela de contingência tiver a dimensão 2x2 (implica em grau de liberdade igual a 1) e existir alguma frequência esperada entre 5 e 10, é recomendável usar a Equação 5.4, que inclui a chamada continuidade de Yates (Barbetta, 2002).

$$\chi_{gl}^2 = \sum \frac{(|O - E| - 0,5)^2}{E} \quad (5.4)$$

Em que O e E são os mesmos elementos da Equação 5.2.

### 5.1.2. Teste de Fisher

Como o teste  $\chi^2$  não pôde ser realizado, o teste de Fisher foi, então, aplicado para verificar, por exemplo, se a identificação das cores da sinalização depende do tipo e do nível do distúrbio.

O teste de Fisher é empregado, em geral, nos seguintes casos:

- o tamanho da amostra (n) é menor do que 20;
- $20 < n < 40$ , e a menor frequência esperada (E) for menor do que 5.

O teste de Fisher está representado pela Equação 5.5.

$$P = \frac{G!H!E!F!}{I!} \times \frac{1}{a!c!b!d!} \quad (5.5)$$

Em que:

G, H = valor total da linha (nº total de observações da linha)

E, F = valor total da coluna (nº total de observações da coluna)

I = nº total de observações

a, b, c, d = nº de observações em cada célula

P = probabilidade de significância

A Tabela 5.1 ilustra os componentes da Equação 5.5.

Tabela 5.1: Elementos da tabela de contingência usados por Fisher

<b>Variável XX</b>	<b>Variável YY</b>		<b>Total</b>
	Situação Y1	Situação Y2	
Situação X1	a	c	G
Situação X2	b	d	H
Total	E	F	I

Caso alguma célula tenha valor zero usa-se a Equação 5.5. No entanto, se não houver célula com o valor zero deve-se:

- 1) calcular a probabilidade identicamente pela Equação 5.5;
- 2) construir outra tabela 2x2, subtraindo-se uma unidade dos valores da diagonal que contiver o menor número de casos, e adicionando essa unidade aos valores das células da outra diagonal;
- 3) calcular novamente a probabilidade e voltar para o procedimento 2. Os procedimentos 2 e 3 são repetidos até que a tabela construída tenha pelo menos uma célula com valor zero;
- 4) somar todas as probabilidades calculadas. Esta soma fornece o valor da probabilidade de significância P do teste.

### 5.1.3. Teste Mc-Nemar

O teste de Mc-Nemar é uma estatística qui-quadrada ( $\chi^2$ ) usada quando uma única amostra passa por duas situações distintas e deseja-se determinar a associação dessas duas situações. Esse teste é utilizado em tabelas de contingência 2x2, onde se determina se a linha e a coluna possuem frequências marginais iguais (Mc-Nemar, 1947). O teste é feito por meio da Equação 5.6.

$$\chi^2 = \frac{(b - c)^2}{b + c} \quad (5.6)$$

Em que:

b, c = diagonais da Tabela de Contingência, referentes a respostas distintas nas duas situações analisadas (discordâncias)

A Tabela 5.2 mostra os componentes da Equação 5.6.

Tabela 5. 2: Elementos da tabela de contingência usados por Mc-Nemar

		Situação 1		Total
		Sim	Não	
Situação 2	Sim	a	b	a + b
	Não	c	d	c + d

Este teste foi empregado para verificar se as respostas dos condutores daltônicos sobre a dificuldade de identificar as cores da sinalização viária, obtidas nas entrevistas, eram compatíveis com as obtidas com o teste de sinalização realizado.

### 5.1.4. Teste de Hipótese para Diferença de Proporções

O teste de hipótese para diferença de proporções permitiu determinar, por meio das proporções dos erros cometidos na identificação das cores dos materiais usados no Teste de Sinalização, quais desses materiais apresentavam uma melhor percepção cromática para os condutores da amostra. Foram testadas as seguintes hipóteses:

- $H_0$ : As proporções de erros cometidas no teste com os materiais 1 e 2 ( $p_1$  e  $p_2$ ) são iguais;
- $H_1$ : As proporções de erros cometidas no teste com os materiais 1 e 2 ( $p_1$  e  $p_2$ ) são diferentes.

Esse teste é representado pelas Equações 5.7 e 5.8.

$$\hat{p} = \frac{n_1\hat{p}_1 + n_2\hat{p}_2}{n_1 + n_2} \quad (5.7)$$

$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}(1 - \hat{p}) \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (5.8)$$

Em que:

$Z$  = valor da distribuição normal padronizada

$\hat{p}_1$  = estimativa de  $p_1$  a partir das observações com o material 1

$n_1$  = número de observações feitas com o material 1

$\hat{p}_2$  = estimativa de  $p_2$  a partir das observações feitas com o material 2

$n_2$  = número de observações feitas com o material 2

A verificação da aceitação ou rejeição da hipótese nula ( $H_0$ ) é feita pela determinação da probabilidade de significância “P”, obtida a partir do valor de  $Z$  (Equação 5.8). Sendo “ $\alpha$ ”, o nível de significância desejado para o teste, tem-se que:

- se  $P > \alpha$ , aceitar  $H_0$ ;
- se  $P \leq \alpha$ , rejeitar  $H_0$ .

## 5.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

A amostra desta pesquisa foi constituída por 32 condutores portadores de discromatopsia congênita com experiência em dirigir nas vias do Distrito federal. Todos os integrantes são

do sexo masculino, evidenciando a maior incidência do distúrbio de visão em cores nos homens, já que o gene responsável pelo daltonismo está ligado ao cromossomo X. As mulheres geralmente são apenas portadoras, não manifestando a dificuldade no reconhecimento das cores.

Todos os tipos de discromatopsias diagnosticadas na amostra fazem parte das chamadas deficiências vermelho-verde. Esse resultado já era esperado pelo fato da incidência das deficiências vermelho-verde ser maior que os demais tipos de discromatopsias congênitas, como alegam Bruni e Cruz (2006).

A Figura 5.1 ilustra o resultado do Teste de Ishihara para os 32 participantes. Foram diagnosticados 19 portadores de deuteranomalia (deficiência para a cor verde e de grau leve e/ou médio), 3 deuteranopes (deficientes para a cor verde e de grau severo), 6 protanômalos (deficientes para a cor vermelha e de grau leve e/ou médio) e 4 protanopes (deficientes para a cor vermelha e de grau severo).

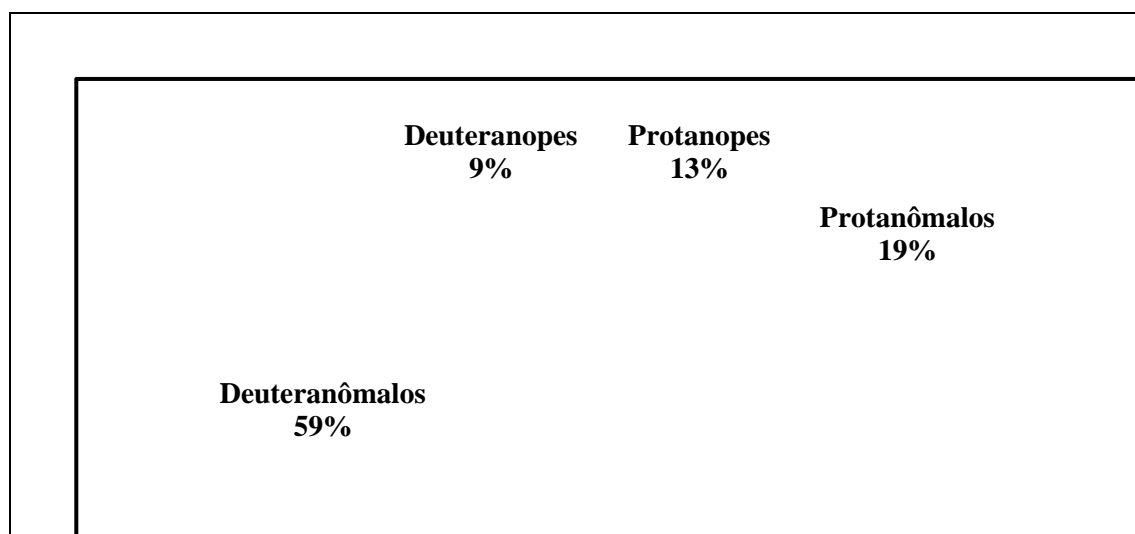


Figura 5.1: Resultados do Teste de Ishihara

O Teste de Nomeação de Cores, escolhido para esta pesquisa, utiliza cartões coloridos feitos de acordo com o recomendado por Adura e Sabbag (2007) para candidatos a condutores. Apesar desse teste não ter demonstrado eficiência no diagnóstico positivo ou negativo para o daltonismo, ele verificou a capacidade de reconhecimento das cores, pelos participantes da amostra, exigidas pela legislação de trânsito nacional.

A Figura 5.2 ilustra o resultado do Teste de Nomeação de Cores (TNC). Do total da amostra, apenas 3 indivíduos não conseguiram reconhecer as cores dos cartões apresentados nesse teste. A aplicação dos dois testes de avaliação cromática para todos os integrantes da amostra permitiu observar a diferença dos resultados entre eles. Assim, se apenas o TNC tivesse sido aplicado, 91% dos daltônicos não teriam sido identificados.

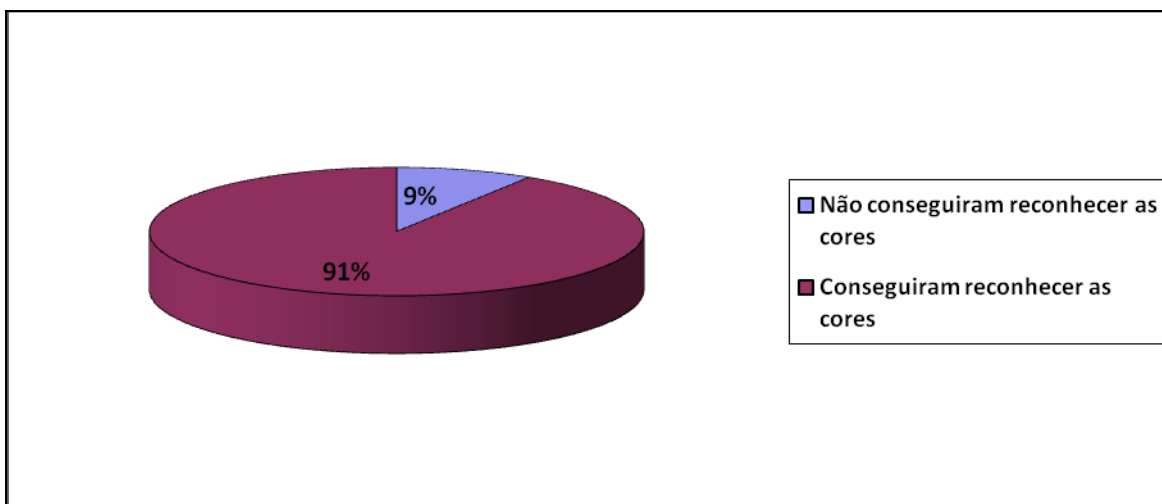


Figura 5.2: Resultado do Teste de Nomeação de Cores (TNC)

Determinadas situações no trânsito obrigam os condutores a tomarem decisões em frações de segundos para evitar um possível acidente. A dificuldade de reconhecimento das cores na sinalização viária pode aumentar o tempo de reação do motorista diante de situações adversas, provocando ou aumentando a severidade dos acidentes (Daros, 2007).

Os acidentes de trânsito costumam ser mais severos nas rodovias, onde a velocidade máxima permitida geralmente é maior que dentro de áreas urbanas. A Tabela 5.3 mostra a porcentagem dos componentes da amostra que dirige apenas em cidades, e dos que, além das cidades, também conduzem veículos em rodovias.

Tabela 5.3: Locais comuns para a condução de veículos

<b>Locais</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Cidades	9	28,1%
Cidades e Rodovias	23	71,9%
	32	100%

A partir dos dados da amostra e com um nível de confiança de 90%, é possível inferir que dos condutores daltônicos que dirigem no Distrito Federal:

- de 15% a 41% dirigem apenas dentro dos centros urbanos;
- de 59% a 85% também dirigem em rodovias.

### 5.3. SOBRE A AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO CROMÁTICA

O Teste de Ishihara demonstrou ser totalmente eficiente para o diagnóstico e classificação do tipo e do grau de severidade da discromatopsia congênita apresentada pelos participantes da amostra. O TNC, por sua vez, apenas verificou a capacidade de reconhecimento das cores exigidas pela legislação de trânsito nacional.

Em 1998, os critérios oftalmológicos exigidos pela legislação nacional de trânsito sofreram modificações com a Resolução 51/98 que removeu a exigência do uso de pranchas pseudoisocromáticas como o Teste de Ishihara. A Tabela 5.4 ilustra o tipo de teste realizado pelos condutores da amostra em relação ao ano da mudança dos critérios de avaliação cromática.

Tabela 5.4: Data da CNH e tipo de teste para condutores da amostra

Data	Testes realizados				Total	%
	Ishihara	TNC	Ishihara + TNC	Nenhum		
Anterior a 1998	–	60%	15%	15%	15	100%
Posterior a 1998	53%	23,5%	23,5%	–	17	100%

Quando o Teste de Ishihara ainda era obrigatório, ou seja, antes de janeiro de 1998, apenas 15% da amostra realizou esse tipo de teste no exame oftalmológico. No entanto, após a retirada da exigência desse teste pela legislação de trânsito, a porcentagem de condutores daltônicos que se submeteram ao Teste de Ishihara passou para 76,5%. Uma possível explicação para o aumento do uso do Teste de Ishihara, pelos médicos peritos examinadores no exame para candidatos a condutores, pode ser atribuída ao fato desse teste ser um dos mais eficazes e ter se tornado um dos testes mais conhecidos para o diagnóstico e classificação das formas protan e deutan da discromatopsia congênita como afirmam Bruni e Cruz (2006).

No entanto, como a legislação nacional de trânsito não especifica qual o tipo de teste de avaliação cromática deve ser aplicado aos candidatos a condutores, observa-se que o uso de outros testes para avaliar a percepção cromática do indivíduo, como o TNC, é frequente e pode variar a critério do médico oftalmologista.

A Tabela 5.5 mostra a relação entre o local onde foi obtida a primeira habilitação e o tipo de teste de avaliação cromática realizado pelos condutores portadores de discromatopsia congênita integrantes da amostra. Mesmo em um único local, como no caso do Distrito Federal, os testes realizados para os candidatos a condutores variam muito. Nos demais locais, essa diversidade em relação aos critérios de avaliação cromática não foi percebida em virtude do pequeno número de indivíduos de outros Estados na amostra.

Tabela 5.5: Local da CNH e tipo de teste para condutores da amostra

Local	Testes realizados				Total	%
	Ishihara	TNC	Ishihara + TNC	Nenhum		
DF	34,8%	30,4%	30,4%	4,4%	23	100%
SP	–	100%	–	–	4	100%
GO	–	100%	–	–	1	100%
PE	–	100%	–	–	1	100%
PR	–	–	–	100%	1	100%
BA	–	–	–	100%	1	100%
MG	100%	–	–	–	1	100%

Para candidatos a condutores, portadores de discromatopsia congênita dos tipos deutan e protan, a aplicação do Teste de Ishihara pode ser um obstáculo à obtenção da habilitação, uma vez que o distúrbio de percepção cromática inevitavelmente será identificado. Caberá, portanto, ao médico perito examinador decidir se o candidato é apto ou não a reconhecer as cores da sinalização de trânsito.

A falta de padronização para a avaliação cromática leva os condutores daltônicos a passarem por experiências diversas. A Tabela 5.6 mostra a relação entre a categoria da habilitação e o tipo de teste de avaliação cromática realizado pelos condutores da amostra.



A falta de indicação na legislação nacional de trânsito do teste a ser empregado para a visão cromática do candidato a condutor permite que pessoas habilitadas para a categoria D façam testes cromáticos mais simples que os habilitados para a categoria B ou A.

Tabela 5.6: Categoria e tipo de teste para condutores da amostra

Categoria	Testes realizados				Total	%
	Ishihara	TNC	Ishihara + TNC	Nenhum		
A	100%	–	–	–	1	100%
B	23%	45%	23%	9%	22	100%
AB	37,5%	25%	25%	12,5%	8	100%
D	–	100%	–	–	1	100%

A Tabela 5.7 mostra uma análise global dos dados amostrais em relação ao tipo de teste de avaliação cromática aos quais os indivíduos da amostra foram submetidos no exame oftalmológico para a obtenção da primeira habilitação.

Tabela 5.7: Síntese do tipo de teste realizado pela amostra

Tipo de teste	Total	%
Nenhum	3	9,4%
TNC	13	40,6%
Ishihara	9	28,1%
Ishihara + TNC	7	21,9%
	32	100%

Fazendo a estimativa do intervalo de confiança para o tipo de teste de avaliação da percepção cromática a que são submetidos os condutores portadores de discromatopsia congênita com experiência em dirigir pelas vias do Distrito federal, com o uso da Equação 5.1, é possível inferir que:

- de 1% a 18% não realizam nenhum teste de avaliação da percepção cromática quando do exame para a primeira habilitação;
- de 26% a 55% realizam apenas o TNC;
- de 15% a 41% são submetidos apenas ao Teste de Ishihara;

- de 10% a 34% são submetidos ao Teste de Ishihara e ao serem diagnosticados portadores de discromatopsia congênita realizam o TNC para a verificação do reconhecimento das cores exigidas pela legislação de trânsito nacional.

Como os intervalos de confiança foram muito amplos, em função do tamanho da amostra estudada, as estimativas para a população alvo permitem apenas uma avaliação preliminar da questão.

Alguns dos integrantes da amostra não sabiam o nome do distúrbio de percepção cromática, outros não conheciam suas principais características ou sabiam definir exatamente o tipo ou o grau de daltonismo que possuíam. No entanto, todos os indivíduos analisados já tinham conhecimento sobre o fato de terem dificuldade de reconhecer determinadas cores no momento em que foi feita a coleta de dados para este trabalho.

A Tabela 5.8 mostra a porcentagem dos integrantes da amostra que descobriu portar a discromatopsia congênita antes dos exames para a obtenção da habilitação (Antes), a porcentagem que soube durante os exames (Durante) e aquela que passou por todas as etapas do processo sem saber portar do distúrbio (Após).

Tabela 5.8: Descoberta do distúrbio em relação aos exames para habilitação

<b>Exames para obtenção de CNH</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Antes	20	62%
Durante	7	22%
Após	5	16%
	32	100%

Com um nível de confiança de 90%, é possível inferir que, dos condutores portadores de discromatopsia congênita que dirigem no Distrito Federal:

- de 48% a 76% já sabem ser portadores de discromatopsia congênita antes dos exames oftalmológicos para a obtenção da CNH;
- de 10% a 34% descobrem durante os exames;
- e de 5% a 27% completam o processo de habilitação para a condução de veículos automotores desconhecendo o fato de portarem daltonismo.

Do mesmo modo que o observado na questão do “tipo de teste realizado” os IC’s das estimativas para a população alvo são bastante amplos e, por isso, de aplicação limitada.

#### **5.4. SOBRE A PERCEPÇÃO DAS CORES DA SINALIZAÇÃO VIÁRIA**

A entrevista estruturada e o teste de sinalização serviram para verificar a relação dos condutores portadores de discromatopsia congênita com a sinalização viária. A entrevista procurou retratar a experiência de percepção cromática dos condutores daltônicos no ambiente viário. O teste serviu para verificar a percepção cromática dos condutores em ambiente controlado.

As questões de números 7 a 16, do roteiro de entrevista, buscavam determinar se os entrevistados sentiam alguma dificuldade no reconhecimento das cores da sinalização vertical, horizontal e semaforica, durante o dia e durante a noite. As questões eram fechadas com duas possibilidades de respostas: (sim) para quem tinha dificuldades e (não) para quem não sentia ter problemas com a identificação das cores da sinalização horizontal, vertical e semaforica.

Nas seções a seguir são apresentados os resultados obtidos para a sinalização horizontal, vertical e semaforica. Para cada um dos subsistemas da sinalização viária procurou-se verificar:

- a) para cada tipo de avaliação (teste de sinalização e entrevista), se existe diferença entre a percepção dos dois níveis de cada tipo de distúrbio. O objetivo dessa análise é verificar se os demais resultados podem ser trabalhados de forma agregada, considerando os integrantes da amostra de modo genérico como “deutans” e “protans”;
- b) para as categorias de análise definidas em (a) verificar se houve diferença de resultados entre os obtidos pela “entrevista” e pelo “teste de sinalização”. A análise é feita em conjunto para o período diurno (D) e noturno (N), chamando “dificuldade”;
- c) levando apenas em conta os resultados do teste de sinalização, avaliar a diferença entre a capacidade de percepção cromática dos grupos mostrados em (a).

### 5.4.1. Sinalização Horizontal

A Tabela 5.9 mostra o valor da probabilidade de significância (P) obtido por meio da aplicação do teste de Fisher nas categorias de severidade e tipo de distúrbio com relação à dificuldade de reconhecimento das cores da sinalização horizontal. A dificuldade no reconhecimento da sinalização foi considerada presente sempre que o indivíduo relatasse (entrevista) ou cometesse (teste) erros na identificação das cores. O teste de Fisher foi realizado em separado para os resultados obtidos por meio da entrevista e para os resultados produzidos pelo teste de sinalização.

Tabela 5.9: Valores de P para as categorias de daltônicos

<b>Categorias</b>	<b>Entrevista</b>	<b>Teste</b>
Deuteranômalos x deuteranopes	0,40	0,03
Protanômalos x protanopes	0,002	1
Deuteranômalos x protanômalos	0,76	0,76
Deuteranopes x protanopes	0,11	0,142
Deutan x protan	0,49	0,310

Para um nível de significância de 10%, no caso da entrevista, houve uma diferença significativa de percepção da sinalização horizontal entre os protanômalos e protanopes. No caso do teste, houve uma diferença significativa entre deuteranômalos e deuteranopes ( $P=0,03$ ), ou seja, essas categorias estão associadas a uma maior ou menor dificuldade na percepção das cores da sinalização horizontal.

Portanto, as demais análises devem ser feitas para as quatro categorias de daltônicos de forma separada, ou seja, para deuteranômalos, deuteranopes, protanômalos e protanopes.

Por meio dos valores de P mostrados na Tabela 5.9, verifica-se, também, que não existe diferença significativa na percepção das cores amarela e branca da sinalização horizontal entre os portadores de mesmo grau de severidade para os dois tipos de distúrbio considerados, nem em nível global (deutan x protan).

Por meio do teste de Mc-Nemar foram comparados os dados obtidos na entrevista com os do teste de sinalização. A Tabela 5.10 mostra os valores da probabilidade de significância

(P) obtidos pelo teste de Mc-Nemar, para as categorias de daltônicos, a fim de verificar se houve diferença de resultados entre os coletados pela entrevista e os obtidos no teste de sinalização horizontal. Os valores menores que 0,1 indicam que há diferenças entre as dificuldades relatadas na entrevista e a dificuldade percebida no teste de sinalização, correspondendo a  $\alpha = 10\%$ .

Tabela 5.10: Valores de P para diferenças entre Teste e Entrevista (Mc-Nemar)

<b>Categorias</b>	<b>Sinalização horizontal</b>
Deuteranômalos	0,479
Deuteranopes	1
Protanômalos	1
Protanopes	1

Pelos dados da Tabela 5.10, verifica-se que não houve diferenças entre a dificuldade relatada e a dificuldade percebida no teste para a sinalização horizontal, pois todos os valores de P foram maiores do que 0,1. Assim, o teste feito em ambiente controlado consegue refletir devidamente a dificuldade relatada por todas as categorias de daltônicos, independentemente do tipo ou grau de severidade do distúrbio.

A Tabela 5.11 mostra o percentual da amostra com dificuldade para a percepção das cores com relação à sinalização horizontal, por meio dos dados obtidos no teste de sinalização. No caso da dificuldade “teste” foi considerado qualquer erro cometido na identificação das cores dos dois materiais testados (termoplástico extrudado e tinta a base de resina acrílica). Quando a dificuldade ocorria em ambas as condições de iluminação, diurna (D) e noturna (N), essa era colocada na coluna (A). A coluna S representa os indivíduos que não cometeram nenhum erro durante o Teste de Sinalização.

Tabela 5.11: Dificuldades em relação à sinalização horizontal “Teste”

Distúrbio	Severidade	Dificuldade “Teste”			S	Total	
		D	N	A		n°	(%)
Deutan	Deuteranômalos	1 (5%)			18 (95%)	19	(100%)
	Deuteranopes	2 (67%)			1 (33%)	3	(100%)
Protan	Protanômalos				6 (100%)	6	(100%)
	Protanopes				4 (100%)	4	(100%)
Total		3	0	0	29	32	(100%)

A dificuldade “teste” dos deuteranopes foi elevada, tanto a relatada na entrevista quanto à detectada pelo teste, sobretudo durante o dia, quando 67% dos componentes do grupo de deuteranopes testados apresentaram dificuldade. Na entrevista, todos os deuteranopes relataram dificuldade em reconhecer as cores da sinalização horizontal, durante o dia e à noite (ver Tabela C6).

Pela Tabela 5.11, com um nível de confiança de 90%, é possível inferir que possuem dificuldades em identificar a cor branca e a amarela da sinalização horizontal:

- nenhum dos deuteranômalos;
- de 22% a 100% dos deuteranopes.

Os resultados do teste de sinalização mostraram, também, que os portadores da dificuldade para a identificação da cor vermelha (protan) não apresentaram nenhuma dificuldade para identificar a cor branca e a amarela da sinalização horizontal.

#### 5.4.2. Sinalização Vertical

A Tabela 5.12 mostra o valor da probabilidade (P) obtido por meio da aplicação do teste de Fisher nas categorias de severidade e tipo de distúrbio com relação à dificuldade de reconhecimento das cores da sinalização vertical. Os dados mostram que, com base nos relatos, os deuteranômalos possuem dificuldade diferente dos deuteranopes em perceber as cores da sinalização vertical, para  $\alpha = 10\%$ . Portanto, as categorias do distúrbio de percepção de cores devem ser analisadas de forma separada e não de forma agregada.

Tabela 5.12: Valores de P (Fisher) para as categorias de daltônicos

<b>Categorias</b>	<b>Entrevista</b>	<b>Teste</b>
Deuteranômalos x deuteranopes	0,07	0,86
Protanômalos x protanopes	1	0,60
Deuteranômalos x protanômalos	0,57	0,43
Deuteranopes x protanopes	0,14	1
Deutan x protan	0,20	0,44

Embora a diferença entre a percepção das cores da sinalização vertical entre os protanômalos e os protanopes não tenha sido estatisticamente significativa nos dois instrumentos considerados, optou-se por prosseguir a análise dos portadores do tipo protan de modo similar a do tipo deutan do distúrbio (forma desagregada).

Por meio do teste de Mc-Nemar os dados obtidos na entrevista e os do teste de sinalização foram comparados entre si. A Tabela 5.13 mostra os valores de P para as categorias de daltônicos, permitindo verificar se houve diferença de resultados entre os coletados pela entrevista e os obtidos no teste de sinalização vertical.

Tabela 5.13: Valores de P para diferenças entre Teste e Entrevista (Mc-Nemar)

<b>Categorias</b>	<b>Sinalização vertical</b>
Deuteranômalos	0,0002
Deuteranopes	0,479
Protanômalos	0,074
Protanopes	0,134

Para o nível de significância adotado neste estudo ( $\alpha = 10\%$ ), observa-se que os resultados obtidos em ambiente controlado não foram correspondentes aos relatados pelos deuteranômalos e pelos protanômalos.

A Tabela 5.14 mostra as dificuldades dos integrantes da amostra em reconhecer as cores da sinalização vertical com base no Teste de Sinalização. Considera-se que um indivíduo apresenta dificuldade no “teste” quando comete algum erro no reconhecimento das cores de todas as películas utilizadas no teste de sinalização. A coluna (S) representa os

condutores que não cometeram nenhum erro na identificação das cores das películas testadas, enquanto as colunas D, N e A representam, respectivamente, os que erraram em ambiente diurno, noturno e em ambos.

Tabela 5.14: Dificuldades em relação à sinalização vertical “Teste”

Distúrbio	Severidade	Dificuldade “Teste”			S	Total	
		D	N	A		n°	%
Deutan	Deuteranômalos	1 5%	1 5%	16 85%	1 5%	19	100%
	Deuteranopes			3 100%			
Protan	Protanômalos	1 16,7%	1 16,7%	3 50%	1 16,6%	6	100%
	Protanopes			4 100%			
Total		2	2	26	2	32	100%

Pela Tabela 5.14, com um nível de confiança de 90%, é possível inferir que possuem dificuldades em reconhecer as cores da sinalização vertical:

- de 79% a 100% dos portadores de deuteranomia;
- 100% dos portadores de deuteranopia;
- 100% dos portadores de protanopia;
- de 58% a 100% dos portadores de protanomalia.

Cabe ressaltar que o teste de sinalização não comprovou o fato de que deuteranopes e deuteranômalos tenham dificuldades diferenciadas em reconhecer as cores da sinalização vertical, do mesmo modo que os protanômalos e os protanopes (ver Tabela 5.12).

Os resultados das entrevistas, mostrados na Tabela 5.15, revelam que as dificuldades relatadas pelos condutores portadores de deuteranomalia e protanomalia são inferiores às que se poderia esperar com base apenas nos testes realizados em ambiente controlado (ver tabela 5.14). Para essas categorias de daltônicos, a porcentagem de pessoas que apresentaram erros na identificação de cores das películas utilizadas para o acabamento das



placas de trânsito foi maior do que o número de entrevistados que admitiram sentir dificuldades para o reconhecimento das cores dos sinais verticais.

Tabela 5. 15: Resultados “entrevista” sinalização vertical

Distúrbio	Severidade	Dificuldade “Entrevista”			S	Total	
		D	N	A		n°	(%)
Deutan	Deuteranômalos	1 (5%)		1 (5%)	17 (90%)	19	(100%)
	Deuteranopes			2 (67%)	1 (33%)	3	(100%)
Protan	Protanômalos				6 (100%)	6	(100%)
	Protanopes				4 (100%)	4	(100%)
Total			2	3	27	32	(100%)

### 5.4.3. Sinalização Semafórica

A Tabela 5.16 mostra o valor da probabilidade (P) obtido por meio da aplicação do teste de Fisher nas categorias de severidade e tipo de distúrbio com relação à dificuldade de reconhecimento das cores da sinalização semafórica. O resultado mostra que, no teste de sinalização, existiu uma diferença significativa da percepção da sinalização semafórica entre os deuteranômalos e protanômalos e, conseqüentemente, uma diferença entre os tipos deutan e protan, ou seja, para essas categorias, o tipo de daltonismo está associado a uma maior ou menor dificuldade em reconhecer as cores da sinalização semafórica.

Tabela 5.16: Valores de P para as categorias de daltônicos

Categorias	Entrevista	Teste
Deuteranômalos x deuteranopes	0,295	0,53
Protanômalos x protanopes	0,33	0,118
Deuteranômalos x protanômalos	0,348	0,011
Deuteranopes x protanopes	0,286	0,571
Deutan x protan	0,627	0,027

O teste de Fisher mostrou, também, que a diferença entre os níveis de um mesmo distúrbio na identificação das cores da sinalização semafórica não é estatisticamente significativa para  $\alpha = 10\%$ . Ou seja, para efeito do estudo da sinalização semafórica pode-se trabalhar de forma agregada (distúrbio do tipo protan x tipo deutan).

Por meio do teste de Mc-Nemar foram comparados os dados obtidos na entrevista com os do teste de sinalização. A Tabela 5.17 mostra os valores de P para as categorias de daltônicos a fim de verificar se houve diferença de resultados entre os coletados pela entrevista e os obtidos no teste de sinalização semafórica.

Tabela 5.17: Valores de P para diferenças entre Teste e Entrevista (Mc-Nemar)

<b>Categorias</b>	<b>Sinalização semafórica</b>
Deuteranômalos	0,772
Deuteranopes	1
Protanômalos	0,133
Protanopes	1

Com base no teste de Mc-Nemar, pode-se verificar que o teste em ambiente controlado consegue refletir a dificuldade relatada pelos condutores da amostra, com relação às dificuldades de identificar as cores dos focos semafóricos, independentemente do tipo ou grau de severidade do distúrbio, para  $\alpha = 10\%$ .

Na Tabela 5.18, foi definida como dificuldade no “teste” qualquer erro cometido na identificação das cores de ambos os tipos de focos utilizados no teste de sinalização.

Tabela 5.18: Dificuldades em relação à sinalização semafórica “Teste”

<b>Distúrbio</b>	<b>Severidade</b>	<b>Dificuldade “Teste”</b>			<b>S</b>	<b>Total</b>	
		<b>D</b>	<b>N</b>	<b>A</b>		<b>n°</b>	<b>%</b>
Deutan	Deuteranômalos	1 5%	3 16%	11 58%	4 21%	19	100%
	Deuteranopes			3 100%		3	100%
Protan	Protanômalos			1 17%	5 83%	6	100%
	Protanopes		1 25%	2 50%	1 25%	4	100%
Total		1	4	17	10	32	100%

Com um nível de confiança de 90%, é possível inferir sobre os condutores daltônicos do Distrito Federal, em relação à dificuldade no reconhecimento das cores da sinalização semafórica, que:

- de 15% a 65% dos portadores da forma protan do distúrbio possuem dificuldades;
- de 68% a 95% dos portadores da forma deutan do distúrbio possuem dificuldade.

Como os intervalos de confiança obtidos não possuem valores em comum, é possível inferir que os portadores da forma deutan têm mais dificuldades em reconhecer as cores da sinalização semafórica do que os protans.

Quando foi pedido para que os entrevistados explicassem em que momento as dificuldades com relação à identificação de cores da sinalização semafórica eram mais evidentes, aqueles que tinham dificuldades durante o dia diziam não conseguir identificar os focos dependendo das condições de iluminação do sol. Nesses casos, o efeito “fantasma” pode prejudicar a percepção das cores assim como acontece com os motoristas de visão normal.

No teste de sinalização, a simulação do ambiente diurno não apresentava a luz do sol incidindo diretamente sobre o foco semafórico. Isso pode explicar o fato do número de indivíduos com erros na identificação dos focos no ambiente diurno ter sido menor do que o número de condutores daltônicos que admitiram dificuldades com a sinalização semafórica, no período diurno, durante a entrevista, como mostra a Tabela 5.19.

Tabela 5. 19: Resultados “entrevista” sinalização semafórica

Distúrbio	Severidade	Dificuldade “Entrevista”			S	Total	
		D	N	A		n°	(%)
Deutan	Deuteranômalos	6 32%	2 10%	4 21%	7 37%	19	(100%)
	Deuteranopes		1 33%	2 67%		3	(100%)
Protan	Protanômalos	3 50%	2 33%		1 17%	6	(100%)
	Protanopes	1 25%		1 25%	2 50%	4	(100%)
Total		10	5	7	10	32	(100%)

## 5.5. SOBRE OS MATERIAIS UTILIZADOS NA SINALIZAÇÃO VIÁRIA

O teste de sinalização foi realizado de forma a verificar a percepção cromática dos integrantes da amostra com relação a diferentes materiais utilizados na sinalização vertical, horizontal e semaforica. Todos os materiais foram testados em duas condições simuladas de iluminação, uma simulando o ambiente diurno (D) e outra o ambiente noturno (N).

A avaliação da influência dos materiais na percepção cromática dos daltônicos foi realizada com o uso de teste de hipótese para diferença de proporções (ver item 5.1.4).

### 5.5.1. Sinalização Horizontal

A Tabela 5.20 mostra os valores de P para as categorias de daltônicos associando dois tipos de materiais de demarcação de pavimento (tinta a base de resina acrílica e termoplástico do tipo extrudado). Foram feitos testes específicos para o período diurno (D) e o noturno (N). Os valores menores que  $\alpha$  (10%) indicam que as proporções são diferentes, e que, portanto, o material afeta a percepção cromática de forma distinta.

Tabela 5.20: Valores de P para o teste de proporções (sinalização horizontal)

<b>Distúrbio</b>	<b>D</b>	<b>N</b>
	<b>Tinta x termoplástico</b>	<b>Tinta x termoplástico</b>
Deuteranômalos	0,317	1
Deuteranopes	0,50	1
Protanômalos	1	1
Protanopes	1	1

Cada um desses materiais foi testado em apenas duas cores: a branca e a amarela. Como na amostra não havia nenhum portador das deficiências azul-amarelo, não se pode concluir que algum desses materiais seja melhor que outro para melhor visibilidade dos condutores portadores de discromatopsia congênita.

Como mostra a Tabela 5.20, os materiais de sinalização horizontal utilizados para este trabalho não demonstraram diferenças entre si, estatisticamente significativas.

### 5.5.2. Sinalização vertical

Para testar a capacidade de identificar as cores da sinalização vertical foram testados três tipos de películas utilizadas no acabamento de placas. A película do Tipo IA possuía amostras nas cores verde, vermelha, amarela, azul, marrom, laranja, preta e branca. As películas do Tipo III e Tipo X foram testadas apenas nas cores verde, vermelha, azul e amarela. Como a película do Tipo IA apresentava quatro cores a mais que os outros tipos de películas, cabe aqui fazer uma análise específica com o Tipo IA em virtude das cores extras dessa película.

A Tabela 5.21 mostra a porcentagem de pessoas que cometeram erros na identificação das cores da película do Tipo IA, no período diurno. Comparativamente, as cores marrom, preta e laranja foram aquelas que levaram a uma maior porcentagem de condutores com erros de identificação.

Tabela 5.21: Erro em relação à película do Tipo IA (Iluminação diurna)

Distúrbio		Deutan		Protan	
		Deuteranômalos	Deuteranopes	Protanômalos	Protanopes
<b>Nº elementos amostra</b>		19 (100%)	3 (100%)	6 (100%)	4 (100%)
<b>Marrom</b>	Erros	13 (68,4%)	3 (100%)	4 (66,6%)	2 (50%)
	Acertos	6(31,6%)	0	2 (33,4%)	2 (50%)
<b>Laranja</b>	Erros	8 (42,1%)	1 (100%)	0	0
	Acertos	11 (57,9%)	0	6 (100%)	4 (100%)
<b>Branca</b>	Erros	0	0	0	0
	Acertos	19 (100%)	3 (100%)	6 (100%)	4 (100%)
<b>Preta</b>	Erros	13 (68,4%)	1 (33,3%)	1 (16,7%)	2 (50%)
	Acertos	6 (31,6%)	2 (66,7%)	5 (83,3%)	2 (50%)
<b>Azul</b>	Erros	1 (5,3%)	0	0	0
	Acertos	18 (94,7%)	3 (100%)	6 (100%)	4 (100%)
<b>Vermelha</b>	Erros	5 (26,3%)	0	1 (16,7%)	4 (100%)
	Acertos	14 (73,7%)	3 (100%)	5 (83,3%)	0
<b>Verde</b>	Erros	3 (15,8%)	1 (33,3%)	0 (16,7%)	0
	Acertos	16 (84,2%)	2 (66,7%)	6 (100%)	4 (100%)
<b>Amarela</b>	Erros	2 (10,6%)	2 (66,7%)	0	0
	Acertos	17 (89,4%)	1 (33,3%)	6 (100%)	4 (100%)

Posteriormente, esta película foi analisada em conjunto com as outras duas, levando em conta apenas as cores que as três películas possuem em comum.

A Tabela 5.22 mostra a porcentagem de pessoas que erraram na percepção das cores da película do Tipo IA, no período noturno. Comparativamente, as cores marrom, preta e laranja também levaram a um maior número de condutores com erros.

Tabela 5.22: Erro em relação à película do Tipo IA (iluminação noturna)

<b>Distúrbio</b>		<b>Deutan</b>		<b>Protan</b>	
<b>Severidade</b>		<b>Deuteranômalos</b>	<b>Deuteranopes</b>	<b>Protanômalos</b>	<b>Protanopes</b>
<b>Nº elementos amostra</b>		19 (100%)	3 (100%)	6 (100%)	4 (100%)
<b>Marrom</b>	Erros	14 (73,7%)	3 (100%)	4 (66,6%)	3 (75%)
	Acertos	5 (26,3%)	0	2 (33,4%)	1 (25%)
<b>Laranja</b>	Erros	7 (36,8%)	3 (100%)	1 (16,7%)	0
	Acertos	12 (63,2%)	0	5 (83,3%)	4 (100%)
<b>Branca</b>	Erros	0	0	0	0
	Acertos	19 (100%)	3 (100%)	6 (100%)	4 (100%)
<b>Preta</b>	Erros	12 (63,1%)	3 (100%)	2 (33,4%)	2 (50%)
	Acertos	7 (36,9%)	0	4 (66,6%)	2 (50%)
<b>Azul</b>	Erros	0	0	0	0
	Acertos	19 (100%)	3 (100%)	6 (100%)	4 (100%)
<b>Vermelha</b>	Erros	0	0	0	1 (25%)
	Acertos	19 (100%)	3 (100%)	6 (100%)	3 (75%)
<b>Verde</b>	Erros	0	1 (33,3%)	1 (16,7%)	1 (25%)
	Acertos	19 (100%)	2 (66,7%)	5 (83,3%)	3 (75%)
<b>Amarela</b>	Erros	3 (15,8%)	3 (100%)	0	0
	Acertos	16 (84,2%)	0	6 (100%)	4 (100%)

A literatura que descreve a discromatopsia congênita é clara ao definir o distúrbio como a incapacidade ou dificuldade de se reconhecer determinadas cores. Quando um daltônico é classificado como sendo do tipo deutan, ou seja, dificuldade em reconhecer a cor verde, automaticamente pode-se imaginar que um deuteranômalo ou um deuteranope não conseguirá distinguir um objeto de cor verde.

No entanto, o portador da forma deutan do distúrbio, vê a cor verde como a cor marrom ou cinza. Desde pequeno, ao deparar-se com um objeto de cor verde e percebê-lo como marrom, esse daltônico é “bombardeado” com a informação de que o objeto é verde. Ressalta-se que as crianças são rodeadas por cores vivas como a verde e a vermelha e, raramente, por cores como a marrom e a cinza.

Por uma questão de associação de nomes o portador da forma deutan ao se deparar com um objeto verde, mesmo que não esteja vendo a mesma tonalidade de verde que uma pessoa de visão normal, acertará o nome “verde” pela associação feita desde a infância. No entanto, ao se deparar com cores de tons marrons e cinzas, provavelmente ele errará e também as chamará de verde.

Assim é possível explicar o grande número de erros em relação às películas de cores marrom, laranja e preta. Isso também explica como os portadores de discromatopsia congênita tiveram um alto número de acertos no TNC. Pois nesse teste estavam presentes apenas as cores exigidas na legislação nacional de trânsito (verde, vermelha e amarela) acrescido da cor azul.

Do total dos indivíduos da amostra que portavam a forma deutan da discromatopsia, 46,9% perceberam a cor marrom como sendo a verde, em alguma ou em ambas as condições de iluminação analisadas. Do total da amostra com a forma protan do distúrbio, 80% identificaram a cor marrom como sendo a vermelha.

Assim, apenas quando o quesito cor é analisado, pode-se verificar que os portadores da forma deutan tendem a confundir a sinalização vertical de indicação. Podem perceber as placas indicativas de atrativos turísticos como placas de indicação para orientação do destino. Enquanto que os portadores da forma protan da discromatopsia não fazem distinção entre a cor das placas indicativas de atrativos turísticos (marrom) e a cor das bordas das placas de regulamentação e de sinais que usam a cor vermelha.

Para a verificação sobre qual dos tipos de películas apresentou um menor número de erros de identificação, ou seja, teve a sua cor mais facilmente percebida pelos integrantes da amostra, foi utilizado o teste de hipótese de proporções. Foram consideradas apenas as

cores presentes em todos os tipos de películas, ou seja, a verde, a vermelha, a azul e a amarela.

A Tabela 5.23 mostra as proporções de erros obtidas na análise conjunta de todas as cores de cada película, para o período diurno (D) e para o período noturno (N).

Tabela 5.23: Proporção de erros para a sinalização vertical

Categorias	D			N		
	IA	III	X	IA	III	X
Deuteranômalos	13,2%	1,3%	0	3,9%	1,3%	2,6%
Deuteranopes	25%	8,3%	16,7%	33,3%	16,7%	25%
Protanômalos	4,2%	0	4,2%	4,2%	0	0
Protanopes	25%	0	6,2%	12,5%	0	6,2%

A Tabela 5.24 mostra os valores de P para as categorias de daltônicos associando os tipos de películas dois a dois. Considera-se o período diurno (D) e o noturno (N) em separado. Os valores menores que 0,1 (para  $\alpha = 10\%$ ) indicam que as proporções são diferentes, e que, portanto, o tipo de película afeta a capacidade de identificação da cor.

Tabela 5.24: Valores de P para o teste de proporções (sinalização vertical)

Distúrbio	D			N		
	IA x III	IA x X	III x X	IA x III	IA x X	III x X
Deuteranômalos	0,005	0,0004	0,317	0,173	0,40	0,562
Deuteranopes	0,27	0,617	0,541	0,347	0,66	0,617
Protanômalos	0,31	1	0,312	0,312	1	0,312
Protanopes	0,0332	0,144	0,289	0,144	0,548	0,312

Assim, associando-se os resultados das Tabelas 5.23 e 5.24, pode-se concluir que as películas do Tipo III e X tiveram suas cores mais facilmente reconhecidas pelos deuteranômalos durante o dia. Também durante o período diurno, observa-se que a película do Tipo III apresentou maior facilidade de reconhecimento de cores para os protanopes.

O tamanho limitado da amostra não permitiu a realização de uma análise sobre a diferença de cada uma das cores para os tipos de películas testados.



### 5.5.3 Sinalização Semafórica

Os dispositivos semafóricos utilizados para o teste de sinalização foram dois. Os focos de um deles continham como fonte emissora de luz uma lâmpada de filamento, enquanto os do outro eram formados por um conjunto de LED's.

A Tabela 5.25 mostra as proporções de erros cometidos pelos daltônicos na análise dos dois tipos de focos semafóricos.

Tabela 5.25: Proporção de erros para a sinalização semafórica

Distúrbio	D		N	
	LED's	Lâmpada	LED's	Lâmpada
Deuteranômalos	19,3%	1,7%	21,1%	5,3%
Deuteranopes	55,5%	11,1%	55,5%	0
Protanômalos	5,5%	0	5,5%	5,5%
Protanopes	16,7%	0	33,3%	8,3%

A Tabela 5.26 mostra os valores de P para as categorias de daltônicos associando ambos os dispositivos semafóricos (lâmpada e LED's). Considera-se o período diurno (D) e o noturno (N). Os valores menores que 0,1 indicam que as proporções são diferentes, correspondendo a  $\alpha = 10\%$ .

Tabela 5.26: Valores de P para o teste de proporções (sinalização semafórica)

Distúrbio	D	N
	Lâmpada x LED's	Lâmpada x LED's
Deuteranômalos	0,001	0,012
Deuteranopes	0,060	0,014
Protanômalos	0,312	1
Protanopes	0,141	0,133

Com base nos resultados das Tabelas 5.25 e 5.26, pode-se inferir que a percepção das cores dos focos semafóricos que utilizam lâmpadas, como fonte emissoras de luz, é mais fácil para os condutores daltônicos portadores da forma deutan do distúrbio, seja ele de grau leve a médio ou severo. A maior dificuldade para os condutores da forma deutan com

relação ao reconhecimento das cores dos semáforos com LED's é percebida tanto no período noturno como no período diurno.

Apenas para uma análise comparativa, com base nos erros cometidos pelos integrantes da amostra, o foco verde foi aquele que apresentou um menor número de erros para ambos os tipos de semáforos. O foco amarelo do tipo LED's , no ambiente noturno, apresentou o maior número de erros pelos condutores da amostra. No entanto, o tamanho limitado da amostra não permite uma análise estatística mais aprofundada, no sentido de verificar se a cor amarela emitida pelos LED's realmente oferece uma maior dificuldade de identificação pelo condutor daltônico.

## **5.6. SOBRE AS SUGESTÕES DOS DALTÔNICOS**

Por meio da entrevista procurou-se verificar, também, possíveis propostas de melhoria da sinalização viária a partir do ponto de vista de quem sofre com o problema de identificação de cores no dia a dia.

De acordo com os resultados da entrevista, a luz amarela quando utilizada na iluminação pública prejudica a percepção das cores dos focos semaforicos pelos portadores da forma deutan da discromatopsia congênita, principalmente se a iluminação pública estiver incidindo diretamente nos semáforos.

Também foi relatado que nos casos em que a forma curva do poste deixa a iluminação muito próxima do semáforo, a capacidade de reconhecimento das cores também fica prejudicada, assim como a visibilidade do posicionamento dos focos.

A Tabela 5.27 mostra a porcentagem de frequência das principais propostas sugeridas pelos condutores daltônicos da amostra. Segundo os condutores, tais sugestões poderiam favorecer a percepção cromática da sinalização viária para motoristas portadores de discromatopsia congênita. Cada entrevistado podia apresentar mais de uma proposta.

Tabela 5.27: Propostas de melhoria para a sinalização viária

<b>Propostas</b>	<b>Frequência</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Evitar iluminação pública de cor amarela	31,2%	32	100%
Implantação dos grupos focais apenas na posição vertical	28,1%	32	100%
Adequação da intensidade luminosa emitida pelos focos semafóricos	21,9%	32	100%
Posicionamento da iluminação pública a uma distância maior em relação aos semáforos	15,6%	32	100%
Melhoria da manutenção da sinalização	15,6%	32	100%
Utilização de legendas ao lado dos focos semafóricos	6,2%	32	100%
Utilização de dois focos ou um maior no vermelho semafórico	6,2%	32	100%
Alteração do formato dos focos semafóricos	6,2%	32	100%

Algumas propostas apresentadas na Tabela 5.27, como a melhoria da manutenção da sinalização, facilitam a visibilidade da sinalização viária não só para condutores daltônicos, como também para todos os demais usuários da via. Outras propostas como evitar o uso de iluminação pública de cor amarela, podem vir a melhorar a percepção cromática da sinalização para motoristas portadores de daltonismo, sem perder em qualidade de informação para os demais condutores de visão normal.

Entretanto, algumas propostas como a utilização de legendas ao lado dos focos semafóricos e a alteração do formato desses focos podem comprometer a interpretação da sinalização semafórica pelos demais usuários da via, além de dificultar essa interpretação por parte de condutores estrangeiros. É preciso lembrar que existe uma padronização em nível internacional, sobre vários aspectos da sinalização viária em geral, dentre os quais se encontram o formato, a apresentação e a disposição dos focos semafóricos.

## 5.7. TÓPICOS CONCLUSIVOS

A Tabela 5.28 mostra uma síntese da porcentagem de indivíduos da amostra que cometeram algum erro na identificação de cores dos tipos de sinalização testados.

Tabela 5.28: Porcentagem da amostra com erros na percepção de cores da sinalização

<b>Sinalização</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Vertical	9	28,1%
Vertical + Semafórica	18	56,3%
Semafórica	1	3,1%
Horizontal + Vertical + Semafórica	3	9,4%
Nenhum	1	3,1%
	32	100%

Considerando um nível de confiança de 90%, é possível inferir que dos condutores portadores de discromatopsia congênita do Distrito Federal:

- de 15% a 41% possuam dificuldades em reconhecer as cores da sinalização vertical;
- de 42% a 71% possuam dificuldades em identificar as cores da sinalização vertical e semafórica e;
- de 1% a 18%, além da sinalização vertical e semafórica, também possuam dificuldades em reconhecer as cores da sinalização horizontal.

A precisão das pesquisas descritivas que envolvem características ligadas à área de saúde admite, usualmente, um nível de significância de 5%, o que equivale a dizer que o intervalo de confiança dos testes é de 95% (Weyne, 2004). No entanto, devido ao fato do tamanho da amostra deste trabalho ser relativamente pequeno, optou-se por trabalhar com um nível de confiança de 90%.

Com base no tratamento estatístico dos dados obtidos verifica-se, ainda, que:

- o tipo de discromatopsia congênita pode interferir na percepção das cores dos focos semafóricos;
- o grau de severidade do distúrbio pode interferir na percepção das cores da sinalização semafórica, vertical e horizontal;

- o teste de sinalização feito em ambiente controlado conseguiu refletir os relatos dos integrantes da amostra, exceto para os deuteranômalos e protanômalos em relação à sinalização vertical;
- dentre os materiais utilizados na sinalização horizontal, não houve diferenças significativas em relação a uma maior ou menor dificuldade para percepção de cores por parte dos condutores daltônicos;
- na sinalização vertical, dentre os tipos de películas utilizadas no acabamento de placas, os Tipos III e X se apresentaram como mais fáceis de terem suas cores identificadas pelos condutores portadores de deuteranomalia, quando comparadas com as películas do Tipo IA;
- os semáforos que utilizam LED's como fontes emissoras de luz são mais dificilmente reconhecidos por suas cores em comparação com semáforos de lâmpadas de filamento para os condutores com a forma deutan do distúrbio, tanto durante a noite como durante o dia;
- algumas propostas são relatadas como forma de melhorar a percepção das cores dos sinais viários pelos condutores portadores de discromatopsia congênita. Dentre elas as mais citadas foram: (i) evitar iluminação pública de cor amarela, (ii) implantação dos grupos focais apenas na posição vertical, (iii) adequação da intensidade luminosa emitida pelos focos semaforicos.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A presente dissertação buscou realizar um estudo exploratório da percepção que os condutores daltônicos têm das cores relacionadas à sinalização horizontal, vertical e semafórica. Foram consideradas diferentes condições de iluminação do ambiente e diferentes materiais usados no acabamento da sinalização viária.

Dentre os procedimentos adotados no presente trabalho para avaliar a percepção cromática da sinalização viária pelos condutores portadores de discromatopsia congênita, estavam a prévia aprovação pelo Comitê de Ética em pesquisa e o levantamento do perfil do motorista daltônico. A amostra foi formada por 32 condutores portadores de daltonismo com experiência em dirigir nas vias do Distrito Federal, como fruto de uma ampla divulgação do estudo junto a diferentes instituições localizadas na área.

Foram avaliados três tipos de películas usadas na confecção de placas verticais (Tipos IA, III e X) e dois tipos de materiais usados na demarcação de pavimento (tinta a base de resina acrílica e termoplástico extrudado). Com relação à sinalização semafórica foram testados dois dispositivos semafóricos, um utilizando LED's e outro utilizando lâmpada de filamentos como fonte emissora de luz.

O tamanho da amostra deste trabalho permitiu intervalos de confiança muito amplos. Assim, as estimativas obtidas para o público alvo permitem apenas uma avaliação preliminar do assunto. Entretanto, os testes estatísticos realizados permitiram obter vários resultados importantes e que confirmam a hipótese inicial do trabalho de que características do ambiente ou dos materiais utilizados no acabamento dos dispositivos de sinalização viária podem influenciar a capacidade de percepção cromática dessa sinalização por condutores portadores de discromatopsia congênita.

Assim, o uso de materiais específicos no acabamento dos dispositivos de sinalização viária permite facilitar a percepção das cores dessa sinalização, por condutores daltônicos, sem perder em informação aos demais motoristas. Ou seja, existe a possibilidade de incluir o condutor portador de discromatopsia congênita, no trânsito, de forma segura para ele e demais usuários do sistema viário. Dessa forma, o objetivo geral do trabalho foi alcançado.

As principais conclusões deste estudo, suas limitações e recomendações para futuras pesquisas no mesmo tema são apresentados nas seções a seguir.

## **6.1. CONCLUSÕES**

Neste item estão as conclusões da pesquisa com base no tratamento estatístico dos dados obtidos na coleta de dados.

### **6.1.1. Diferenças entre a Dificuldade Relatada e a Dificuldade Detectada no Teste de Sinalização**

A entrevista sobre as dificuldades na identificação de cores teve como propósito realizar em uma verificação da dificuldade sentida pelo condutor daltônico na sua prática de direção. Em relação ao Teste de Sinalização a dificuldade foi medida pelos erros na identificação das cores dos materiais testados.

Verificou-se que tanto para a sinalização horizontal como para a semafórica, o teste realizado em ambiente controlado conseguiu refletir o grau de dificuldade relatado pelos condutores da amostra. No caso da sinalização vertical, os portadores de deuteranomalia e protanomalia tiveram um grau de dificuldade maior no teste do que o esperado, de acordo com o relato da entrevista.

### **6.1.2. Principais Dificuldades para a Percepção das Cores**

Com base nos testes realizados, verifica-se que o tipo e o grau de severidade da discromatopsia congênita interferem no nível de dificuldade que os condutores daltônicos apresentam na percepção cromática da sinalização viária.

Pode-se verificar quanto a:

a) sinalização horizontal:

- na percepção geral das cores branca e amarela da sinalização horizontal, o resultado para cada tipo de distúrbio depende do respectivo grau de severidade;
- a dificuldade relatada pelos daltônicos, na entrevista (protans e deutans nos dois graus de severidade) foi devidamente capturada pelo teste de sinalização horizontal realizado;
- o estudo mostrou que nenhum elemento da amostra com o distúrbio protan apresentou dificuldade para identificar a cor branca e a amarela da sinalização horizontal;
- o estudo de inferência estatística mostrou que os deuteranômalos não possuem dificuldade estatisticamente significativa para  $\alpha = 10\%$ . Mostrou, também, que a dificuldade dos deuteranopes é significativa, porém a amplitude do intervalo de confiança obtida (de 22% a 100%) foi muito elevada em função do pequeno número de elementos da amostra.

b) sinalização vertical:

- na avaliação geral das cores da sinalização vertical, o grau de severidade do distúrbio do tipo deutan afeta a capacidade do condutor em identificar essas cores. No caso dos portadores do tipo protan, o grau de severidade do distúrbio não está associado à dificuldade de perceber as cores da sinalização vertical. Não foi verificada diferença significativa entre deutans e protans nessa avaliação geral inicial das cores da sinalização vertical;
- o estudo mostrou que os testes realizados em ambiente controlado não refletiram as dificuldades relatadas pelos deuteranômalos e protanômalos;
- o estudo de inferência estatística mostrou que 100% dos deuteranopes e protanopes apresentaram dificuldades para identificar as cores da sinalização vertical. No caso dos deuteranômalos e protanômalos, a porcentagem de indivíduos com essa dificuldade é de, respectivamente, 79% a 100% e 58% a 100%.



c) sinalização semafórica:

- na análise geral das cores dos focos dos semáforos, a dificuldade na percepção cromática para os portadores do tipo deutan e protan do distúrbio não é afetada pelo grau de severidade do distúrbio;
- o tipo deutan e protan da discromatopsia apresentam diferentes níveis de dificuldade no teste de sinalização semafórica, notadamente quando se compara os deuteranômalos com os protanômalos. De 15% a 65% dos protans possuem dificuldades, enquanto que para os deutans a faixa é de 68% a 95%

### **6.1.3. Impacto dos Materiais da Sinalização sobre a Percepção das Cores**

a) sinalização horizontal

- Dentre os materiais utilizados (tinta a base de resina acrílica e termoplástico tipo extrudado), o estudo mostrou que não há diferenças significativas em relação à dificuldade sentida pelos condutores daltônicos na percepção das cores branca e amarela.

b) sinalização vertical

- No estudo da película IA isolada, foi verificado que as cores marrom, laranja e preta foram as que levaram uma maior porcentagem de integrantes da amostra a errar na identificação no teste de sinalização vertical;
- a cor marrom foi a cor com um maior percentual de erros. Os portadores da forma deutan do distúrbio a identificaram, em geral, como verde, e os portadores da forma protan como vermelha;
- o teste comparativo entre as três películas estudadas mostrou que a do Tipo III teve suas cores mais facilmente reconhecidas pelos deuteranômalos e protanopes durante o dia. A película Tipo X também favorece os deuteranômalos durante o dia;
- na comparação entre as películas para o período noturno, os testes não identificaram diferenças estatisticamente significativas sob o ponto de vista da identificação das cores pelos daltônicos.

c) sinalização semafórica

- O estudo dos dois tipos de focos da sinalização semafórica mostrou que existe diferença significativa (para  $\alpha = 10\%$ ) na identificação das cores do semáforo pelos condutores daltônicos da forma deutan em função do tipo de fonte de luz utilizada. Isto é, os condutores com esse tipo de distúrbio têm mais dificuldade na percepção das cores dos semáforos com focos de LED's do que com focos de lâmpada de filamento, tanto no período diurno quanto no noturno.

#### **6.1.4. Principais Limitações do Trabalho**

As principais limitações do trabalho estão associadas principalmente ao tamanho da amostra. O número de condutores analisados foi insuficiente para permitir a estimativa de características da população a partir de dados amostrais, em intervalos de confiança com amplitudes aceitáveis (por exemplo, inferiores a 10%). Foi insuficiente, também, para permitir a análise dos materiais da sinalização, cor a cor.

Outro fator que limitou a pesquisa foi a dificuldade de obtenção de material com mais cores para a sinalização horizontal e vertical.

Finalmente, a realização da entrevista, como meio de identificar a dificuldade prática dos daltônicos na percepção cromática da sinalização viária, permitiu apenas se ter uma visão bem genérica dessas dificuldades.

#### **6.2. RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS**

A importância do tema estudado e os resultados do presente trabalho, incluindo suas limitações, indicam a necessidade de futuras pesquisas sobre o tema. Para novos estudos, recomenda-se:

- realizar estudo em campo, onde o condutor seja acompanhado durante sua atividade, durante o dia e a noite, e suas principais dificuldades sejam anotadas pelo pesquisador, ou seja, substituir a entrevista por um teste de campo;
- realizar estudos para as deficiências azul-amarelo a fim de comparar resultados;
- ampliar a amostra de condutores para que as películas possam ser testadas e analisadas cor a cor. Um maior número de integrantes na amostra também poderia fornecer dados mais precisos sobre a comparação entre os semáforos por cada cor de foco;
- testar as sugestões feitas pelos condutores para a melhoria da sinalização viária, comprovando se realmente seriam eficazes;
- testar materiais de sinalização horizontal em um número maior de cores;
- testar outros materiais utilizados no acabamento da sinalização viária vertical e horizontal

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 7946 (1982). *Sinalização Semafórica Rodoviária*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 7995 (2007a). *Sinalização Semafórica – Grupo Focal semafórico em Alumínio*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 14644 (2007b). *Sinalização Vertical Viária – Películas - Requisitos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- Adura, F. E. e Sabbag, A. F. (2007). *Manual para o Médico Perito Examinador de Candidatos a Motorista*. 4ª edição. ABRAMET. São Paulo.
- Aravena, C. J. O. (1998). *Efeitos do Estresse Físico no Processamento das Informações Visuais Periféricas em Motoristas do Transporte Coletivo Urbano*. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas.
- Barbetta, P. A. (2002). *Estatística Aplicada às Ciências Sociais*. 5ª edição. Ed. da UFSC. Florianópolis, SC.
- Beiguelman, B. (1996). *Curso Prático de Bioestatística*. 4ª edição. Ed. rev. Sociedade Brasileira de Genética. Ribeirão Preto, SP.
- Bertulani, C. A. (2009). *Luz e Cor*. Projeto de Física a Distância. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/teaching/luz/cor.html>>. Acesso em abril de 2009.
- Boccanera, N. B. (2007). *A Utilização das Cores no Ambiente de Internação Hospitalar*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Federal de Goiás.
- Bruni, L. F. e Cruz, A. A. V. (2006). *Sentido Cromático: Tipos de Defeitos e Testes de Avaliação Clínica*. Vol. 69. Arquivo Brasileiro de Oftalmologia. São Paulo.
- Carvalho, E. G. (2006). *Desenvolvimento de um Sistema Óptico para Retinografia e Angiografia Digital*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Castela, F. (2004). *A Cor e a Percepção Visual*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Psicologia, Universidade Federal de Uberlândia.
- Castilho, E. A. e Kalil, J. (2005). *Ética em Pesquisa Médica: Princípios, Diretrizes e Regulamentações*. 3ª edição. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical. Rio de Janeiro.
- CONTRAN (2007a). *Sinalização Vertical de Regulamentação*. Conselho Nacional de Trânsito. Vol. I. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Distrito Federal.

- CONTRAN (2007b). *Sinalização Horizontal*. Conselho Nacional de Trânsito. Vol. IV. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Distrito Federal.
- CONTRAN (2007c). *Sinalização Vertical de Advertência*. Conselho Nacional de Trânsito. Vol. II. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. Distrito Federal.
- Costa, C.; Rocha, G. e Acúrcio, M. (2004). *Metodologia da Investigação*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- Crepaldi, T. O. M. (2003). *Desempenho de Acromatas no Preenchimento Perceptual*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília.
- Cristo, F. (2009). *Condições para o Bom Comportamento no Trânsito*. Disponível em: <[http://colunas.digi.com.br/fhvcs/condicoes\\_para\\_o\\_bom\\_comportamento\\_no\\_tr/](http://colunas.digi.com.br/fhvcs/condicoes_para_o_bom_comportamento_no_tr/)>. Acesso em fevereiro de 2009.
- CTB (2006). *Código de Trânsito Brasileiro*. 6ª edição. Editora Saraiva. São Paulo.
- Cunha, M. B. (1982). *Metodologias para Estudo dos Usuários de Informação Científica e Tecnológica*. Departamento de Biblioteconomia, Universidade de Brasília.
- DAER (2006). *Sinalização Rodoviária*. Departamento de Estradas e Rodagem. Instruções para Sinalização Rodoviária. 2ª edição. São Paulo.
- Daros, E. J. (2007). *O Risco de Atropelamento*. Associação Brasileira de Medicina de Tráfego. Vol. 25. São Paulo.
- DER/MG (2006). *Recomendações Técnicas para a Sinalização Viária Horizontal*. Departamento de Estradas e Rodagens de Minas Gerais. 6ª edição. Belo Horizonte.
- DER/SP (2006). *Placas de Aço para Sinalização Vertical*. Departamento de Estradas e Rodagem de São Paulo. São Paulo.
- Dias, R. C. (2005). *Sinalização Vertical*. Monografia de Graduação, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi.
- Fernandes; L. C. e Urbano, L. C. V. (2008). *Eficiência dos Testes Cromáticos de Comparação na Discromatopsia Hereditária: Relatos de Casos*. Vol. 71. Arquivo Brasileiro de Oftalmologia, São Paulo.
- Gao, X. W.; Podladchikova, L.; Shaposhnikov, D.; Hong, K. e Shevtsova, N. (2006). *Recognition of Traffic Signs based on their Colour and Shape Features extracted using Human Vision Models*. Journal of Vision Communication, Rostov State University, Rostov-on-Don, Rússia.
- Garrocho, J. S. (2005). *Luz Natural e Projeto de Arquitetura: Estratégias para Iluminação Zenital em Centros de Compras*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília.

- Guimarães, L. (2000). *A Cor como Informação*. 2ª edição. Editora Annablume. São Paulo.
- Goldim, J. R.; Pithan, C. F.; Oliveiras, J. G. e Raymundo, M. M. (2003). *O Processo de Consentimento Livre e Esclarecido em Pesquisa: uma Nova Abordagem*. 3ª edição. Revista da Associação Médica Brasileira. São Paulo.
- Gonçalves, B. S. (2004). *Cor Aplicada ao Design Gráfico: um Modelo de Núcleo Virtual para Aprendizagem Baseado na Resolução de Problemas*. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.
- ICO (2007). *International Standards: Vision Requirements for Driving Safety*. International Council of Ophthalmology. Disponível em: <<http://www.icoph.org/standards/drivingapp1.html>>. Acesso em maio de 2009.
- Ishihara, S. (1974). *Tests for Color Blindness*. Kanehara shupan Co. Ltd. Tokyo, Japan.
- Marotti, J.; Galhardo, A. P. M.; Furuyma, R. J.; Pigozzo, M. N.; Campos, T. N. e Laganá, D. C. (2008). *Amostragem em pesquisa clínica: tamanho da amostra*. Revista de Odontologia da Universidade de São Paulo.
- Mc-Nemar, Q. (1947). *Note on the Sampling error of the Difference between Correlated Proportions of Percentages*. Editora Psydometrika. Vol. 12, nº2. Stanford University, USA.
- Ming, S. H. (2009). *Semáforos de LED's*. Disponível em: <<http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/led.pdf>>. Acesso em abril de 2009.
- Nerio, A. C. (2008). *Natureza e Fundamentos do Método Estatístico*. Departamento de Veterinária, Universidade Federal do Paraná.
- Oliveira, S. L. (1998). *Tratado de metodologia Científica*. 2ª edição. Editora Pioneira. São Paulo.
- Oka, A. J. (2008). *Importância das Cores para Ver e Ser Visto*. Vol. 54. Revista CESVI. São Paulo.
- Pereira, H. C. (2007). *Design Acessível: Daltonismo e a Cegueira das Cores*. Disponível em: <<http://www.acessibilidadelegal.com/13-daltonismo>>. Acesso em fevereiro de 2009.
- Sato, M. T.; Moreira, A. V.; Guerra, D. R.; Carvalho, A. C. A. e Júnior, C. A. M. (2002). *Discromatopsias Congênitas e Condução de Veículos*. Vol. 65. Arquivo Brasileiro de Oftalmologia. São Paulo.
- Schwab, M. S. F. (1999). *Estudo de Desempenho dos Materiais de Demarcação Viária Retrorrefletivos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT, Universidade Estadual de Minas Gerais.

- Ventura, R.; Malta, J. S. M.; Lyra, A. F. C.; Danda, D. M. R. e Urbano, L. C. V. (2008). *Associação de Alterações Cromáticas e Uso de Anticoncepcionais Orais*. Vol. 72. Arquivo Brasileiro de Oftalmologia. São Paulo.
- Vespucchi, K. M. (2009). *Daltônicos ao Volante*. Disponível em:  
<[http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/daltonicos\\_ao\\_volante.pdf](http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/daltonicos_ao_volante.pdf)>. Acesso em fevereiro de 2009.
- Vilanova, L. (2006). *Glossário dos Termos Empregados na Sinalização Semafórica*. Disponível em:  
<[http://www.sinaldetransito.com.br/artigos\\_area.php?tipo=Sem%EIforo](http://www.sinaldetransito.com.br/artigos_area.php?tipo=Sem%EIforo)>. Acesso em março de 2009.
- Weyne, G. R. (2004). *Determinação do Tamanho da Amostra em Pesquisas Experimentais na Área de Saúde*. Vol. 29. Arquivo Médico do ABC. Santo André, SP.

## APÊNDICES



## APÊNDICE A – CORES UTILIZADAS NA METODOLOGIA

a) As cores utilizadas para o Teste de Nomeação de Cores (TNC) encontram-se na Figura A.1.

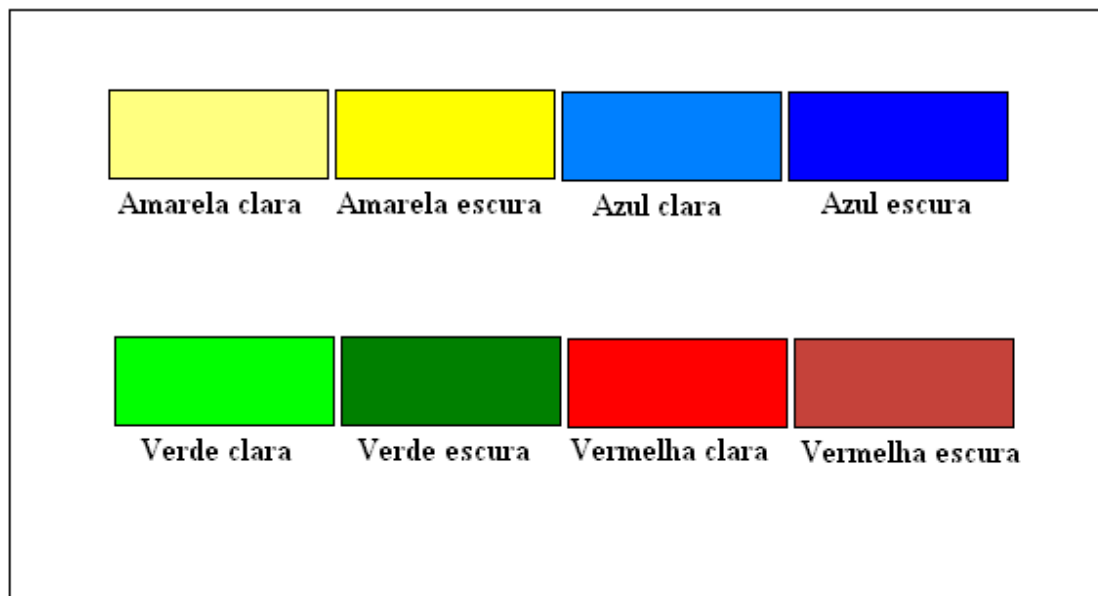


Figura A.1: Cores utilizadas para o Teste de Nomeação de Cores (TNC)

b) As cores utilizadas para o teste de sinalização horizontal são mostradas na Figura A.2. Foram utilizadas as mesmas cores para ambos os materiais analisados, de acordo com o Padrão Munsell especificado pelo CONTRAN (2007b).

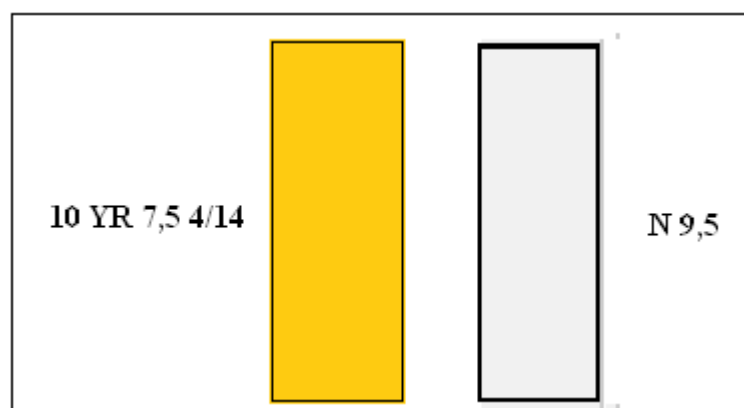


Figura A.2: Cores utilizadas para o teste de sinalização horizontal

c) As cores utilizadas para o teste de sinalização vertical são mostradas nas Figuras A.3 e A4. Foram utilizadas as mesmas cores para ambos os materiais analisados, de acordo com o Padrão Munsell especificado pelo CONTRAN (2007a e 2007c). A película do Tipo IA continha 8 cores, enquanto as películas do Tipo III e Tipo X continham 4 cores

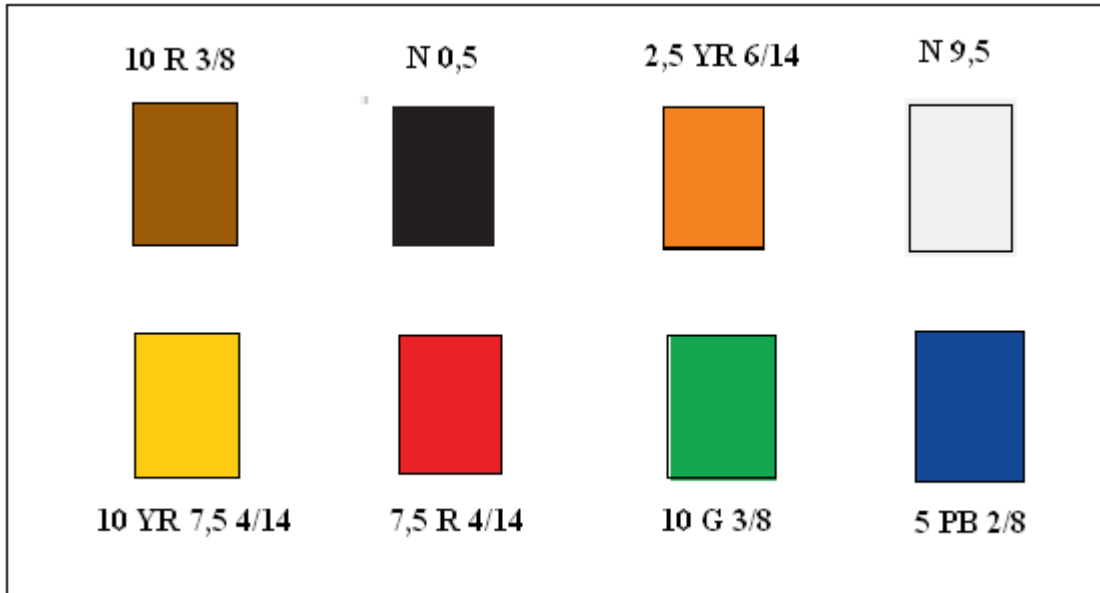


Figura A.3: Cores das Películas do Tipo IA



Figura A.4: Cores das películas dos Tipos III e X



## APÊNDICE C – ROTEIRO PARA ENTREVISTA

Nome: \_\_\_\_\_ Tel: \_\_\_\_\_

1. Quando tirou a 1ª CNH? \_\_\_\_\_

2. Onde tirou a 1ª CNH?

( ) Distrito Federal ( ) Outro: \_\_\_\_\_

3. Qual a categoria de sua CNH?

4. Qual foi o teste que realizou para reconhecer cores, durante o exame oftalmológico, para obtenção da CNH?

( ) Ishihara ( ) AO-HRR ( ) Nomeação ( ) Farnsworth-Munsell ( ) CUT

Descrição do teste (caso o entrevistado não saiba o nome do teste):

---

---

---

---

---

---

---

5. Você sabia que era portador (a) de daltonismo quando tirou a 1ª CNH?

( ) Sim ( ) Não

6. Como ficou sabendo?

---

---

---

---

---

Observação: Mostrar figuras dos subsistemas da sinalização viária para as perguntas de números 7 a 14.

7. Tem dificuldade em reconhecer a sinalização horizontal durante o dia?

( ) Sim ( ) Não

8. Tem dificuldade em reconhecer a sinalização horizontal durante a noite?

( ) Sim ( ) Não

9. Tem dificuldade em reconhecer a sinalização vertical de regulamentação durante o dia?

( ) Sim ( ) Não

10. Tem dificuldade em reconhecer a sinalização vertical de regulamentação durante a noite?

Sim       Não

11. Tem dificuldade em reconhecer a sinalização vertical de advertência durante o dia?

Sim       Não

12. Tem dificuldade em reconhecer a sinalização vertical de advertência durante a noite?

Sim       Não

13. Tem dificuldade em reconhecer a sinalização vertical de indicação durante o dia?

Sim       Não

14. Tem dificuldade em reconhecer a sinalização vertical de indicação durante a noite?

Sim       Não

15. Tem dificuldade em identificar as cores dos semáforos durante o dia?

Sim       Não

16. Tem dificuldade em identificar as cores dos semáforos durante a noite?

Sim       Não

Descrição da dificuldade

---

---

---

---

17. Onde costuma dirigir?

Cidade     Rodovia     Ambos

18. Onde acha mais difícil reconhecer a sinalização?

Cidade     Rodovia     Não há diferença

19. Por quê?

---

---

---

20. O que acha que deveria ser mudado na sinalização para melhorar sua identificação pelos motoristas daltônicos?

---

---

---

---

## APÊNDICE D – TABULAÇÕES DOS DADOS

Tabela D.1: Respostas dos deuteranômalos para as questões de 1 a 4

Indivíduo	Ano da 1ª CNH	Local	Categoria	Tipo de Teste
1	2008	DF	AB	Ishihara
2	1997	DF	B	Ishihara + TNC (luzes)
3	2004	DF	AB	Ishihara + TNC (luzes)
4	2007	DF	B	Ishihara
5	1983	DF	B	Ishihara + TNC (luzes)
6	1989	PR	B	Nenhum
7	1992	SP	AB	TNC (novelos de lâ)
8	2005	GO	B	TNC (cartões)
9	1996	DF	B	Ishihara + TNC (luzes)
10	1998	DF	A	Ishihara
11	1979	DF	AB	Nenhum
12	2009	DF	B	TNC (luzes)
13	1993	SP	B	TNC (luzes)
14	2007	DF	AB	Ishihara
15	2007	DF	B	Ishihara + TNC (luzes)
16	2006	DF	B	TNC (cartões)
17	2000	DF	AB	Ishihara
18	1996	DF	B	TNC (luzes)
19	2003	DF	B	Ishihara

Tabela D. 2: Respostas dos protanômalos para as questões de 1 a 4

Indivíduo	Ano da 1ª CNH	Local	Categoria	Tipo de Teste
20	1971	SP	B	TNC (luzes)
21	1992	PE	B	TNC (objetos)
22	1994	DF	B	TNC (cartões)
23	1998	DF	B	Ishihara + TNC (cartões)
24	1994	BA	B	Nenhum
25	1998	DF	B	Ishihara

Tabela D. 3: Respostas dos deuteranopes para as questões de 1 a 4

Indivíduo	Ano da 1ª CNH	Local	Categoria	Tipo de Teste
26	1991	DF	B	TNC (luzes)
27	1998	MG	B	Ishihara
28	2007	DF	AB	Ishihara + TNC (luzes)

Tabela D. 4: Respostas dos protanopes para as questões de 1 a 4

Indivíduo	Ano da 1ª CNH	Local	Categoria	Tipo de Teste
29	1983	DF	B	TNC (luzes)
30	2001	DF	D	TNC (cartões)
31	1996	SP	AB	TNC (cartões)
32	1999	DF	B	Ishihara

Tabela D. 5: Resultados das questões 7 a 16 para os deuteranômalos

Indivíduos	Dificuldades para reconhecer as cores da sinalização										
	Horizontal		Vertical						Semafórica		
			Regulamentação		Advertência		Indicação				
	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	
1	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	
2	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	
3	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	
4	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
5	N	N	S	S	N	N	N	N	N	S	
6	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	
7	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
8	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	
9	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	
10	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
11	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
12	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	
13	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	
14	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	
15	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
16	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	
17	N	S	N	N	N	N	N	N	S	N	
18	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
19	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
Total	S	0	1	1	1	0	0	1	0	10	6
	N	19	18	18	18	19	19	18	19	9	13

Legenda: S = Sim (tem dificuldade); N = Não (não tem dificuldade)

Tabela D. 6: Resultados das questões 7 a 16 para os protanômalos

Indivíduos	Dificuldades para reconhecer as cores da sinalização										
	Horizontal		Vertical						Semafórica		
			Regulamentação		Advertência		Indicação				
	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	
20	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
21	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N
22	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N
23	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
24	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
25	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N
Total	S	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	3	4

Legenda: S = Sim (tem dificuldade); N = Não (não tem dificuldade)

Tabela D. 7: Resultados das questões 7 a 16 para os deuteranopes

Indivíduos	Dificuldades para reconhecer as cores da sinalização										
	Horizontal		Vertical						Semafórica		
			Regulamentação		Advertência		Indicação				
Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite		
26	S	S	N	N	N	N	N	N	N	S	
27	S	S	N	N	N	N	N	N	N	S	
28	S	S	S	S	N	N	S	S	S	S	
Total	S	3	3	1	1	0	0	1	1	2	3
	N	0	0	2	2	3	3	2	2	1	0

Legenda: S = Sim (tem dificuldade); N = Não (não tem dificuldade)

Tabela D. 8: Resultados das questões 7 a 16 para os protanopes

Indivíduos	Dificuldades para reconhecer as cores da sinalização										
	Horizontal		Vertical						Semafórica		
			Regulamentação		Advertência		Indicação				
Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite		
29	N	29	N	29	N	29	N	29	N	29	
30	N	30	N	30	N	30	N	30	N	30	
31	N	31	N	31	N	31	N	31	N	31	
32	N	32	N	32	N	32	N	32	N	32	
Total	S	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1
	N	4	3	4	4	4	4	4	4	2	3

Legenda: S = Sim (tem dificuldade); N = Não (não tem dificuldade)

Tabela D. 9: Resultados dos deuteranômalos para as questões 17 a 19

Indivíduos	Locais onde costuma dirigir	Local onde a sinalização é mais difícil de ser percebida	Motivo
1	C	-	-
2	A	-	-
3	A	C	Excesso de informações
4	A	-	-
5	A	R	Pouca iluminação
6	A	-	-
7	A	-	-
8	A	-	-
9	A	R	Sinalização não habitual
10	A	C	Excesso de iluminação
11	A	-	-
12	C	-	-
13	C	-	-
14	A	-	-
15	C	-	-
16	C	-	-
17	C	-	-
18	A	-	-
19	A	-	-
Total	A	13	0
	C	6	2
	R	0	2

Legenda: C = Cidade; R = Rodovia; A = Ambos



Tabela D. 10: Resultados dos protanômalos para as questões 17 a 19

Indivíduos		Locais onde costuma dirigir	Local onde a sinalização é mais difícil ser percebida	Motivo
20		A	–	–
21		C	–	–
22		A	–	–
23		A	–	–
24		A	–	–
25		A	C	Maior número de semáforos
<b>Total</b>	<b>A</b>	5	–	
	<b>C</b>	1	1	
	<b>R</b>	0	–	

Legenda: C = Cidade; R = Rodovia; A = Ambos

Tabela D. 11: Resultados dos deuteranopes para as questões 17 a 19

Indivíduos		Locais onde costuma dirigir	Local onde a sinalização é mais difícil ser percebida	Motivo
26		C	–	–
27		A	–	–
28		C	–	–
<b>Total</b>	<b>A</b>	1	–	
	<b>C</b>	2	–	
	<b>R</b>	0	–	

Legenda: C = Cidade; R = Rodovia; A = Ambos

Tabela D. 12: Resultados dos protanopes para as questões 17 a 19

Indivíduos		Locais onde costuma dirigir	Local onde a sinalização é mais difícil ser percebida	Motivo
29		A	–	–
30		A	–	–
31		A	–	–
32		A	–	–
<b>Total</b>	<b>A</b>	4	–	
	<b>C</b>	0	–	
	<b>R</b>	0	–	

Legenda: C = Cidade; R = Rodovia; A = Ambos

Tabela D.13: Propostas de melhoria para a sinalização viária

<b>Indivíduo</b>	<b>Propostas</b>
1	–
2	Melhorar a intensidade luminosa para a luz vermelha do semáforo
3	Ser colocado dois focos para o vermelho semaforico; adequar a intensidade dos LED's e evitar a luz amarela para a iluminação pública
4	–
5	Evitar posicionar a iluminação pública muito próxima a semáforos
6	–
7	Evitar a luz amarela para a iluminação pública; semáforos apenas na posição vertical e manutenção melhor e mais frequente da sinalização viária
8	Manutenção melhor e mais frequente da sinalização viária
9	Evitar a luz amarela para a iluminação pública; semáforos apenas na posição vertical
10	–
11	–
12	Semáforos apenas na posição vertical
13	Evitar luz amarela para a iluminação pública; evitar posicioná-la próxima a semáforos
14	Mudar o formato dos focos semaforicos
15	Evitar a luz amarela para a iluminação pública
16	Semáforos apenas na posição vertical; adequar a intensidade luminosa dos LED's; melhor manutenção da sinalização viária; evitar a luz amarela para a iluminação pública
17	Aumentar o tamanho dos focos semaforicos; evitar a luz amarela para a iluminação pública; melhor manutenção para a sinalização horizontal
18	Evitar o uso de semáforos temporizados; semáforos apenas na posição vertical
19	–
20	Melhorar a manutenção da sinalização
21	Adequar a intensidade dos focos semaforicos
22	Adequar a intensidade dos focos semaforicos; semáforos apenas na posição vertical
23	Não posicionar a iluminação pública próxima aos focos; semáforos apenas na posição vertical
24	Evitar luz amarela para a iluminação pública
25	Mudar o formato dos focos semaforicos
26	Evitar luz amarela para a iluminação pública; semáforos apenas na posição vertical
27	Semáforos apenas na vertical; evitar luz amarela para a iluminação pública; evitar posicionar a iluminação pública muito próxima aos semáforos
28	Adequar a intensidade dos focos semaforicos
29	Uso de legendas ao lado dos focos como PARE ou SIGA; material retrorefletivo no anteparo
30	Uso de amarelo intermitente no semáforo de regulamentação
31	–
32	Adequar intensidade dos LED's

Tabela D. 14: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 1 a 5

Dispositivos	Indivíduo 1		Indivíduo 2		Indivíduo 3		Indivíduo 4		Indivíduo 5	
	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N
<b>IA</b>										
Marrom	Preta	Preta	Preta	Preta	Verde	C	Verde	Verde	Verde	Verde
Laranja	Verme-lha	Verme-lha	Ver-me-lha	Ver-melha	C	C	Verde	Verde	Verme-lha	Verme-lha
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Preta	Verde	Verde	C	C	Verde	C	C	C	Verde	Verde
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	Verde	C	C	C	C	C
Verde	Preta	C	Pre-ta	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	Laranja	C
<b>X</b>										
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>III</b>										
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	Preta	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>Extruda-do</b>										
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	Rosa	C
<b>Tinta</b>										
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>LED</b>										
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	Verde	Verde
<b>Lâmpada</b>										
Vermelha	C	C	C	C	C	Ama-rela	C	Ama-rela	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

Legenda: C = Resposta Correta

Tabela D.15: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 6 a 10

Dispositivos	Indivíduo 6		Indivíduo 7		Indivíduo 8		Indivíduo 9		Indivíduo 10	
	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N
Marrom	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	C	Verde
Laranja	Vermelha	Verde	Vermelha	C	C	Verde	C	C	Vermelha	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Preta	C	C	Verde	C	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	Verde	C	C	Laranja	C
<b>X</b>										
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	Marrom	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	Verde	C	C	C	C
<b>III</b>										
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>Extrudado</b>										
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>Tinta</b>										
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>LED</b>										
Vermelha	Amarela	Amarela	C	C	C	C	Amarela	Amarela	C	Amarela
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	Verde	Verde	Verde	Verde	C	C	C	C
<b>Lâmpada</b>										
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	Verde	C	C	C	C	C	C

Legenda: C = Resposta Correta

Tabela D.16: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 11 a 15

Dispositivos	Indivíduo 11		Indivíduo 12		Indivíduo 13		Indivíduo 14		Indivíduo 15	
	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N
<b>IA</b>										
Marrom	Verde	Verde	Verde	Verde	C	C	C	Verde	C	C
Laranja	Verde	Verme- lha	C	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Preta	Verde	Verde	Verde	Verde	C	C	Verde	Verde	Verde	C
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	Laranja	C
Verde	Mar- rom	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	Verde	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>X</b>										
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>III</b>										
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	Ver- de	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>Extrudado</b>										
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>Tinta</b>										
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>LED</b>										
Vermelha	Ama- rela	Amare- la	C	C	C	C	C	C	Amarela	Amarela
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	Verde	Verde	Verde	C	C	C	C
<b>Lâmpada</b>										
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	Ver- melha	C	C	C	C	C	C	C

Legenda: C = Resposta Correta

Tabela D.17: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 16 a 20

Dispositivos	Indivíduo 16		Indivíduo 17		Indivíduo 18		Indivíduo 19		Indivíduo 20	
	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N
<b>IA</b>										
Marrom	C	C	Roxo	Cinza	Verde	Verde	C	C	Verme- lha	C
Laranja	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Preta	Mar- rom	Verde	C	Roxo	Verde	Verde	C	Verde	C	C
Azul	C	C	Verde	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	Laran- ja	C	Ama- rela	C	Laran- ja	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	Verme- lha	C	C
<b>X</b>										
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>III</b>										
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>Extrudado</b>										
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>Tinta</b>										
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>LED</b>										
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	Ama- rela	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	Ver- melha	Ver- melha	Ver- melha	Verme- lha	C	C
<b>Lâmpada</b>										
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

Legenda: C = Resposta Correta

Tabela D.18: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 21 a 25

Dispositivos	Indivíduo 21		Indivíduo 22		Indivíduo 23		Indivíduo 24		Indivíduo 25	
	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N
<b>IA</b>										
Marrom	C	Vermelha	Vermelha	Vermelha	C	C	Vermelha	Vermelha	Vermelha	Vermelha
Laranja	C	C	C	C	C	C	C	C	C	Vermelha
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Preta	C	C	C	C	C	C	Verde	Verde	C	Verde
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	Laranja	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	Vermelha	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>X</b>										
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	Preta	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>III</b>										
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>Extrudado</b>										
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>Tinta</b>										
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>LED</b>										
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	Vermelha	Vermelha	C	C
<b>Lâmpada</b>										
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	Vermelha	C	C

Legenda: C = Resposta Correta

Tabela D.19: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 26 a 30

Dispositivos	Indivíduo 26		Indivíduo 27		Indivíduo 28		Indivíduo 29		Indivíduo 30	
	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N
Marrom	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Vermelha	Vermelha	C	C
Laranja	Vermelha	Vermelha	C	Verde	C	Vermelha	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Preta	C	Verde	C	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Marrom	Verde
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	Laranja	C	Laranja	C
Verde	Marrom	C	C	Marrom	C	C	C	Vermelha	C	C
Amarela	Verde	Verde	Verde	Verde	C	Verde	C	C	C	C
<b>X</b>										
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	Preta	C	C	C
Amarela	Verde	Verde	Verde	Verde	C	Verde	C	C	C	C
<b>III</b>										
Azul	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Vermelha	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	Verde	Verde	C	C	C	Verde	C	C	C	C
<b>Extrudado</b>										
Amarela	Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>Tinta</b>										
Amarela	Verde	C	Verde	C	C	C	C	C	C	C
Branca	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>LED</b>										
Vermelha	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarela	Amarela	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amarela	Verde	Verde	Verde	Verde	C	C	Vermelha	Vermelha	C	C
<b>Lâmpada</b>										
Vermelha	C	C	C	C	Amarela	C	C	C	C	C
Verde	C	C	C	C	C	C	C		C	C
Amarela	C	C	C	C	C	C	C	Vermelha	C	C

Legenda: C = Resposta Correta



Tabela D.20: Resultados do Teste de Sinalização dos indivíduos de 30 a 32

Dispositivos	Indivíduo 31		Indivíduo 32							
	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N
<b>IA</b>										
Marrom	C	Vermelha	Vermelha	Vermelha						
Laranja	C	C	C	C						
Branca	C	C	C	C						
Preta	C	C	C	C						
Azul	C	C	C	C						
Vermelha	Verde	C	Verde	Verde						
Verde	C	C	C	C						
Amarela	C	C	C	C						
<b>X</b>										
Azul	C	C	C	C						
Vermelha	C	Verde	C	C						
Verde	C	C	C	C						
Amarela	C	C	C	C						
<b>III</b>										
Azul	C	C	C	C						
Vermelha	C	C	C	C						
Verde	C	C	C	C						
Amarela	C	C	C	C						
<b>Extrudado</b>										
Amarela	C	C	C	C						
Branca	C	C	C	C						
<b>Tinta</b>										
Amarela	C	C	C	C						
Branca	C	C	C	C						
<b>LED</b>										
Vermelha	C	Amarela	C	C						
Verde	C	C	C	C						
Amarela	C	Vermelha	Vermelha	Vermelha						
<b>Lâmpada</b>										
Vermelha	C	C	C	C						
Verde	C	C	C	C						
Amarela	C	C	C	C						

Legenda: C = Resposta Correta