

**Universidade de São Paulo
Instituto de Psicologia**

Carlo Martins Gaddi

**ESTUDOS QUANTITATIVOS DA PSICOLOGIA DAS CORES:
SALIÊNCIAS MENTAIS, PREFERÊNCIA POR TERMOS BÁSICOS E
COMPOSIÇÕES COMPLEXAS**

**São Paulo
2023**

**Universidade de São Paulo
Instituto de Psicologia**

Carlo Martins Gaddi

**ESTUDOS QUANTITATIVOS DA PSICOLOGIA DAS CORES:
SALIÊNCIAS MENTAIS, PREFERÊNCIA POR TERMOS BÁSICOS E
COMPOSIÇÕES COMPLEXAS**

**QUANTITATIVE STUDIES OF COLOR PSYCHOLOGY: MENTAL SALIENCY,
PREFERENCE FOR BASIC COLOR TERMS AND COMPLEX COMPOSITIONS**

Versão Corrigida

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Neurociências e Comportamento.

Área de Concentração: Neurociências e Comportamento.

Orientador: Prof. Livre-Docente Dr. Marcelo Fernandes da Costa.

Coorientadora: Dra. Cláudia Feitosa-Santana.

São Paulo

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Martins Gaddi, Carlo

ESTUDOS QUANTITATIVOS DA PSICOLOGIA DAS CORES: SALIÊNCIAS MENTAIS, PREFERÊNCIA POR TERMOS BÁSICOS E COMPOSIÇÕES COMPLEXAS / Carlo Martins Gaddi; orientadora Marcelo Fernandes da Costa; co-orientadora Cláudia Feitosa-Santana. -- São Paulo, 2023. 112 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento) -- Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, 2023.

1. Preferência de Cor. 2. Saliência Mental. 3. Distribuição Colorimétrica. 4. Lei do Julgamento Comparativo. 5. Escala Psicofísica Intervalar. I. Fernandes da Costa, Marcelo, orient. II. Feitosa-Santana, Cláudia, co-orient. III. Título.

Nome: Carlo Martins Gaddi

Título: Estudos quantitativos da psicologia das cores: Saliências mentais, preferência por termos básicos e composições complexas

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Neurociências e Comportamento.

Aprovado em: 04 de julho de 2023

Banca Examinadora

Prof. Dr. Marcelo Fernandes da Costa

Instituição: Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Leonardo Henriques Dutra

Instituição: Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Givago da Silva Souza

Instituição: Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pará

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr. Thenille Braun Janzen

Instituição: Centro de Matemática Computação e Cognição da Universidade Federal do ABC

Julgamento: Aprovado

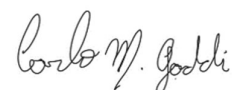
Prof. Dr. Nelson Torro Alves

Instituição: Departamento de Psicologia da Universidade Federal da Paraíba

Julgamento: Aprovado

DECLARAÇÃO

Eu, Carlo Martins Gaddi, confirmo que o trabalho apresentado nessa tese é de autoria própria.
Todas as informações derivadas de outras fontes foram devidamente referenciadas.



Carlo Martins Gaddi

Maio, 2023

DEDICATÓRIA

Essa tese é dedicada para minha mãe.

EPIGRAFE

“- Para vermos o azul, olhamos para o céu. A Terra é azul para quem olha do céu. Azul será uma cor em si, ou uma questão de distância? Ou uma questão de grande nostalgia? O inalcançável é sempre azul”.

Clarice Lispector, Cosmonauta na Terra

“I looked down and I could see (...) the thin, blue-tinged layer of oxygen around Earth (...) I turned my head to face the other direction, to stare into space. I love the mystery of the universe. All the questions that have come to us over thousands of years (...) but when I looked in the opposite direction, into space, there was no mystery, no majestic awe to behold (...) I saw a cold, dark, black emptiness. It was unlike any blackness you can see or feel on Earth. It was deep, enveloping, all-encompassing. I turned back toward the light of home. I could see the curvature of Earth, (...) the blue of the sky. It was life. Nurturing, sustaining, life. Mother Earth. Gaia. And I was leaving her”.

William Shatner after space flight

“A gente publica para não passar a vida corrigindo o que escreve. A verdade é que se publica para se libertar do livro e pensar em outro. Quanto a mim, reli muito pouco do que escrevi. Ainda que de vez em quando me releiam passagens do que escrevi e às vezes elas me agradam. E digo: de onde tirei tudo isto? Na certa deve ser plágio, porque é bom.”

Jorge Luis Borges

RESUMO

Gaddi, C., M., Costa, M., F., Feitosa-Santana, C. Estudos quantitativos da psicologia das cores: Saliências mentais, preferência por termos básicos e composições complexas [Tese de Doutorado]. São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo, Instituto de Psicologia, 2023.

Essa tese tem como objetivo estudar diferentes aspectos psicológicos sobre a cor: quais são as cores mais salientes mentalmente; qual a preferência pessoal das cores mais salientes; como se dá a distribuição colorimétrica dos *graffiti* urbanos da cidade de São Paulo, Brasil; qual a preferência por diferentes configurações colorimétricas dos *graffiti*. A abordagem psicofísica utilizada para quantificar esses atributos mentais permitiu a construção de escalas intervalares, onde as distâncias entre os pontos são dadas em unidades de desvio padrão, proporcionando um acesso em nível quantitativo à informação, fácil de ser usada em diferentes grupos onde comparações são desejadas.

Cento e trinta e oito adultos (idade média = 22,7; DP = 1,9) e duzentas e vinte e cinco crianças (idade média = 8,9; DP = 2,3) concluíram uma tarefa que consistiu em escrever uma lista de nomes de cores que possuíssem apenas um termo. Para crianças em início de alfabetização, o teste foi realizado oralmente, e o pesquisador anotava as respostas. Os dados foram analisados usando o Método do Ranqueamento de Thurstone, o que permitiu aplicar sua Lei do Julgamento Comparativo para a criação de uma escala intervalar onde as distâncias dos pontos medidos são representadas em unidades de desvio padrão da amostra. Para adultos, o termo da cor mais saliente foi azul e a menos, violeta, com 3,51 unidades entre elas. Para crianças, esses dois termos se encontram a 3,67 unidades. Diferenças significantes entre adultos e crianças ocorreram para branco, marrom, rosa, laranja, cinza e violeta.

Em um segundo estudo, verificou-se possíveis relações entre os termos das cores mais salientes encontrados em adultos e crianças no estudo anterior com suas respectivas preferências, usando a mesma abordagem metodológica psicofísica. Trezentos adultos concluíram um teste na internet (idade média = 30 anos; DP = 1,02), e cinquenta e duas crianças concluíram o mesmo teste presencialmente (23 com 6 anos de idade; 29 com 7 anos de idade;

32 meninas). A tarefa consistiu em ordenar as oito cores mais salientes, exibidas em quadrados, cada um preenchido com uma única cor, na tela de computador, de acordo com a preferência pessoal. Com exceção do vermelho, todas obtiveram valores similares nos dois grupos, indicando uma tendência global em preferir azul e evitar marrom, e esse comportamento é mantido durante a vida. Embora algumas similaridades entre os conceitos mais salientes das cores com suas respectivas preferências foram observados, a baixa significância estatística indica que a preferência pessoal não exerce muito impacto no aprendizado dos termos de cor, e provavelmente está relacionada a outros fatores, como contexto e cultura.

Para estudar a preferência por composições colorimétricas complexas, investigou-se o uso das cores dos *graffiti* urbanos da cidade de São Paulo, Brasil, caracterizando-os quantitativamente pela estrutura cromática, a fim de realizar comparações com pinturas tradicionais de museus e fotografias de cenas naturais encontradas previamente na literatura científica. Duzentos e vinte e oito fotografias de *graffiti* foram coletadas na cidade de São Paulo, Brasil. Suas cores foram representadas no espaço de cor *CIELAB* e caracterizadas por diferentes parâmetros estatísticos. Foram encontradas diversas similaridades com as pinturas tradicionais, em particular, ambos os estilos possuem maior distribuição ao longo do eixo azul-amarelo, sugerindo uma tendência em mimetizar a distribuição colorimétrica geralmente encontrada na natureza. Os *graffiti* obtiveram uma área do *gamut* consideravelmente maior que as pinturas tradicionais, o que foi explicado por uma análise dos pigmentos sintéticos modernos usados por esse estilo artístico, que são mais puros do que os pigmentos tradicionais de pinturas a óleo. Um maior espalhamento na curva do ângulo de orientação do *gamut*, em comparação com pinturas tradicionais, também foi encontrado, o que indica que os artistas urbanos fazem uso das cores com maior liberdade, produzindo composições menos engessadas que as pinturas tradicionais.

Para verificar se existe uma tendência em preferir a configuração cromática original dos *graffiti*, foi realizado um teste na internet, utilizando quatro fotografias dos *graffiti*. Como critério de seleção, duas fotografias foram de *graffiti* com ângulos de orientação do *gamut* raramente encontrada na natureza, e as outras duas com os ângulos mais comuns. Cada fotografia teve seu ângulo do *gamut* rotacionado no espaço de cor *CIELAB* em intervalos de 40°, sendo três no sentido horário e três no sentido anti-horário, totalizando seis condições, mais a original. Essa modificação permite alterar as cores preservando as mesmas proporções, saturação e brilho. Cento e oitenta e nove voluntários (idade média = 24; DP = 1,6) concluíram um procedimento na internet, através de uma rotina *2AFC* dividida espacialmente, onde dever-

se-ia escolher a condição preferida. Foi utilizada a Lei do Julgamento Comparativo para a construção da escala intervalar para cada um dos *graffiti*. Os resultados generalizam estudos anteriores similares realizados com pinturas tradicionais, revelando que a composição colorimétrica original é a mais preferida, e que quando essa distribuição é próxima da distribuição geralmente encontrada na natureza, o efeito se torna mais evidente.

Espera-se que esse trabalho sirva para encorajar estudos formais na psicologia das cores, através da utilização de metodologias científicas que tenham como base a fisiologia da visão humana, bem como na realização de manipulações digitais adequadas, obedecendo limites de discriminação de cor e espaços de cor dentro da reprodução dos monitores atuais, e no uso de escalas quantitativas com origens na psicofísica, permitindo comparar essas modalidades em um mesmo *continuum* dimensional, contribuindo para o entendimento de como a informação perceptual é representada psicologicamente.

Palavras-chave: preferência de cor; saliência mental; distribuição colorimétrica; Lei do Julgamento Comparativo; escala psicofísica intervalar.

ABSTRACT

Gaddi, C., M., Costa, M., F., Feitosa-Santana, C. Quantitative studies of color psychology: mental saliency, preference for basic color terms and complex compositions [PhD]. São Paulo, Brazil: University of São Paulo, Institute of Psychology, 2023.

This thesis aims to study different psychological aspects of color: what are the most salient colors mentally; what is the personal preference of the most salient colors; how is the colorimetric distribution of urban graffiti in the city of São Paulo, Brazil; what is the preference for different colorimetric graffiti configurations. The psychophysical approach used to quantify these mental attributes allowed the construction of interval scales, where the distances between the points are given in standard deviation units, providing a quantitative level access to information, easy to be used in different groups where comparisons are desired. .

One hundred thirty-eight adults (mean age = 22.7; SD = 1.9) and two hundred twenty-five children (mean age = 8.9; SD = 2.3) completed a task consisting of writing a list of color names that had only one term. For children at the beginning of literacy, the test was performed orally, and the researcher wrote down the answers. The data were analyzed using Thurstone's Ranking Method, which allowed applying his Law of Comparative Judgment to create an interval scale where the distances of the measured points are represented in units of standard deviation of the sample. For adults, the most salient color term was blue and the least violet, with 3.51 units between them. For children, these two terms meet at 3.67 units. Significant differences between adults and children occurred for white, brown, pink, orange, gray and violet.

In a second study, possible relationships between the terms of the most salient colors found in adults and children in the previous study with their respective preferences were verified, using the same psychophysical methodological approach. Three hundred adults completed a internet-based test (mean age = 30 years; SD = 1.02), and fifty-two children completed the same test in person (23 6-year-olds; 29 7-year-olds; 32 girls). The task consisted of ordering the eight most salient colors, displayed in squares, each filled with a single color, on the computer screen, according to personal preference. With the exception of red, all

obtained similar values in both groups, indicating a global tendency to prefer blue and avoid brown, and this behavior is maintained throughout life. Although some similarities between the most salient concepts of colors and their respective preferences were observed, the low statistical significance indicates that personal preference does not have much impact on the learning of color terms, and is probably related to other factors, such as context and culture.

In order to study the preference for complex colorimetric compositions, the use of colors in urban graffiti in the city of São Paulo, Brazil was investigated, characterizing them quantitatively by chromatin structure, in order to make comparisons with traditional paintings from museums and photographs of natural scenes. previously found in scientific literature. Two hundred and twenty-eight graffiti photographs were collected in the city of São Paulo, Brazil. Their colors were represented in the CIELAB color space and characterized by different statistical parameters. Several similarities with traditional paintings were found, in particular, both styles have greater distribution along the blue-yellow axis, suggesting a tendency to mimic the colorimetric distribution generally found in nature. Graffiti achieved a gamut area considerably larger than traditional paintings, which was explained by an analysis of modern synthetic pigments used by this artistic style, which are purer than traditional pigments in oil paintings. A greater spread in the gamut orientation angle curve, in comparison with traditional paintings, was also found, which indicates that urban artists make use of colors with greater freedom, producing less plastered compositions than traditional paintings.

In order to verify if there is a tendency to prefer the original chromatic configuration of the graffiti, a test was carried out on the internet, using four photographs of the graffiti. As a selection criterion, two photographs were of graffiti with gamut orientation angles rarely found in nature, and the other two with the most common angles. Each photograph had its gamut angle rotated in the CIELAB color space at 40° intervals, three clockwise and three counterclockwise, totaling six conditions, plus the original. This modification allows you to change colors while preserving the same proportions, saturation and brightness. One hundred and eighty-nine volunteers (mean age = 24; SD = 1.6) completed a procedure on the internet, through a spatially divided 2AFC routine, where one should choose the preferred condition. The Law of Comparative Judgment was used for the construction.

Keywords: color preference; mental saliency; colorimetric distribution; Law of Comparative Judgment; psychophysical interval scale.

AGRADECIMENTOS

Sou extremamente grato por Marcelo Fernandes da Costa e Cláudia Feitosa-Santana, que supervisionaram meu trabalho de doutorado. O conhecimento e ajuda que obtive através dos conselhos de ambos foi essencial para a realização desta tese.

Sérgio Nascimento (UMinho-PT), pelas análises colorimétricas das fotografias dos *graffiti* de São Paulo-BR.

Gostaria de agradecer a todo o suporte recebido pelas equipes das escolas EMEF General Liberato Bittencourt e EMEF Maria Aparecida Broca Meirelles. Eu e Marcelo dedicamos um agradecimento muito especial para a Prof. Maria da Glória Estevam.

Peter Claessens (UFABC-BR) e Mariana Antônia Aguiar-Furucho (UTFPR-BR), pela ajuda com as rotinas estatísticas do capítulo 7, e aos desenvolvedores Douglas Muratore e José Fernando Barbosa Boro, pelo suporte e desenvolvimento dos testes psicofísicos realizados na internet.

Finalmente, gostaria de agradecer a minha família e amigos que me apoiaram e me aconselharam durante todo o período, e a todos os voluntários anônimos que participaram dos experimentos.

Esse trabalho foi financiado pela Fundação CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) para Carlo Martins Gaddi (88882.376512/2019-01). Agradeço também a PROAP e FAPESP, por todo o apoio financeiro.

LISTA DE EQUAÇÕES, FIGURAS E TABELAS

EQUAÇÃO 1	25
EQUAÇÃO 2	25
EQUAÇÃO 3	27
EQUAÇÃO 4	27
EQUAÇÃO 5	27
FIGURA 1: ESCALAS DE PREFERÊNCIA DE COR E A SALIÊNCIA MENTAL DO CONCEITO DA COR	47
FIGURA 2: CONSISTÊNCIA INTERNA DA ESCALA DE PREFERÊNCIA DE COR.	48
FIGURA 3: COMPARAÇÃO ENTRE PREFERÊNCIA DE COR PARA ADULTOS E CRIANÇAS.	49
FIGURA 4: COMPARAÇÃO ENTRE PREFERÊNCIA DE COR E A SALIÊNCIA DO CONCEITO MENTAL PARA ADULTOS.	49
FIGURA 5: COMPARAÇÃO ENTRE PREFERÊNCIA DE COR E A SALIÊNCIA DO CONCEITO MENTAL PARA CRIANÇAS.	49
FIGURA 6: DIAGRAMA DE CROMATICIDADE CIE (1931).	59
FIGURA 7: (A) CAMPO RECEPTIVO DAS CÉLULAS DA RETINA; (B) MODELO DE COR CIELAB.	61
FIGURA 8: ESCALA DA PREFERÊNCIA DO ÂNGULO DE ORIENTAÇÃO DO GAMUT DO GRAFFITI 1.	93
FIGURA 9: ESCALA DA PREFERÊNCIA DO ÂNGULO DE ORIENTAÇÃO DO GAMUT DO GRAFFITI 2.	94
FIGURA 10: ESCALA DA PREFERÊNCIA DO ÂNGULO DE ORIENTAÇÃO DO GAMUT DO GRAFFITI 3.	95
FIGURA 11: ESCALA DA PREFERÊNCIA DO ÂNGULO DE ORIENTAÇÃO DO GAMUT DO GRAFFITI 4.	96
FIGURA 12: CONSISTÊNCIA INTERNA DAS ESCALAS DE PREFERÊNCIA DOS GRAFFITI.	97
TABELA 1: RESUMO DOS ESTUDOS E PRINCIPAIS ACHADOS SOBRE A DISTRIBUIÇÃO COLORIMÉTRICA DE PINTURAS E FOTOGRAFIAS.....	56
TABELA 2: RESUMO DOS TESTES PSICOFÍSICOS E PRINCIPAIS ACHADOS A RESPEITO DA PREFERÊNCIA PELA DISTRIBUIÇÃO COLORIMÉTRICA DE PINTURAS E FOTOGRAFIAS.....	57

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
O USO DA PSICOFÍSICA NA CRIAÇÃO DE ESCALAS QUANTITATIVAS PARA ESTUDOS DE ESTÉTICA EXPERIMENTAL: UMA REVISÃO SOBRE A LEI DO JULGAMENTO COMPARATIVO	20
A Lei do Julgamento Comparativo	23
<i>Procedimento de Escolha Forçada</i>	26
<i>Procedimento de Ranqueamento</i>	26
Discussão.....	29
MÉTODO DE ESCALONAMENTO PSICOFÍSICO PARA MEDIDAS DE CONCEITOS DE COR EM CRIANÇAS E ADULTOS	31
COMPARANDO OS CONCEITOS DE COR COM SUAS RESPECTIVAS PREFERÊNCIAS EM CRIANÇAS E ADULTOS USANDO ESCALA PSICOFÍSICA INTERVALAR	41
Método	44
<i>Sujeitos</i>	44
<i>Elaboração e procedimento</i>	45
Resultados	46
Discussão.....	50
O USO DAS CORES EM PINTURAS E A PREFERÊNCIA PELA NATURALIDADE	52
The use of colors in paintings and the preference for the naturalness	53
Espaço de Cor Uniforme.....	58
Distribuição Colorimétrica em Pinturas.....	63
Preferência pela Distribuição Colorimétrica	64
Discussão.....	66
ARTE ATRAVÉS DAS CORES DOS <i>GRAFFITI</i>: DA PERSPECTIVA DA ESTRUTURA CROMÁTICA	68
PREFERÊNCIA DA ESTRUTURA CROMÁTICA DOS <i>GRAFFITI</i> URBANOS DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO	87
Método	90
<i>Sujeitos</i>	90
<i>Elaboração e procedimento</i>	91
Resultados	92
Discussão.....	97
CONCLUSÃO	102
REFERÊNCIAS	105

INTRODUÇÃO

A percepção de cor é um dos exemplos mais extremos de uma experiência subjetiva criada por um conceito intrínseco ao cérebro, e que é afetado por diversos fatores, como o ambiente, a cultura e a experiência do próprio indivíduo (Skelton et al., 2017). Embora os seres humanos sejam capazes de discriminar milhões de cores (Linhares et al., 2008) ao longo de um *continuum*, quando se trata de comunicar seu conceito, é comum agrupá-las em um número reduzido de classes categóricas. A mente organiza essas categorias com base nas similaridades, e o uso dos termos para nomear essas classes permite que a referência da cor em questão seja compreendida, mesmo que a percepção entre diferentes indivíduos possa variar.

A natureza multicultural dos conceitos e categorizações da cor são centrais na tradição dos estudos de Berlin & Kay (1969/1991). Décadas de debates multidisciplinares vem questionando como essas categorias cognitivas são formadas; se elas são universais, com bases biológicas dos mecanismos intrínsecos do sistema visual, ou se são influenciadas por fatores arbitrários, como a construção da linguagem e a cultura de determinado grupo. Diversos estudos quantitativos buscaram termos linguísticos de cor em diferentes línguas, culturas e regiões do globo, e as evidências parecem apontar que as categorias de cor não são uma criação linguística arbitrária, mas refletem mecanismos perceptuais do cérebro. Ao menos 11 categorias de cores parecem ser universais (para uma revisão, ver Lindsey & Brown, 2021).

Recentemente, pesquisadores criaram mapas semânticos quantitativos através da coleta de termos de cores usando a tarefa de *Free Listing* em diversos países da Europa, possibilitando verificar a organização cognitiva dos conceitos da cor em diferentes grupos linguísticos (Bimler & Uusküla, 2018; Uusküla & Bimler, 2016). Foi possível encontrar as cores mais salientes para esses grupos linguísticos, suas frequências de ocorrência e, mais importante, pistas da representação cognitiva dos termos semanticamente semelhantes. Outro estudo mostrou a existência de três diferentes termos semânticos para categorizar tons de azul na língua italiana, e que parecem ser bastante salientes mentalmente (Del Viva et al., 2022). Em algumas regiões da Itália, especialmente Florença, os participantes categorizam azuis escuros como *blu*, azuis médios como *azzurro* e azuis claros como *celeste*, e essas três cores parecem ter representações cognitivas bastante distintas. Outro estudo realizou estatísticas avançadas em

diversos grupos em várias partes do mundo e mostrou que cultura e o ambiente não só influenciam na formação dos termos linguísticos da cor, mas até mesmo na própria percepção, tendo reflexo geográfico direto como radiação UV, quantidade de lagos e mar na região, índice de incidência solar, entre outros (Josserand et al., 2021).

A preferência de cor é outra importante ação cognitiva que gera atitude para expressar eventos subjetivos, e está ligada a fatores geográficos e culturais (Jonauskaite et al., 2020; Nascimento et al., 2020). Décadas de pesquisa também documentaram estudos sistemáticos e replicáveis a respeito de preferência de cor em adultos (Maule et al., 2022). Em geral, preferem tons azulados, enquanto amarelos escuros são menos preferidos (Palmer & Schloss 2010, Taylor et al., 2013b). Estudos de preferência de cor em crianças também se mostraram sistemáticos e replicáveis. Ling & Hurlbert (2011) identificaram que a curva de preferência de cor entre crianças de 8 a 9 e 11 aos 12 anos de idade apresenta diversas similaridades com a de adultos.

Palmer & Schloss (2010) criaram a Teoria da Valência Ecológica (*EVT* em inglês) em uma tentativa de incluir em seu modelo os diversos fatores que influenciam a preferência de cor em adultos. Resultados empíricos de seus testes mostraram que a preferência de cor parece estar ligada a uma conexão positiva que o indivíduo desenvolve com o ambiente ou objeto de determinada cor, sendo fundamentalmente adaptativa. A preferência de cor não seria apenas um resultado biológico, mas estaria associado a fatores culturais, ambientais e emocionais (Taylor et al., 2013b; Palmer & Schloss, 2010).

Já foi possível também estabelecer medidas de preferência de cor aplicada em diferentes contextos e objetos. Schloss et al. (2013) realizaram experimentos onde os participantes deveriam escolher a cor preferida para diferentes objetos, além da preferência de cor de forma global, e azul foi a cor preferida em todas as condições. Em um estudo similar, Jonauskaite et al. (2016) também encontrou azul como a cor preferida globalmente, mas não em todos os objetos. Já o amarelo foi a cor menos preferida em quase todas as condições. Em ambos os estudos, os participantes preferiram cores mais saturadas para a preferência de cor global, quando comparada com a cor aplicada em objetos específicos (Jonauskaite et al., 2016; Schloss et al., 2013). A grande variação na preferência de cor em relação ao objeto em que se aplica sugere que o contexto exerce papel fundamental na escolha. Também, os estudos mostram que a preferência de cor varia também em relação ao brilho e saturação, e que esses parâmetros são importantes e devem ser considerados.

A possibilidade de analisar quantitativamente elementos visuais complexos fez com que houvesse uma crescente demanda nos estudos das regularidades estatísticas no uso das cores, buscando entender melhor seu papel na experiência estética. O uso das cores em pinturas de diferentes épocas e estilos, incluindo obras de arte abstratas e figurativas (Montagner et al., 2016; Romero et al., 2018) mostraram diversas semelhanças na estrutura cromática, em especial o ângulo de inclinação do *gamut* no espaço de cor CIELAB, que representa as proporções de cores, indicando que os artistas utilizam uma variedade limitada das possíveis combinações colorimétricas. Mesmo que de forma inconsciente, os artistas acabam por mimetizar diversas regularidades geralmente encontradas na natureza.

Testes psicofísicos de preferência de diversas pinturas foram realizados, manipulando sua configuração cromática, e os resultados revelaram uma tendência sistemática em preferir a distribuição original da composição, e embora mais fraco, a mesma tendência foi observada nas versões com distorções espaciais, onde a pintura não era reconhecida, preservando apenas a cor, e evidenciando que ela produz um papel independente na experiência estética (Albers et al., 2020; Nascimento et al., 2021).

Os resultados encontrados vão de acordo com o modelo teórico de codificação neuronal, que diz que os sistemas sensoriais devem estar adaptados, em escala de tempo evolutiva, para processar mais eficientemente os estímulos que aparecem com maior frequência em ambientes naturais (Simoncelli & Olshausen, 2001). Os artistas mimetizam certas regularidades da natureza, fazendo com que determinados elementos de suas composições causem respostas mais eficientes nos neurônios sensoriais, e que de alguma forma isso estaria relacionado com a preferência, ainda num estágio inicial do processamento sensorial, portanto não consciente e universal (Graham & Redies, 2010; Redies, 2008).

Espera-se que esse trabalho sirva para encorajar estudos formais na psicologia das cores, através da utilização de metodologias científicas que tenham como base a fisiologia da visão humana, e no uso de escalas quantitativas com origens na psicofísica, permitindo comparar essas modalidades em um mesmo *continuum* dimensional, contribuindo para o entendimento de como a informação perceptual é representada psicologicamente.

CAPÍTULO 2

O USO DA PSICOFÍSICA NA CRIAÇÃO DE ESCALAS QUANTITATIVAS PARA ESTUDOS DE ESTÉTICA EXPERIMENTAL: UMA REVISÃO SOBRE A LEI DO JULGAMENTO COMPARATIVO

Resumo

A psicofísica possibilitou a criação de modelos matemáticos para o estudo de diversos eventos mentais, buscando relações entre o mundo real e sua representação subjetiva, auxiliaram em diferentes problemas da fisiologia e biologia e estabelecendo métricas para diversas modalidades sensoriais. Louis Leon Thurstone (1887-1955), um dos pioneiros da psicometria, estava interessado em medidas subjetivas da mente da qual não havia um estímulo físico de comparação, como avaliação de diversos tipos de crimes, opiniões públicas e escalas de inteligência. Seu método ficou conhecido como Lei do Julgamento Comparativo, e ainda é um dos melhores protocolos para criação de escalas de intervalo para eventos mentais. Seu método vem sendo utilizado para criação de testes psicofísicos para estudos de preferência estética em artes visuais, possibilitando uma abordagem quantitativa sobre o tema.

Esse capítulo apresenta as origens desse método, que são as bases para o entendimento de problemas que vão além da fisiologia e biologia, e fundamentaram estudos multidisciplinares como a ergonomia, estética experimental e teorias de decisão. Conhecer as origens da psicofísica facilitará o leitor na compreensão das discussões atuais da literatura científica a respeito dos mais variados assuntos relacionados à mente humana.

Sugere-se a continuidade nos estudos da experiência estética, através do uso de uma escala psicofísica unificada, que permita comparações de diferentes modalidades estéticas e contribua para o entendimento de como a informação perceptual e a preferência pessoal são representadas psicologicamente.

Palavras-chave: método psicofísico; experiência estética; Lei do Julgamento Comparativo; artes visuais; percepção visual.

**The use of psychophysics to create quantitative scales for experimental aesthetics
studies: a review on the Law of Comparative Judgment**

Abstract

Psychophysics enabled the creation of mathematical models for the study of different mental events, seeking relationships between the real world and its subjective representation, helping in different problems of physiology and biology, and establishing metrics for different sensory modalities. Louis Leon Thurstone (1887-1955), one of the pioneers of psychometry, was interested in subjective measures of the mind from which there was no physical stimulus for comparison, such as ratings of various types of crimes, public opinion, and intelligence scales. His method came to be known as the Law of Comparative Judgment, and it is still one of the best protocols for creating interval scales for mental events. His method has been used to create psychophysical tests for studies of aesthetic preference in the visual arts, allowing a quantitative approach to the subject.

This chapter presents the origins of this method, which are the basis for the understanding of problems that go beyond physiology and biology, and have based multidisciplinary studies such as ergonomics, experimental aesthetics, decision theories. Knowing the origins of psychophysics will make it easier for the reader to understand current discussions in scientific literature on the most varied subjects related to the human mind.

It is suggested that studies of aesthetic experience continue, through the use of a unified psychophysical scale, which allows comparisons of different aesthetic modalities and contributes to the understanding of how perceptual information and personal preference are psychologically represented.

Keywords: psychophysical method; aesthetic experience; Law of Comparative Judgment; visual arts; visual perception.

A virada do século foi marcada por grandes avanços nos estudos do cérebro, possibilitados pelos equipamentos de imagens médicas, especialmente o *fMRI*, que permitiram mapear atividades neurais de maneira não invasiva, despertando interesse não apenas nos fisiologistas, mas para estudos de psicologia comportamental, sociologia, *marketing*, economia, e mais recentemente vem ganhando espaço em áreas como *design* e arquitetura.

O mesmo ocorreu com a psicologia da arte, e o interesse em estudar a experiência estética do ponto de vista da fisiologia do sistema nervoso teve seu marco com Semir Zeki (1940-), neurologista que investigou detalhadamente a fisiologia do córtex visual e contribuiu no mapeamento e entendimento das diversas áreas que processam diferentes componentes da informação vinda da retina, que irá se combinar para gerar uma percepção consciente da cena. Inspirado em seus estudos, junto ao seu interesse pessoal e fascinação pelas artes plásticas, relacionou algumas áreas específicas do córtex visual com certos atributos visuais constituintes de pinturas, e propôs que a ativação dessas regiões seriam cruciais não apenas à percepção, mas também à experiência estética (Cavanagh, 2005; Zeki, 1999).

Com os avanços computacionais, vem sendo possível a extração digital de características visuais de pinturas, como distribuição colorimétrica, frequências espaciais, luminância, distribuição de bordas (Bo et al., 2018), possibilitando a realização de experimentos quantitativos para medir preferência por esses atributos, buscando possíveis relações com a codificação do sistema visual, na tentativa de entender os mecanismos neurais envolvidos na experiência estética (Albers et al., 2020; Ligaya et al., 2021; Nascimento et al., 2021).

Os métodos usados nesses estudos têm suas origens na psicofísica, e embora necessitem de muitas repetições e longas sessões experimentais, o que dificulta bastante a coleta de grandes números amostrais e fora de laboratório, são métodos clássicos e com vieses minimizados, e ainda são os melhores protocolos para medidas de preferência e julgamento (Palmer et al., 2013).

A importância da psicofísica atualmente não deve ser exclusiva a fisiologistas, mas uma ferramenta para criação de medidas quantitativas para os mais diversos atributos psicológicos e que normalmente são estudados por vieses qualitativos ou escalas ordinais e nominais, e que não possuem poder estatístico para a realização de uma investigação verdadeiramente quantitativa.

A psicofísica também teve sua história ligada ao surgimento da estética experimental, já que o próprio Gustav Theodor Fechner (1801-1887), fundador da psicofísica, também foi um dos pioneiros no uso de métricas para estudar a experiência estética em obras de arte com uma

abordagem diferente da maioria dos filósofos de sua época. Teve seu trabalho publicado sob o título *Vorschule der Aesthetik* (1876), contendo os primeiros esforços para parametrizar os diversos elementos visuais de obras de arte. A partir da publicação de seus trabalhos sobre estética experimental, a psicologia se desenvolveu significativamente em estudos relacionados a arte, passando cada vez mais a estudá-la por meios experimentais e empíricos, buscando entender como alguns elementos visuais causariam uma experiência positiva ainda na primeira fase de processamento sensorial, em contraste com a teoria introspectiva da psicologia da arte, que leva em conta a experiência, nível de informação e cultura do fruidor (Jacobsen, 2010; Palmer et al., 2013).

Esse artigo propõe uma revisão do modelo psicofísico de Thurstone (1927a). Também é detalhado seu Método do Ranqueamento (Thurstone, 1931b), que traz facilidades procedimentais, possibilitando estudos em maiores grupos simultaneamente e em condições de poucos recursos experimentais, como ocorre em muitas condições de estudos comparando estímulos sociais ou de qualidade estética. Estes estímulos são muito mais complexos do que estímulos sensoriais como comprimento, brilho e volume sonoro, mas que podem ser metricamente organizados em ordem de preferência ou com base na discriminabilidade.

A expectativa é de que essa revisão seja útil não apenas aos estudos relacionados com preferência estética, mas que possa ser aplicada como fonte de referência para modelos experimentais nas mais diversas áreas do comportamento e experiência humana.

A Lei do Julgamento Comparativo

A psicofísica teve suas origens com Gustav Theodor Fechner¹, ao apresentar um modelo de medição entre a mente e o mundo físico. Seu objetivo era determinar a relação entre um estímulo físico (sua unidade física mensurável), com a sensação causada por ele. Dada a impossibilidade de medir a sensação diretamente, criou métodos indiretos, perguntando aos participantes se o estímulo está presente ou ausente, ou se é mais ou menos intenso (Stevens & Marks, 2017). Embora a equação formulada por Fechner (1860) não fosse verdadeira para todas as modalidades sensoriais, e nem mesmo para uma mesma modalidade, dependendo das intensidades dos estímulos, sua teoria abriu caminhos que possibilitaram importantes estudos experimentais a respeito da fisiologia da visão, como as relações entre acuidade visual e luminosidade, tempo de reposta, intensidade de estímulos, discriminação de cor, bem como a

¹ Uma revisão da psicofísica de Fechner pode ser conferida em (Dzhafarov & Colonius, 2011).

fisiologia da audição, como a relação entre intensidade física do som e percepção auditiva, levando a criação de diversas medidas perceptuais. Possibilitou o desenvolvimento de métodos experimentais que auxiliaram em diversos problemas da biologia, fisiologia e psicologia, estabelecendo métricas para diversas modalidades sensoriais e fornecendo a fundamentação necessária para um estudo científico da mente (Stevens & Marks, 2017).

Louis Leon Thurstone (1887-1955), matemático e psicólogo da Escola de Chicago, um dos pioneiros da psicometria e análise fatorial, estava interessado em medidas subjetivas da mente das quais não havia uma unidade física de comparação. Seu interesse era na criação de medidas como avaliação de diversos tipos de crimes, opiniões públicas, escalas de inteligência, julgamento e decisão (Thurstone, 1927b; 1931a). Criticou o modelo de Fechner (1860) em dois principais pontos. Primeiro, dizia que sua escala subjetiva descrevia apenas as intensidades das sensações, não permitindo medir os pontos em um *continuum* dimensional. Segundo, suas medidas de limiar eram apenas medidas dos estímulos físicos, e não propriamente medidas psicológicas, ou “escala da mente”, como o próprio Fechner chamou.

A psicofísica clássica é de fato caracterizada pelo uso de referências externas, e nesse sentido o que se está medindo são as capacidades subjetivas de modificações das dimensões físicas de um estímulo. Como são realizados sucessivos julgamentos com base em um estímulo de referência, essa medida é baseada num processo estatístico dos sucessivos julgamentos realizados em uma série, onde deve-se responder corretamente mais do que metade das vezes.

Thurstone (1927a) assumiu que os órgãos sensoriais se comportam de forma probabilística, devido um ruído inerente, seja causado por eventos externos, variabilidade do estímulo, estado neural do participante naquele instante, ou até induzido deliberadamente pelo experimentador. Esse ruído tem um efeito no *continuum* sensorial hipotético, e qualquer que seja a fonte, seu efeito sensorial não poderá ser distinguido do efeito causado pelo estímulo.

Esse modelo é análogo a uma amostra estatística, onde a resposta não é tida como absoluta, mas sim que o participante prefere ou não tomar determinada decisão, com base na informação recebida naquele momento específico. Em cada julgamento existe um evento sensorial causado pela apresentação de um estímulo que se soma com o ruído inerente, ou um evento sensorial causado apenas pelo ruído, e o participante deve decidir qual dos dois produziu o sinal (Maydeu-Olivares, 2004; Thurstone, 1927a).

O mesmo resultado do limiar de Fechner (1860) pôde ser interpretado por Thurstone (1927a) usando exclusivamente termos subjetivos, e ficou conhecida como Lei do Julgamento Comparativo, que tem como base as seguintes premissas: (i) cada estímulo dá origem a um

processo discriminativo, que tem algum valor no *continuum* psicológico; (ii) devido a flutuações momentâneas (que podem ser consideradas como flutuações internas que ocorrem para o mesmo observador, ou entre diferentes observadores), o valor de um estímulo pode ser julgado como maior ou menor em diferentes repetições. A distribuição dessa flutuação poderá ser caracterizada por uma distribuição normal (ou alguma outra distribuição); (iii) a média e o desvio padrão da distribuição associada ao estímulo são, respectivamente, os valores da escala e sua dispersão discriminativa; (iv) a distribuição das diferenças entre dois estímulos será uma distribuição normal e uma função das proporções em que um estímulo é escolhido como maior do que o outro na série. Sem a necessidade do estímulo físico X , a Lei do Julgamento Comparativo pôde ser postulada:

$$S_1 - S_2 = z_{12} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - 2r \sigma_1 \sigma_2} \quad \text{Equação 1}$$

σ é o desvio padrão das flutuações das intensidades das sensações S causadas pelos estímulos X ; r é o coeficiente de correlação entre as flutuações das intensidades S ; z são as probabilidades das escolhas durante a série.

A formulação de Thurstone (1927a) é mais geral do que a formulação de Fechner (1860), onde era suposto que valores altos para $\Delta = S_1 - S_2$ seriam igualmente detectados pelo participante. Isso só ocorre quando a expressão dentro da raiz quadrada for uma constante, como quando os desvios padrão σ forem idênticos, constantes e não relacionáveis ($r = 0$). Em outras palavras, assume-se que a avaliação de um estímulo não influenciará a avaliação dos outros estímulos em um mesmo *continuum*. Essas suposições levam à formulação mais simples da equação, conhecida como caso V:

$$S_i - S_j = z_{ij} \sqrt{2} \quad \text{Equação 2}$$

A partir dessa equação é possível calcular as proporções de vezes que um estímulo é julgado diferente do outro em um determinado *continuum* psicológico².

A formulação da lei psicofísica por Fechner (1860) descreve apenas casos unidimensionais, e necessitam de unidades físicas de comparação, enquanto a lei de Thurstone (1927a) permite uma generalização às modalidades multidimensionais e não necessita de unidades físicas, sendo o primeiro modelo matemático de processo de decisão e julgamento, e pode ser usado em classes mais amplas de experimentos.

² Uma rotina matemática em *matlab* do caso V da Lei do Julgamento Comparativo de Thurstone (1927a) está disponível em Pérez-Ortiz & Mantiuk (2017) e pode ser usada para a criação de escala para diversos estudos.

Procedimento de Escolha Forçada

Um dos protocolos experimentais mais antigos para estudar quantitativamente algum atributo psicológico, é conhecido como *two-alternative-forced-choice (2AFC)*. Ele possibilita uma escolha binária para o participante, bastante simples de ser compreendida e executada, e ainda é considerado o melhor protocolo para medidas relacionadas a preferência (Pérez-Ortiz et al., 2019; Pérez-Ortiz & Mantiuk, 2017; Palmer et al., 2013; Thurstone, 1927b).

Suponha que a preferência para n pinturas esteja sendo investigada. Nesse procedimento são construídas todas as possibilidades de comparações aos pares para serem apresentadas, um par de cada vez, podendo ser divididos espacialmente (esquerda vs direita), ou temporalmente (um após o outro). Para cada par apresentado, deve-se escolher qual foi a pinturas preferida, e a resposta será anotada usando uma variável binária \tilde{n} , onde \tilde{n} representa o número total de escolhas binárias que o participante deve realizar. Como existem $\tilde{n} = n(n-1)/2$ comparações a serem realizadas em um procedimento de escolha forçada aos pares, é possível obter o padrão de observação binária \tilde{n} para cada participante. Alguns desses padrões são intransitivos, enquanto outros transitivos. Por exemplo, considere três pinturas, $\{i, j, k\}$, e suponha que um participante escolha $i > j, i > k, j > k$. Esse padrão binário de escolhas é transitivo e a sua pintura preferida é i , a segunda é j e a menos preferida é k . Suponha agora que outro participante escolha $i > j, i > k, k > j$. Esse padrão é intransitivo, já que não é possível ordenar a preferência com base em suas escolhas binárias. O total de ordenamentos possíveis para n pinturas é $n!$; esse será apenas o total de padrões transitivos possíveis em um experimento de comparação aos pares. O número de padrões intransitivos possíveis será de $2^{\tilde{n}} - n!$. A partir da organização matricial binária das respostas, será possível aplicar a equação do julgamento comparativo (Maydeu-Olivares, 2004; Pérez-Ortiz & Mantiuk, 2017; Thurstone, 1927b).

Procedimento de Ranqueamento

O interesse de Thurstone estava na avaliação de opiniões públicas e construções de escalas de inteligência, o que o obrigava a buscar alternativas experimentais rápidas e simples de serem executadas, mas que possibilitasse aplicar sua equação do julgamento comparativo (Thurstone, 1927b; 1931a; 1931b;). O método de comparação aos pares (*2AFC*) gera uma longa sessão experimental, devido à necessidade de realização de muitos julgamentos, dificultando avaliações em grandes populações, onde comparações são desejadas. Além disso, necessita de que o pesquisador organize as comparações e as apresente de forma aleatória para os participantes, exigindo maior cuidado experimental, que pode ser bastante difícil para

determinado tipo de estímulo que se queira medir, ou mesmo para o grupo da qual os dados estejam sendo coletados, uma vez que a tarefa gera uma maior fadiga para o participante.

Em uma tarefa de ranqueamento, onde se deve ordenar n pinturas, todas apresentadas de uma só vez, o participante também está realizando julgamentos comparativos entre as opções disponíveis. Implicitamente, o sujeito está realizando \tilde{n} comparações mentais, com a diferença de que os padrões de comparação realizados aqui serão, obrigatoriamente, transitivos (Maydeu-Olivares, 2004). Thurstone (1931b) propôs transformar a ordem absoluta do ranqueamento em padrões binários de comparação aos pares, permitindo por fim aplicar sua equação do Julgamento Comparativo.

Para o participante ranquear n pinturas, ele realizará um total de \tilde{n} julgamentos mentais. Com a ordem de ranqueamento de cada participante, é possível calcular as proporções em que pinturas A foi escolhido na primeira colocação (p_{a1}) e a proporção em que a pinturas B foi escolhida na primeira colocação (p_{b1}). Calculasse a soma das probabilidades para a pinturas A em todas as outras posições do rank, $p_{a2} + p_{a3} + p_{a4} \dots = p_{a>1}$. Isso deverá ser realizado para todas as pinturas, de forma que $p_{a1} \cdot p_{b>1}$ represente a probabilidade de cada participante, aleatoriamente, escolher a pinturas A na primeira posição do rank, e a pinturas B nas posições remanescentes. Esse procedimento deverá ser realizado para todas as pinturas em todas as posições do rank. O produto geral será a probabilidade das pinturas A ser preferida (P_e) no rank K e a pinturas B ser preferida no rank $>K$:

$$p_{ak} \cdot p_{b>k} = P_e \quad \text{Equação 3}$$

Somando o total dos ranqueamentos das pinturas A e B , obtém-se a probabilidade de que a pinturas B seja percebida no rank $>A$:

$$\sum (p_{ak} \cdot p_{b>k}) = V \quad \text{Equação 4}$$

Assume-se que as duas pinturas são pelo menos ligeiramente diferentes no valor psicológico (V), de modo que $B > A$, espera-se que $p_{a>b} > 0,50$.

Com isso, é possível medir a probabilidade de todas as pinturas em uma dada série serem preferidas na posição do rank $>A$. A descrição geral da qual cada par de pinturas é colocada no rank K maior do que as outras pinturas e podem ser formuladas como:

$$p_{b>a} = \sum(p_{ak} \cdot p_{b>k}) + \frac{1}{2} \sum(p_{ak} \cdot p_{bk}) \quad \text{Equação 5}$$

Essa etapa permite construir a matriz binária, na qual se tem, em linhas e colunas, as maiores e menores posições nos ranks considerando os valores absolutos. Com as proporções

de cada pinturas, para cada posição no rank, é possível aplicar a equação do julgamento comparativo (Thurstone, 1927; 1931b).

Vamos supor um estudo de estética experimental hipotético em que se queira medir as emoções evocada de determinada obra de arte. Seria possível criar um número de condições n , onde n seriam adjetivos emocionais, e realizar um experimento clássico de escolha forçada aos pares (*2AFC*). Serão necessárias muitas repetições, além de um controle que dificulta a realização do procedimento para muitos participantes. A segunda possibilidade que Thurstone propôs foi que, através de um procedimento de ranqueamento, onde o participante tenha que ranquear as n condições exibidas todas de uma única vez, a partir de algum determinado número de participantes já seria possível construir uma mesma escala quantitativa através da Lei do Julgamento Comparativo.

A possibilidade de realizar um único ranqueamento para cada adjetivo de emoção facilitaria o estudo em grandes números populacionais. O ranqueamento é uma medida de saliência dimensional, no sentido de que estímulos mais salientes/evidentes/prioritários são externalizados primeiramente em comparação a estímulos de menor valor subjetivo. Considerando este efeito, as frequências das diferentes posições nos ranks são medidas que podem ser comparadas com todas as outras frequências de cada uma das respectivas posições dos demais estímulos ranqueados. Desta forma, a soma das diferenças entre cada estímulo com os demais permite a redução desta matriz de frequências bidimensionais em uma distância no *continuum* unidimensional. Com isso, há a possibilidade de se aplicar a Lei do Julgamento Comparativo. O procedimento de escalonamento de Thurstone permite verificar não apenas a ordem absoluta no rank, mas as distâncias estatísticas entre elas. Seria possível dizer quantas vezes determinada pintura é mais “tensa” do que “calma”; a distância subjetiva de “depressão” e “entusiasmo” e assim por diante.

Discussão

Embora tradicionalmente a psicofísica e o desenvolvimento de métodos escalares tenham sido utilizados para determinar uma medida absoluta da resposta humana para determinado estímulo físico, Thurstone (1927a) conseguiu descrever o mesmo processo através de um modelo probabilístico, onde o processo de decisão é tido como a diferença dos estímulos escolhidos. O mesmo resultado do limiar psicofísico de Fechner pôde ser obtido usando exclusivamente termos subjetivos, permitindo a criação de medidas para eventos puramente mentais, sem a necessidade de uma dimensão física de comparação. A unidade psicológica da medida se torna a variância da distribuição da frequência para o estímulo especificado. Thurstone (1931b) derivou dados de ranqueamento em uma matriz de comparação binária, alocando a ordem absoluta das posições no rank para uma escala intervalar, onde as distâncias dos pontos da escala podem ser medidas com alta precisão matemática, dentro de um mesmo *continuum*.

A facilidade do procedimento de Thurstone ainda possibilita unir em uma mesma escala, diferentes procedimentos experimentais (Pérez-Ortiz et al., 2019), uma vez que os pontos na escala possam ser medidos dentro de intervalos em um mesmo *continuum* unidimensional, através de unidades de desvio padrão da amostra. Dado que a escala é produzida diretamente dos julgamentos discriminativos realizados, a cada julgamento de diferença estamos, intrinsecamente, realizando um afastamento dimensional, adicionando uma unidade de diferença subjetiva. Da mesma forma, quando julgamos não haver diferença, estamos realizando uma redução dimensional, subtraindo uma unidade mental. Esta condição é satisfatória para o cumprimento de critérios matemáticos de uma escala de intervalos. Esta escala possibilita uma investigação das diferenças e similares do *continuum* mental com o uso de estatística paramétrica, médias, desvio padrão e coeficiente de correlação. Sua simplicidade experimental vem possibilitando estudar eventos de diversas ordens e funções cognitivas, como qualidade de saúde (Arons et al., 2012), nomeação de cor (Costa et al., 2021), opções para aplicações de fabricação (Franceschini & Maisano, 2020), percepção de brilho em diferentes objetos (Adams et al., 2018).

Um estudo para determinar preferência de cor foi realizado usando diferentes protocolos psicofísicos na internet e em laboratório (Yu et al., 2021). O método do ranqueamento foi o recomendado para ser realizado online ou com pouco controle experimental. O sucesso desses estudos faz com que acreditemos na realização de alguns

procedimentos psicofísicos em testes online para entender melhor as diferenças culturais e geográficas relacionadas à experiência estética.

A quantificação da preferência estética de pinturas também já vem sendo realizada através de testes online (Ligaya et al., 2021), possibilitando generalizar diversos achados de laboratório e entendendo melhor as diferenças geográficas e culturais relacionadas à preferência. Estudos quantitativos sobre diferentes aspectos cognitivos como emoção, preferência, conforto visual, podem se beneficiar através de testes online buscando um maior entendimento que a cultura influencia nesses atributos. Acreditamos que a metodologia proposta possa auxiliar na criação de uma escala quantitativa unificada que facilite o entendimento de estudos do gênero (Jonaskaite et al., 2020; Nascimento et al., 2021).

O desafio para unir diferentes atributos psicológicos envolvidos na experiência estética é gigantesca, mas ao menos a possibilidade de criação de uma escala que permita medir esses atributos em um *continuum* psicológico, parece promissora. Através de uma metodologia simples, mas muito substancial, permite medidas precisas de eventos subjetivos de diversas ordens e funções cognitivas, possibilitando estudos futuros sobre a relação entre os elementos da construção visual e a geração da representação psicológica nos fruidores, utilizando métodos confiáveis e objetivos, contribuindo para a continuação nos estudos quantitativos da experiência estética.

CAPÍTULO 3

**MÉTODO DE ESCALONAMENTO PSICOFÍSICO PARA MEDIDAS DE
CONCEITOS DE COR EM CRIANÇAS E ADULTOS****Resumo**

O estudo apresenta um método para a construção de uma escala intervalar com bases na psicofísica para medir as saliências psicológicas dos termos usados para categorizar as cores. Cento e trinta e oito adultos (idade média = 22,7; DP = 1,9) foram avaliados. Também foi avaliado um grupo adicional de duzentas e vinte e cinco crianças (idade média = 8,9; DP = 2,3). A tarefa consistiu em escrever uma lista de cores que possuísem apenas um termo. Para crianças em início de alfabetização, o teste era feito oralmente e o pesquisador anotava as respostas. Os dados foram analisados com base no Método do Ranqueamento de Thurstone, para então aplicar sua Lei do Julgamento Comparativo. Para adultos, o termo da cor mais saliente foi azul e a menos, violeta, com uma distância de 3,51 unidades entre elas. Para crianças, esses dois termos se encontram a 3,67 unidades. Diferenças significantes entre adultos e crianças ocorreram para branco, marrom, rosa, laranja, cinza e violeta. A consistência interna da medida foi abaixo de 0.1% para quase todos os termos, sugerindo alta replicabilidade entre os grupos, com exceção para marrom e anil em crianças. A abordagem psicofísica possibilitou produzir uma escala intervalar ao invés de dados categóricos ou ordinais, o que permite uma abordagem quantitativa, fácil de ser usada em diferentes grupos onde comparações são desejadas.

Palavras-chave: saliência de cor, Lei do Julgamento Comparativo, conceito de cor, escala psicofísica, crianças.

Esse capítulo encontra-se publicado como "Costa, M. F., Gaddi, C. M., Gonzalez, V. M., de Paula, F. V. (2021). Psychophysical scaling method for measurement of colors concept in children and adults. *Methods in Psychology*, Vol. 5 <https://doi.org/10.1016/j.metip.2021.100077>".



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Methods in Psychology

journal homepage: www.sciencedirect.com/journal/methods-in-psychology



Psychophysical scaling method for measurement of colors concept in children and adults

Marcelo Fernandes Costa^{a,b}, Carlo Martins Gaddi^{b,*}, Vitor Melo Gonzalez^a,
Fraulein Vidigal de Paula^c

^a Dept. Psicologia Experimental, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brazil

^b Núcleo de Neurociências e Comportamento e Neurociências Aplicada, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brazil

^c Dept. Psicologia do Aprendizado, da Educação e da Personalidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:
Color salience
Law of comparative judgment
Color concept
Psychophysical scaling
Children

ABSTRACT

Our study aimed to present a new method to generate a scale for color concept distances using the Law of Comparative Judgment and derive an interval scale for the amount of color concept salience. A hundred thirty-eight participants (mean age = 22.7 yrs; SD = 1.9) with normal visual acuity and color vision were evaluated. Additional 225 children were also evaluated (mean age = 8.9yrs; SD = 2.3). The task consisted of writing a list of the one-term word for colors and data were analyzed based on Thurstone's rank order scaling method. For adults, the most salient concept was blue and the less was violet with a distance for concepts of 3.51 units between them, whereas for children the most salient concept was blue and the less was violet with a distance for concepts of 3.67 units between them. Significant differences between adults and children occurred for white, brown, pink, orange, gray, and violet. The internal consistency of our measurement was lower than 0.1% for almost all colors which suggests high reliability for both age groups, except for brown and anil in children. Thus, our innovative approach produces quantitative interval class data rather than categorical or ordinal data allowing quantitative measurement of the amount of the concept salience on a one-dimensional scale, feasible to be used for adults and children.

1. Introduction

Color is a visual dimension widely used to study basic aspects of cognitive functions as categorization, recognition, and concept formation. It is demonstrated that color concept is effortful to be learned by children based on the discrepancy in their ability to learn the names for everyday objects and the tardy, erratic nature by which they learn color terms (Pitchford and Mullen, 2001) and it is strongly dependent of the integrative conditions like maternal input, the individual color preferences, and perception (Pitchford and Mullen, 2005). The majority of the literature of the color concept studies, the color naming tasks, and color categorization tasks (Buchsbau and Bloch, 2002; Cole et al., 2006; Rosch, 1973; Taft and Sivik, 1997; M. A. Webster and Kay, 2012; Zollinger, 1988), used color samples in objects or on monitor screens to evaluate color concepts.

Athanasopoulos et al., (Athanasopoulos et al., 2011), studying the cognitive representation of color concepts in bilingual Japanese-English,

found that Japanese monolingual judged two perceptual colors to be less similar if they fell into different linguistic categories in Japanese than if the two colors were from the same category. English monolingual tested with identical stimuli did not show a categorical perception under any condition tested by authors. Japanese-English bilingual displayed a cognitive pattern that was "in-between" the two monolingual groups, suggesting that knowledge of two languages with contrasting ways of parsing reality has profound consequences for cognition. Based on those findings, we consider that language (in this case, names or terms) is a variable determinant to concept formation. For that reason, an experimental approach that uses the only language as a variable would address a deeper relationship that establishes concept formation, the relationship between the abstract representation and the representation of language (i. e., between concept and their terms for colors). Such an approach would additionally avoid those existing experimental problems with the association between the linguistic with the object color, selection of color samples, and others.

* Corresponding author. Marcelo Fernandes Costa, Universidade de São Paulo, Instituto de Psicologia, Departamento de Psicologia Experimental, Av. Prof. Mello Moraes 1721, Butantã, São Paulo, SP, 05508-030, Brazil.

E-mail address: costamf@usp.br (C.M. Gaddi).

<https://doi.org/10.1016/j.metip.2021.100077>

Received 21 May 2019; Received in revised form 13 July 2021; Accepted 7 September 2021

Available online 14 September 2021

2590-2601/© 2021 The Authors.

Published by Elsevier Ltd.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Besides the tasks of naming and categorizing, a method more similar to the one we applied in our study is also used for measures of what is called color salience. This method has a task that allows the evocation of semantic responses without the need to use physical stimuli. This method is known as the Method of Listing (de Sousa et al., 2016; Sutrop, 2001; Thompson and Juan, 2006; Uuskula and Bimler, 2016). In that method, the participants make a free listing on a specific topic, assuming that lists reflect a subset of the total knowledge of the participant, and the most frequent terms are listed first, resulting in the first items listed are assumed the most culturally important. There are several ways of analyzing the outcome of a free listing task.

The Cognitive Salience Index analysis uses the term frequency to calculate the mean position parameter, which shows the psychological salience of a term into one quantitative parameter (Sutrop, 2001). This index performs a numerical measurement, but of the positional domain on the psychological continuum, supported by the central tendency of greater frequency, and not considering, the frequencies in the adjacent ranks, making it difficult to compare with the other frequencies. The CSI is calculated based on the following equation:

$$S = \frac{F}{N \cdot mP} \quad (\text{Eq. 1})$$

since the frequency (F) with which a term is named in the list task is divided by considers the weight of the mean position (mP) in which the term is named, and N is the number of subjects. Thus, considering that all subjects have named a hypothetical term, then (F = N), the mean position of that term will be 1 and the salience (S) is also 1 for that term. In other words, the Cognitive Salience Index could be considered numerical but in an ordinal measurement dimension, in which the salience is measured by its location (ordinal position) on a range between 0 and 1. In essence, this procedure determines the same class of results as those obtained in a location procedure of a given point on a finite line, a measurement at an ordinal level. In being an ordinal measurement, the distances between the numbers (labels) on that continuum are virtually non-existent, because the numerical difference measured doesn't express any ratio of a unit (distance), only the relative position in a scale (order). Thus, the Cognitive Salience Index outcome is a position determined on a dimensional range of the psychological continuum throttled between 0 and 1.

Although there was an advance in the representation of cognitive saliences with the Cognitive Salience Index, there was still one condition wasn't solved: the low information generated by the indices of the existing scales. An important advance would be the ability to evolve our measure to a dimension of greater quantitative representation, such as that found in interval measures. Also, if we considered the quantitative approach of the Cognitive Salience Index we still face the problem of determining the mean point without considering the spreading of the term on the list, reducing its accuracy (Smith and Borgatti, 1998; Smith et al., 1995).

In an attempt to obtain measurements as the "numerical amount" of a concept's salience, an interval or rational quantitative approach is necessary. In interval scales, the distances between each point are defined with high mathematical precision and they are, indeed, the first quantitative form in the ordinary sense of the word (Stevens, 1946). In comparison with the nominal or ordinal scales, we change from the determination of equality or order, respectively, as the basic empirical operations toward the determination of equality of intervals or equality of differences.

Interval scales can be built by using several procedures as equisection, bisection, and pair comparison. The latter was the procedure used by L. L. Thurstone to develop the Law of Comparative Judgment, that applies to comparisons of physical stimulus intensities, as well as to qualitative comparative judgments as those more frequently presented in educational, sociological, and psychological issues (Thurstone, 1927a, 1927b, 1929, 1931a).

The method consists in simplifying Fechner's constant method extracting, from the absolute rank order, proportions of judgments, i.e. pairs of stimuli that follow "A is greater than B", for every possible pair. Knowing the proportion of subjects who placed A and B in point x of n rank orders, we can calculate the proportional perception of A > B by evaluating their distribution in the ranks for the entire group of subjects. More details about the procedures can be read in section 2.3 Psycho-physical Scaling.

This procedure developed by Thurstone is in a way equivalent to the Cognitive Salience Index. However, we considered that all of those proportions of each sample at each rank position could, then, be used to generate a proportion matrix allowing the Case V method to calculate their respective interval distances (Thurstone, 1928). This means that our approach takes into account the level of precision of the quantified term, which represents an important advance in the measurement of color terms. There are clear advantages to using Thurstone's methodology, presented by Maydeu-Olivares et al., (Maydeu-Olivares and Böckenholt, 2008). For our study, the main advantages are the use of a simple list of words, which is a very simple procedure to be performed by any minimally literate subject; and that the validity of the inferences can be verified by measures of internal consistency, guaranteeing robust methodological and statistical significance. These advantages justify the choice of this method as preferred for subjective measures in health (Krabbe, 2008); The rank order procedure was successfully used to analyze specimens of handwriting with similar accuracy by association with Thurstone's Law of Comparative Judgment (Thurstone, 1931b) as those achieved obtained in other studies for health quality outcome (Krabbe, 2008; Maydeu-Olivares and Böckenholt, 2008), group support (Li et al., 2001), healthy states (Arons, Krabbe, Scholzel-Dorenbos, van der Wilt and Rikkert, 2012), discriminatory judgments of nationality or race preferences (Thurstone, 1928) and in measuring attitudes (Costa et al., 2014; Likert et al., 1993) which used the Thurstone's method. The step changed from nominal or ordinal to interval scale is huge and significant if we want to address questions like "What is the color with more amount of salience for the Brazilians? Has that color the same amount of salience for Americans? Or Norwegians?". Scholars working in semantics discuss salience in terms of accessibility and have suggested that it could be a result of high frequency (e.g. Bardovi-Harlig, 1987; Chapman and Tunmer, 1995; Giora, 2003; Cieślicka, 2006). They argue that more frequent features are more regular, making them more easily accessible and salient. Thus, the study of salience of color terms help us better understand different cultures.

Considering the possibility of applying this method in children, we evaluated the possibility of studying concepts of color using this methodology (Norman and Rieber, 1968). We found only one study on the concept of colors in children. This study showed that color concepts are an important cognitive activity for concept learning and formation. Those results are in line with other studies suggesting that color is an important attribute to object concept learning (Feher and Meyer, 1992).

The main purpose of this paper is to address the color concept trying to avoid the classical but less informative categorization or naming tasks, since our outcome intends to measure the color concept *continuum* in a quantitative interval scale, allowing the use of statistical tools instead of a fractioning (or frequency) presentation of the concepts on the ordinal scale. An important fact about scales in psychology is that they must be a representation of psychological continuums, and therefore, the better fit this representation is, the better our measure will be. In this sense, the practicality of ordinal scales is caused by them not only accommodating dimensions very well, but also interval and ratio dimensions. This aspect was very well addressed by Stevens (1946), where the upper scale levels must contain the previous levels. The possibility of performing an interval measurement indicates that psychologically, the elements of this continuum are processed additively and not positionally.

Thus, we searched for a more abstract (and possible "more cognitively") approach to the concept of color, and for that, we did not use

color samples. A small sample was tested on a previous study and evidenced the applicability of this method for our purposes (Costa and Gaddi, 2016). In using physical stimuli, we were facing limiting factors to acquiring concept information in a more cognitive sense. Thus, in this paper we aimed to objectively measure the concept of the color for a higher level of abstraction by scaling their relative distance in the scale, assuming that its amount of salience is expressed on the order of color terms presented by the subject. There is no unique method that performs this analysis, so, by using a double methodology, frequency data at each position in rank could be transformed into mathematical units of distance and these are used for the construction of a one-dimensional interval scale of concept salience for colors. Additionally, we contributed to the scarcity of studies on color naming in children, allowing important insights into the development of this function.

2. Methods

2.1. Subjects

A hundred thirty-eight volunteers (mean age = 22.7 yrs; SD = 1.9; 62 females) with normal or corrected to normal visual acuity took part in the experiment. All participants were Portuguese native speakers. They had no visual complaints and normal color thresholds previously checked by the Trivector protocol of the Cambridge Color Test (M.F. Costa, Ventura, Perazzolo, Murakoshi and Silveira, 2006; Regan et al., 1994). Subjects had no formal training in color science, psychophysical experiments, or professions that deal with color directly such as architecture, plastic arts, or the like. They were opportunistically recruited among the students and staff of the University of São Paulo in a proportion of 3:1. The students are from high and middle-high socioeconomic income and the staff members are almost from the middle socio-economic income and secondary educational level. The majority of them were born in São Paulo state.

An additional group of children was evaluated with ages ranging from 6 to 10 years (mean age = 8,9yrs; SD = 2.3), recruited among students of EMEF General Liberato Bittencourt and Maria Aparecida Broca Meirelles two primary public school of São Paulo city, also from the middle socio-economic income and parents with a secondary educational level. All children had normal or corrected to normal visual acuity and no ophthalmological complaints. The evaluation of the children took place on the premises of the school itself, in an isolated room intended only for our evaluation. The children participated in pairs, according to the convenience decided by the teachers.

The study was approved by the Ethics Committee for Human Research of Psychology Institute of the University of São Paulo. Informed consent was obtained for all participants and from the children's parents. The study followed the American Psychological Association research report and the tenets of the Declaration of Helsinki (1964) and all the posterior updates.

2.2. Procedure

The same procedure was done by children and adults. No visual stimulation was used and the task was extremely simple. The experiment was run in a quiet room, well illuminated in which all walls were painted off-white and the desks were covered by black paper. All pens were of black ink. The instructions were offered for small groups of subjects varying from two to five volunteers with the same number of subjects for the experimental session. During the instruction and experimental session, the researchers did not mention any term related to color. All subjects only were aware that was an experiment related to color at the instant of giving their answers. Each subject participated in only one session and the group composition occurred opportunistically according to their availability to experiment.

The task performed by subjects was really simple and consisted in write a list of colors, in a column fashion, as fast as they were able in a

completely white sheet of paper offered by the researchers. The participants were previously aware that the time to complete the experimental session was of 20 s. To control same-class color replications by using superlatives or compounding descriptions only names/words with one term were accepted. Previous studies found between 28 and 34.7% of color terms with more than one term color descriptor (Frank, 1990; Guest and van Laar, 2000). After all, the participants confirmed the understanding of the instructions they were aware that the name/words were about colors, and immediately after the experiment session began. As the session ends, the researchers inform the participants, asking them to stop, and no allowing more names/words then the paper sheets were collected. For children, the only adaptation consisted of that verbal information was collected instead of writing color terms, since part of the students were in the literacy process.

2.3. The psychophysical scaling

We used two methods developed by Thurstone in conjunction to construct an interval scale of concept saliency to colors. First, the data were analyzed based on the psychophysical Rank Order Scaling Method proposed by Louis L. Thurstone – for a detailed step-by-step procedure see (Thurstone, 1931b). The main outcome of that methodology is converting the ranking order in a correlational matrix aiming to construct an interval scale for one-dimensional continuous. This method is particularly appropriate when the dimension to be evaluated does not have a clear physical continuum available but we still want to build an interval scale from data that originally represented in rank order-type comparisons. We could consider this method as an ideal form of the classical constant method, in which we use not one but all the stimuli as the standards. From the data of absolute rank order, we should calculate the proportion of judgments “B is greater than A” for every possible pair of stimuli in the given series. These derived proportions are used instead of the proportion obtained by the constant method procedure.

If the participant ranks n color terms we tabulate them, in which each of the color terms could be compared with every other one in the series. In a more general form, if there were n stimuli in the color ranked it would require $n(n - 1)$ judgments. This would give one judgment for each pair of colors possible. The data preparation and calculation follow some steps. The first step was to get the rank of color descriptors obtained for each subject. Since the participants were instructed to write the color terms in a column fashion the order from top-to-bottom lines we considered the first line as rank one, the second line as rank two, and so on. The second step consisted of calculating the proportion in which the color A was placed in the first rank position by all the participants (p_{a1}) and the proportion in which color B was placed in the first position (p_{b1}). Then, we calculate the sum of the probabilities for color A in all other rank positions, $p_{a2} + p_{a3} + p_{a4} \dots = p_{a > 1}$. The same was done for other colors. Thus, the $p_{a1} * p_{b > 1}$ is the probability of each participant, randomly chosen, place the color A in rank 1 and the color B in all other higher ranks. The same comparison was performed by color A for all other rank positions. The general product for all colors was written as the probability that color A will be perceived (P_e) in rank K and that color B will be perceived in a rank higher than K

$$p_{ak} * p_{b > k} = P_e \quad (\text{Eq. 2})$$

Summing the total number of ranks for colors A and B we have the probability that color B will be perceived in a rank higher than that of color A

$$\sum (p_{ak} * p_{b > k}) = V \quad (\text{Eq. 3})$$

Considering that two-color terms differ slightly in psychological value (V), so that $B > A$ we would expect that $p_{a > b} > 0.50$.

Now, we could measure the probability that colors B, C, D, etc. that were perceived in a higher position than the rank of the color A. The general description to which each pair of all colors were placed in the k

rank orders higher than the others can be formulated as

$$p_{b>a} = \odot(p_{ak} * p_{b > k}) + \frac{1}{2} \odot(p_{ak} * p_{bk}) \tag{Eq. 4}$$

Since in a rank order experiment we shall assume that participant number is as large as 10 or 20, the interval in a value represented by one rank order is relatively small. In such situations and especially when the discriminant error between terms is much larger than the interval represented by one rank order, the assumption is approximately correct, namely that probability that both A and B will be perceived in the same rank order interval and that B will be perceived higher than A. To correct that the $\frac{1}{2} \odot(p_{ak} * p_{bk})$ was added in the model expressing the proportion of participants who judged B higher than A in terms of the frequencies with which the two specimens are placed in the *n* rank orders. All those steps output tables are available in the Supplementary Material of this study. We could now build the third correlational matrix in which we have in columns the higher rank and in rows the lower rank positions considering the absolute values. Since we had the proportion of each color for each rank position, we could calculate the z-score value related to those proportions, which was converted in discriminative distances between colors. Finally, the color concept distances were calculated according to the Law Comparative Judgment (Thurstone, 1927a) using the correlational matrix resulted from the previous data analysis.

The main procedure to obtain an interval scale is the paired comparison, in which the participant is presented with two stimuli and asked to judge which is greater (or more intense) concerning some characteristic as redness, loudness, beauty, etc. Briefly, the pair comparison method could be summarized in three steps: first, presenting the participant each possible pair of stimuli asking “which has the highest (intense) appearance”. This procedure is repeated until all the pairs were judged. It is interesting that, at least, two judgments being performed alternating the order (or position) for each pair randomly (Thurstone, 1927b). All of this step should be repeated for a single participant, which configures the Case I of the Law of Comparative Judgment or repeated for many participants, which configure the Case V. What is important is that the procedure is repeated until a reliable determination of the percentage of judgments could be made for each of the pairs. In the second step, we convert these percentages into “distances”. One way to do it is to convert percentages in the area under the normal curve (z-score value), which expresses distances using standard deviation units (Gulliksen, 1946). The third step is to check if data satisfy the criterion for a linear scale by checking if the distances additively. If the third criterion was satisfied, the internal consistency is verified and the scale can be constructed.

The scale constructed by Thurstone’s procedure is defined in terms of the frequencies of the comparative judgments on successive occasions about the same pair of stimuli (ideas, subjective values) for a particular psychological continuum. Thus, the psychological interval scale is spaced off that the frequencies of the successive comparisons assuming small fluctuation on judgments will generate small deviations from the equality, as well as huge asymmetry in judgments will produce large differences between the frequencies of one stimulus from the other. In other words, two almost similar stimuli will be closely located on the scale as well as two different stimuli will appear far apart from each other. Finally, the difference between the frequencies is the separation assigned to the two stimuli on the psychological scale on a distance scale as the Z distribution (Gulliksen, 1946).

The differences in scale values S between two stimuli *i* and *j* is

$$S_i - S_j = z_{ij} \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2 r_{ij} \sigma_i \sigma_j} \tag{Eq. 5}$$

where *S_i* and *S_j* represent the scale values of stimuli *i* and *j*, \int_i and \int_j is the standard deviation of the respective discriminative dispersion, *r_{ij}* is the correlation between the two discriminative processes, and *z_{ij}* is the normal deviate (the Z-score) corresponding to the proportion of times stimulus *j* is judged greater along the psychological continuum than stimulus *i*.

Assuming that the evaluation of one stimulus along the continuum does not influence the evaluation of the other in the paired comparison (*r_{ij}* = 0) and the dispersions are equals for all stimuli ($\int_i = \int_j = 1$), the law is reduced to its simplest form (case V):

$$S_i - S_j = z_{ij} \sqrt{2} \tag{Eq. 6}$$

We used Case V that is the simplest version of the Law of Comparative Judgment. Since the points in the interval scale are based on equality of intervals or differences in the one-dimensional continuum. Such conditions allow the use of more informative parametric statistics as mean, standard deviation, and product-moment correlation. The color frequencies were transformed to proportions of appearance and those proportions in each rank position for each color were compared with all other colors. According to Thurstone’s description, colors with proportion lower than 0.025 and higher than 0.975 should be excluded from the computation, due to the impossibility to assume the linearity near the extremes (Thurstone, 1928). Since the color fuchsia had a very low frequency, and all the proportions values were lower than 0.025, we excluded from the analysis considering a small z-score that will be related to it.

2.4. Internal consistency of the scale

The internal consistency of the scale was calculated considering the discrepancy of order judgment and was measured by using the scale values as a basis for sets of calculated proportions. These proportions were then, compared with the proportions obtained experimentally. Since we know the scale values measured, let’s say for stimulus A by equation two, we were able to calculate the difference between stimulus A and all other stimuli and then converted each of them from z-score units back into the corresponding proportion. Those proportions were considered as the “calculated proportion”, which was compared with the corresponding experimental proportion (*P_e*) obtained in the correlational matrix. The same procedure was used in an experimental study of nationality preferences (Thurstone, 1928). Statistical differences for percentages were calculated using V-corrected Chi-square, in which there is a sample-size correction applied to the Chi-square statistic. It is asymptotically equivalent to the Pearson Chi-square statistic but for small sample sizes, it is more conservative than the Pearson Chi-square (Overall et al., 1987). The comparison between Children and Adults results were assessed by the Mann-Whitney *U* test.

3. Results

The number of colors evoked by each adult subject varied from five to 11 terms (mean = 7.25; SD = 1.39; mode = 7), and a total of 16 different colors were evoked in the whole experiment. Children evoked 4 to 7 color terms (mean = 5.25; SD = 1.45; mode = 5). The frequencies of the colors are presented in Table 1.

Table 1
Color terms frequency for adults and children.

Color Term	Adult	Children
Red	79.7 (n = 110)	91.9 (n = 125)
Green	87.0 (n = 120)	91.9 (n = 125)
Blue	92.8 (n = 128)	95.6 (n = 130)
Yellow	87.1 (n = 121)	89.7 (n = 122)
Black	65.9 (n = 91)	88.9 (n = 121)
White	53.6 (n = 74)	80.1 (n = 109)
Purple	60.9 (n = 84)	73.5 (n = 100)
Brown	32.6 (n = 45)	51.4 (n = 70)
Pink	55.8 (n = 77)	77.9 (106)
Gray	27.5 (n = 38)	69.1 (n = 94)
Orange	48.6 (n = 67)	69.1 (n = 94)
Violet	6.5 (n = 9)	5.1 (n = 7)
Mangenta	9.4 (n = 13)	15.4 (n = 21)
Anil	6.5 (n = 9)	2.2 (n = 3)

The distances for color concepts calculated by equation II are presented in Fig. 1, in which the higher the value on the interval scaling the greater the amount of the concept's salience. Considering the interval scaling characteristic some computations could be performed. The scaling distances are shown in Fig. 1 reveal three clusters of terms between blue and yellow, pink and gray, magenta, and violet for both adults and children.

The ranges of the concept distances within each cluster are very similar for adults, 0.717SD for blue-yellow, 0.934SD for pink-gray, and 0.728SD for magenta-violet. The distances inter clusters also could be calculated, in which yellow-pink is .287SD is almost half-distance than gray-magenta is 0.511SD. Children's concept distances were 0.654SD for blue-yellow, 0.881SD for pink-gray, and 0.597SD for magenta-violet, which are quite similar to the adult values. However, the inter-clusters

were 0.495SD for yellow-pink and 1.479SD for gray-magenta.

In order to compare the percentage of color terms used in our study we graphically compare them with the percentage reported for color terms of other two studies (Frank, 1990; Guest and van Laar, 2000). Statistical higher percentages were found by V-corrected Chi-square between our study and the Guest's study for the following colors: blue ($V^2 = 9.03$; $p = .003$), red ($V^2 = 11.69$; $p = .001$), green ($V^2 = 4.80$; $p = .028$), yellow ($V^2 = 50.97$; $p < .001$). Statistical lower percentages were for the colors: brown ($V^2 = 9.77$; $p = .002$), purple ($V^2 = 69.74$; $p < .001$), gray ($V^2 = 19.56$; $p < .001$), violet ($V^2 = 2.29$; $p = .130$). No difference was found for the colors: pink ($V^2 = 2.96$; $p = .085$) and orange ($V^2 = 3.29$; $p = .066$). The colors black and white were not presented by those authors (Fig. 2). Comparing our data with the Frank's study, statistical higher differences were found for the colors: blue ($V^2 =$

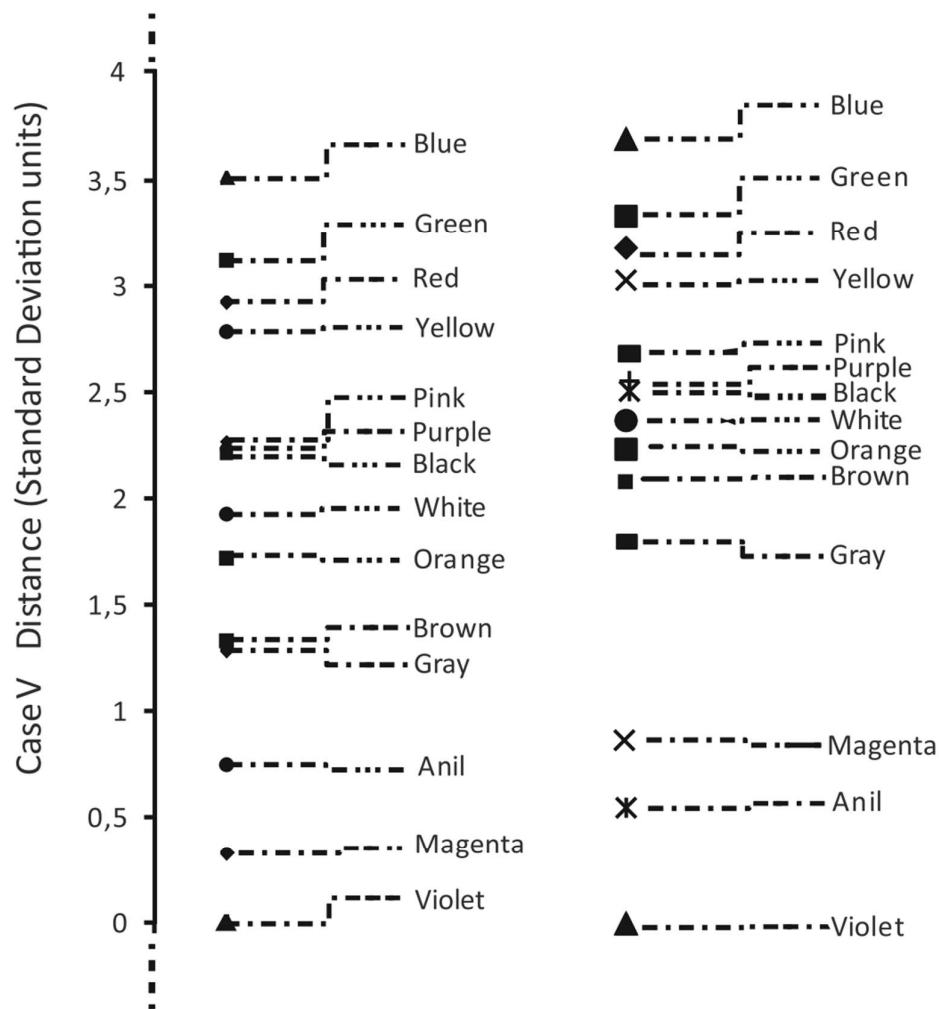


Fig. 1. Color concept scale obtained by Thurstone's Rank Order procedure for adults and children. The distances of the concept salience are expressed in the unities of the discriminial error (standard deviation units). Smaller the distances between the colors better the color concepts quantitatively determined. Based on these differences we can objectively say that in comparison with purple, magenta had 42 times less amount of salience than pink. Also, the order of colors are quite similar but the children scale shown larger distances than adults, more evident for the more complex colors concepts as magenta and anil.

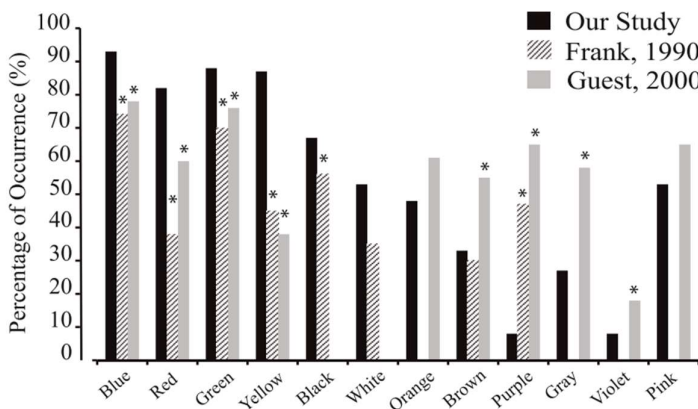


Fig. 2. The percentage of occurrence for the colors of our study was plotted together with the percentages reported in the studies of Frank and Guest. In comparison with Frank's paper, our study shows higher percentages with statistical significance for the colors: blue, red, green, and yellow. Lower percentages were found to brown, violet, gray, and purple. No difference between orange and pink. Compared with the Guest paper, higher percentages were found for the colors: blue, red, green, yellow, and black. The lower percentage was found in purple. No difference was found for brown.

13.04; $p = .002$, red ($V^2 = 40.13$; $p < .001$), green ($V^2 = 9.72$; $p = .002$), yellow ($V^2 = 39.11$; $p < .001$), black ($V^2 = 69.74$; $p < .001$). Statistical lower percentages were for the color purple ($V^2 = 37.95$; $p < .001$). No difference was found for the color brown ($V^2 = 0.21$; $p = .649$). The colors orange, gray, violet and pink were not presented by those authors (Fig. 2).

Additionally, we compare the rank position calculated by the Cognitive Salience Index and by Thurstone's method we used (Table 2).

Small positional changes in rank occurred for Yellow (CSI = 3; Case V = 4), Red (CSI = 4; Case V = 3), Pink (CSI = 8; Case V = 7), but larger changes for Black (CSI = 5; Case V = 8), White (CSI = 7; Case V = 5) colors.

Comparison between children and adults was verified for each color evoked for both groups. Significant statistical differences were found for White ($Z\text{-adj} = 2.22$; $p = .035$), Brown ($Z\text{-adj} = 2.46$; $p = .021$), Pink ($Z\text{-adj} = 2.41$; $p = .047$), Gray ($Z\text{-adj} = 3.51$; $p = .008$), Violet ($Z\text{-adj} = 2.56$; $p = .002$) and Orange ($Z\text{-adj} = 2.47$; $p = .020$) (Fig. 3).

The internal consistencies of the judgments were very high since variability between proportions calculated and obtained experimentally obtained was so low. For adults the variability of 0.001 was found for concepts blue, green, red, and yellow, 0.002 for pink, purple, black, and white, 0.004 for orange, 0.019 for brown, 0.021 for gray, 0.030 for magenta, and 0.055 for anil. For children the variability of 0.001 was found for concepts blue, green, red, and yellow, 0.002 for pink, purple, black, and white, 0.004 for orange, 0.019 for brown, 0.021 for gray,

0.030 magenta, and 0.055 for anil (Fig. 4).

4. Discussion

The present work can be considered a step further on the study of the color concept since we measured concept distances on an interval scale, using Case V of the Law of Comparative Judgment. Based on this methodology we were able to perform high-level quantitative measurements of the cognitive salience of concepts for colors. Our analysis promotes an evolution on the systematic and quantitative study of the color concept measuring interval distances instead of classification, naming, or categorization analysis performed in most of the previous studies (Bachy et al., 2012; Bornstein, 1985; Kay and Regier, 2003) even for semi-interval methods, such as Cognitive Salience Index (Sutrop, 2001). All of those measurements are allocated on the categorical or ordinal measurement scale classifications and, consequently, have a lower level of information than those for metathetic stimuli (Stevens, 1958). Not only the concept rank position but the quantitative meaning of this position could be obtained by our method. Since we are using interval scale we can say that white were 1.83 times fewer salients than blue, while the anil was 10 times less salient, and white is 5.7 times more salient than the anil. This kind of analysis was not performed until now and which is the main contribution of our study.

This contribution is more evident by comparing the results obtained in adults and children. Similarly, based on the color blue we can say that white is 1.53 times less salient, while indigo is 36.7 times less salient than blue. White was 23.5 times more prominent than indigo. Thus, we do not have differences between the measured saliences for blue and white, showing that for the age we investigated, the concept of the blue and white color is developed when comparing the results of children with that of adults. However, there is a clear difference between blue and indigo and white and indigo, showing that the indigo color is still not very prominent for children. Our interpretation of these results is that secondary and tertiary colors are still in conceptual development.

Similar to adults the children's colors were relatively clustered in blue-green-red-yellow colors with higher salience, the intermediate group with pink-purple-black-white-gray, and finally the color with lower salience orange-brown-magenta-anil-violet. We could compare 2 information, the intra-cluster range and the between cluster range. In both, the smaller the range better was the concept of those colors, since small psychological concept distances suggest high conceptual knowledge about that color and with little distance change, the concept also changes to another color. As we compare the inter-cluster ranges, adults and children had similar results indicating that children with 9 years old

Table 2 Comparison Salience Index and Case V results and their rankings.

Term	Gloss	CSI (S)	R	Case V	R
Azul	Blue	0,152	1	3385	1
Verde	Green	0,137	2	2999	2
Amarelo	Red	0,129	3	2808	4
Vermelho	Yellow	0,119	4	2668	3
Preto	Pink	0,084	5	2173	8
Roxo	Purple	0,065	6	2140	6
Branco	Black	0,052	7	2118	5
Rosa	White	0,052	8	1845	7
Laranja	Orange	0,040	9	1649	9
Marrom	Brown	0,018	10	1282	10
Cinza	Gray	0,013	11	1239	11
Magenta	Mangenta	0,002	12	0,728	12
Violeta	Anil	0,001	13	0,322	14
Anil	Violet	0,001	14	0,000	13

CSI (S) = Cognitive Salience Index; Case V = Thurstone's Case V scale value; R = rank. Position based on CSI index value.

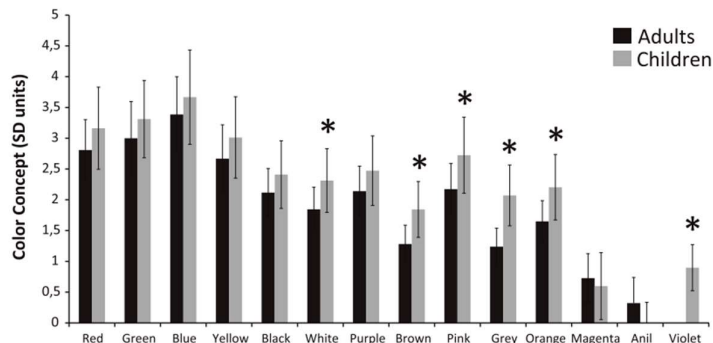


Fig. 3. The comparison between color terms evoked by children and adults. Significant differences are signaled, and occurred for complex color concepts as violet, orange and brown.

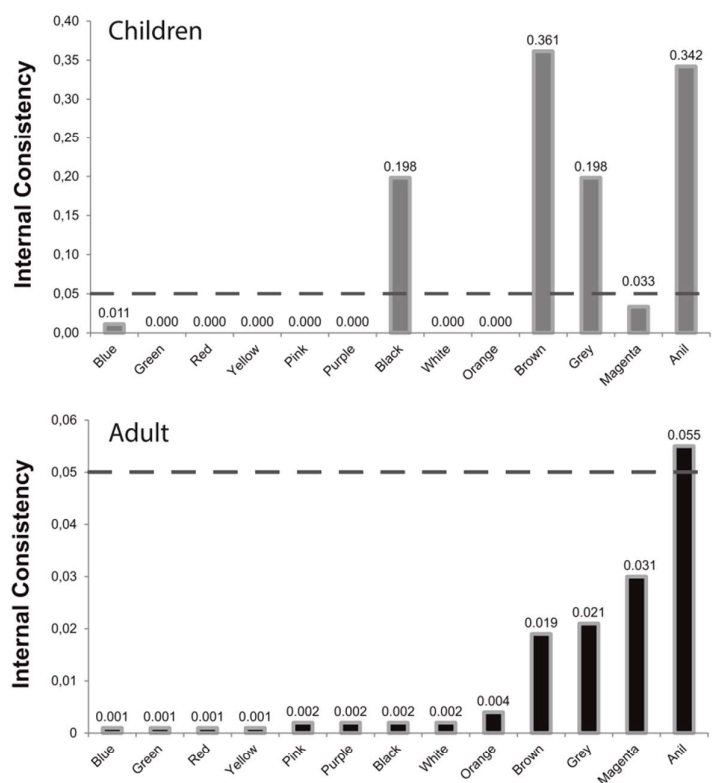


Fig. 4. Internal consistency was high for primary and secondary colors for adults and children. Dotted line defines the 5% of variability criteria. For tertiary colors almost all had also high consistency for adults. For children some of those tertiary colors had lower internal consistency (black, brown gray and anil).

had similar color concept development. However, the distance between the first and second clusters was two-fold longer for children and the second and third clusters almost three-fold longer. We could interpret these results as indicating that the color concepts between those clusters are still under development. For future studies, a comparison between different children's ages could elucidate how the concept for color

development occurs.

Important evidence of our study is the possibility of using the methodology for the assessment of adults and children. In addition to the possibility of carrying out a quantitative assessment of conceptual distances, the possibility of applying them to children will allow future studies in which the development of this cognitive function can be

explored more deeply. The evident characteristic of the use of this methodology is the association of a simple task but supported by robust psychophysics, allowing for measures of high internal consistency and possibility of application regardless of age.

One of the problems faced by psychophysicists is the long duration of the experimental sessions, due to the necessity of repeat many times the stimuli and also the necessity of sophisticated equipment, which made it difficult to evaluate huge populations or in their specific environment. Thus, Thurstone devised a method whereby simple absolute rank order was used as an experimental procedure with the similar advantages of the Method of Constant Stimuli and using the derivative proportion of the subjective separations between any pair of stimulus and then calculate the interval scale using the law of comparison judgment (Thurstone, 1931b). This method allowed a fast measurement with high psychometrical consistencies and reliability based on free-listing procedures.

The naming and color categorization studies carried out in various countries and cultures found concepts for color that were considered somewhat invariant and therefore elementary to our cognitive organization of this perceptual dimension (Lindsey and Brown, 2006), but differences in their relative importance could be exchanged between them as inferred by their position on the ranks, frequency of appearance or on the number of samples clustered to them. Since we can measure the amount of the concept salience along an interval scale, not only the differences between the ordering are collectible but the distances between them are also quantified. Also, the scale build by the Law of Comparative Judgment has the same dimension for the same procedure, which means that comparison between different populations, cultures, or ages could be performed since they were constructed on the same scale.

Our results are in line with the findings of previous works, since the primary, secondary and black, white, and gray colors were the colors more frequently evoked during the experiment as we showed in Fig. 1 (Derefeldt and Swartling, 1995; Ekici et al., 2006; Frank, 1990; Guest and van Laar, 2000). However, an important difference that we want to stress is that in our work was the ability to quantify and positioning the concepts of color along with a one-dimensional cognitive scale. This way of systematizing the concepts of color allows us not only to identify or categorize them but to measure the amount of salience that the concept presents for the group tested, based on the distance metric obtained by the psychophysical scaling.

The consistency of our results with those using naming and color categorization procedures lies in the fact that primary colors are found separately from secondary colors. Although, our clustering of data occurs not by any subjective quality of the color, as its saturation, as observed previously (Ekici et al., 2006) but solely by the amount of the concept salience since no sensorial stimulation was performed.

We present a methodological innovation on the usage of psychophysical scaling to derivate the interval scale of color concept. This innovative approach contributes with a quantitative measurement of more "pure" cognitive information regarding the concept of the color than the methodology used in previous studies, which were based on categorization or naming tasks that uses visual stimulation (Regier et al., 2007; Sivik and Taft, 1994; M.A. Webster and Kay, 2005). We believe that the method we used could promote new and future quantitative studies regarding the color concepts, concept formation, and the development of color concept topics without using visual stimulation and at the interval level of measurement. Our empirical experience allows us that our method applies to children of school age, with pertinent methodological modifications. (M. F. Costa and Gaddi, 2016). The methodology is simple but very substantial in the measurement of color concepts for use in different populations and different places. The significant internal reliability provides a powerful approach to that cognitive function.

The Method of Listing and their variants have been used as a tool for determining basic color terms and the data are analyzed by mean of the Cognitive Salience Index calculation, which is a function of frequency

and priority (Smith and Borgatti, 1998; Sutrop, 2001; Thompson and Juan, 2006; Uuskula and Bimler, 2016). Considering the adjacency as an important variable, Uuskula & Bimler additionally calculated the adjacency index for every color term (Uuskula and Bimler, 2016) making it possible to build a separation matrix, which is similar to our calculated z-score distance matrix. However, the discrepancy between that study and ours is that, in our method, we used each term as the reference allowing the cross-correlation distance matrix aiming to map the color terms on a unidimensional interval scale.

The method of Rank Order is a simple task as a free-listing procedure and used as an experimental method produced quantitative interval data that could be used to construct a unidimensional scale allowing comparisons between different languages and cultures. The association of the Rank Order task with Thurstone's Case V based on the Law of Comparative Judgment further an objective calculation procedure for the concept's salience amount.

5. Conclusions

Our work contributes to the study of the concept of color compared to traditional studies of naming or categorizing colors since 1. We raise the metrics from categorical or ordinal levels to levels of interval measurements; 2. Quantitative color salience can be evaluated for adults and children using the same procedure allowing future studies in the development of color salience; 3. We decouple the measurements of color concepts from any sensory stimulation as an experimental reference, thus having a more cognitive/linguistic method than sensory-perceptual. Later studies investigating these diverse psychological representations can help in understanding how sensory and perceptual information is represented more conceptually. The simplicity and high precision of the procedure allow its applicability on large groups of different populations, in which comparisons are desired by the use of the same method.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

The authors would like to thank all the support received from the General Liberato Bittencourt and Maria Aparecida Broca Meirelles staff. MFC is a CNPq research fellow.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.metip.2021.100077>.

Author contributions

Conceptualization: MFC; Data curation: MFC and FVP; Funding acquisition: MFC and FVP; Investigation: MFC, CMG, VMG, and FVP; Data analysis: MFC, FVP, and CMG; Writing - original draft: MFC and VMG; Writing - review & editing: all authors revised and approved the final version.

Funding

This work was supported by the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo under Grant (FAPESP #13/04049-4); by the Projeto de Pesquisa Temático [FAPESP #14/26818-2]; Edital Ciências Humanas Conselho Nacional de Pesquisa, Tecnologia e Inovação [CNPq 404603/2018-0]; and the CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal

de Nível Superior) to CMG (88882.376512/2019-01).

References

- Aron, A.M.M., Krabbe, P.F.M., Scholzel-Dorenbos, C.J.M., van der Wilt, G.J., Rikkert, M. G.M.O., 2012. Thurstone scaling revealed systematic health-state valuation differences between patients with dementia and proxies. *J. Clin. Epidemiol.* 65 (8), 897–905. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2012.01.018>.
- Athanasopoulos, P., Damjanovic, L., Krajcivova, A., Sasaki, M., 2011. Representation of colour concepts in bilingual cognition: the case of Japanese blues. *Biling. Lang. Cognit.* 14 (1), 9–17. <https://doi.org/10.1017/S1366728909990046>.
- Bachy, R., Dias, J., Alleysson, D., Bonnardel, V., 2012. Hue discrimination, unique hues and naming. *J. Optical Soc. Am. A Optics Image Sci. Vis.* 29 (2), A60–A68. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.29.000A60>.
- Bardovi-Harlig, K., 1987. Markedness and salience in second-language acquisition. *Lang. Learn.* 37 (3), 385–407.
- Bornstein, M.H., 1985. On the development of color naming in young children: data and theory. *Brain Lang.* 26 (1), 72–93. [https://doi.org/10.1016/0093-934x\(85\)90029-x](https://doi.org/10.1016/0093-934x(85)90029-x).
- Buchsbaum, G., Bloch, O., 2002. Color categories revealed by non-negative matrix factorization of Munsell color spectra. *Vis. Res.* 42 (5), 559–563. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00303-0](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00303-0).
- Chapman, J.W., Tunmer, W.E., 1995. Development of young children's reading self-concepts: An examination of emerging subcomponents and their relationship with reading achievement. *J. Educ. Psychol.* 87 (1), 154–167. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.87.1.154>.
- Cieślicka, A., 2006. Literal salience in on-line processing of idiomatic expressions by second language learners. *Sec. Lang. Res.* 22 (2), 115–144. <https://doi.org/10.1191/0267658306sr2630a>.
- Cole, B.L., Lian, K.Y., Sharpe, K., Lakkis, C., 2006. Categorical color naming of surface color codes by people with abnormal color vision. *Optom. Vis. Sci.* 83 (12), 879–886. <https://doi.org/10.1097/01.opx.0000249974.22205.2a> [doi];00006324-200612000-00008 [pii].
- Costa, M.F., Gaddi, C.M., 2016. Color name distances scaled by Thurstone's ranking order psychophysical method. *J. Vis.* 16 (12), 199. <https://doi.org/10.1167/16.12.824>.
- Costa, M.F., Nomura, T.N., Ribeiro, G.D.C., 2014. Psychophysical scaling of sexual attitude in Brazilian adults. *Impact 2014: Int. Psychol. Appl. Conf. Trend.* 322–324.
- Costa, M.F., Ventura, D.F., Perazzolo, F., Murakoshi, M., Silveira, L.C.D., 2006. Absence of binocular summation, eye dominance, and learning effects in color discrimination. *Vis. Neurosci.* 23 (3–4), 461–469. <https://doi.org/10.1017/S095252380623311X>.
- de Sousa, D.C.P., Soldati, G.T., Monteiro, J.M., Araujo, T.A.D., Albuquerque, U.P., 2016. Information retrieval during free listing is biased by memory: evidence from medicinal plants. *PLoS One* 11 (11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165838>.
- Derefeldt, G., Swartling, T., 1995. Color concept retrieval by free color naming - identification of up to 30 colors without training. *Displays* 16 (2), 69–77. [https://doi.org/10.1016/0141-9382\(95\)91176-3](https://doi.org/10.1016/0141-9382(95)91176-3).
- Ekici, E.S., Yener, C., Camgoz, N., 2006. Colour naming. *Opt Laser Technol.* 38 (4–6), 466–485. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2005.06.007>.
- Feher, E., Meyer, K.R., 1992. Children's conceptions of color. *J. Res. Sci. Teach.* 29 (5), 505–520. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290506>.
- Frank, J., 1990. Gender differences in color naming: direct mail order advertisements. *Am. Speech* 65 (2), 114–126. <https://doi.org/10.2307/455532>.
- Giora, R., 2003. On our mind: Salience, context, and figurative language. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195136166.001.0001>.
- Guest, S., van Laar, D., 2000. The structure of colour naming space. *Vis. Res.* 40, 723–734. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00221-7](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00221-7).
- Gulliksen, H., 1946. Paired comparisons and the logic of measurement. *Psychol. Rev.* 53 (4), 199–213. <https://doi.org/10.1037/H0061673>.
- Kay, P., Regier, T., 2003. Resolving the question of color naming universals. *Proceed. Nat. Academy Sci. USA* 100 (15), 9085–9089. <https://doi.org/10.1073/pnas.1532837100> [doi];1532837100 [pii].
- Krabbe, P.F.M., 2008. Thurstone scaling as a measurement method to quantify subjective health outcomes. *Med. care* 46 (4), 357–365. <https://doi.org/10.1097/mlr.0b013e31815ceca9>.
- Li, Z., Cheng, K.E., Wang, Y., Hiltz, S.R., Turoff, M., 2001. Thurstone's law of comparative judgment for group support. In: Paper Presented at the Seventh Americas Conference on Information Systems (Massachusetts, USA).
- Likert, R., Roslow, S., Murphy, G., 1993. A simple and reliable method of scoring the Thurstone attitude scales. *Person. Psychol.* 46 (3), 689–690. <https://doi.org/10.1080/00224545.1994.9919450>.
- Lindsey, D.T., Brown, A.M., 2006. Universality of color names. *Proceed. Nat. Academy Sci. USA* 103 (44), 16608–16613, 0607708103 [pii];10.1073/pnas.0607708103 [doi].
- Maydeu-Olivares, A., Bäckenholt, U., 2008. Modeling subjective health outcomes: top 10 reasons to use Thurstone's method. *Med. care* 46 (4), 346–348. <https://doi.org/10.1097/MLR.0b013e31816dd8d9>.
- Norman, C., Rieber, M., 1968. Facilitation of concept formation by children by the use of color cues. *J. Exp. Psychol.* 76 (3), 460–463. <https://doi.org/10.1037/h0025579>.
- Overall, J.E., Rhoades, H.M., Starbuck, R.R., 1987. Small-sample tests for homogeneity of response probabilities in 2 X 2 contingency tables. *Psychol. Bull.* 102 (2), 307–314. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.102.2.307>.
- Pitchford, N.J., Mullen, K.T., 2001. Conceptualization of perceptual attributes: a special case for color? *J. Exp. Child Psychol.* 80 (3), 289–314. <https://doi.org/10.1006/jecp.2001.2634>.
- Pitchford, N.J., Mullen, K.T., 2005. The role of perception, language, and preference in the developmental acquisition of basic color terms. *J. Exp. Child Psychol.* 90 (4), 275–302. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2004.12.005>.
- Regan, B.C., Reffin, J.P., Mollon, J.D., 1994. Luminance noise and the rapid determination of discrimination ellipses in colour deficiency. *Vis. Res.* 24 (10), 1279–1299. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)90203-8](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)90203-8).
- Regier, T., Kay, P., Khetarpal, N., 2007. Color naming reflects optimal partitions of color space. *Proceed. Nat. Academy Sci. USA* 104 (4), 1436–1441. <https://doi.org/10.1073/pnas.0610341104> [doi].
- Rosch, E.H., 1973. Natural categories. *Cognit. Psychol.* 4 (3), 328–350. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(73\)90017-0](https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90017-0).
- Sivik, L., Taft, C., 1994. Color naming - a mapping in the ncs of common color terms. *Scand. J. Psychol.* 35 (2), 144–164. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.1994.tb00939.x>.
- Smith, J.J., Borgatti, S.P., 1998. Salience counts—and so does accuracy: correcting and updating a measure for free-list-item salience. *J. Ling. Anthropol.* 7 (2), 208–209. <https://doi.org/10.1525/jlin.1997.7.2.208>.
- Smith, J.J., Furbee, L., Maynard, K., Quick, S., Ross, L., 1995. Salience counts: a domain analysis of English color terms. *J. Ling. Anthropol.* 5 (2), 203–2016. <https://doi.org/10.1525/jlin.1995.5.2.203>.
- Stevens, S.S., 1946. On the theory of scales of measurement. *Science* 103 (2684), 677–680. <https://doi.org/10.1126/science.103.2684.677>.
- Stevens, S.S., 1958. Problems and methods of psychophysics. *Psychol. Bull.* 55 (4), 177–196. <https://doi.org/10.1037/h0044251>.
- Sutrop, U., 2001. List task and a cognitive salience index. *Field Methods* 13 (3), 263–276. <https://doi.org/10.1177/1525822X0101300303>.
- Taft, C., Sivik, L., 1997. Salient color terms in four languages. *Scand. J. Psychol.* 38 (1), 29–34. <https://doi.org/10.1111/1467-9450.00005>.
- Thompson, E.C., Juan, Z., 2006. Comparative cultural salience: measures using free-list data. *Field Methods* 18 (4), 398–412. <https://doi.org/10.1177/1525822X06293128>.
- Thurstone, L.L., 1927a. A law of comparative judgment. *Psychol. Rev.* 34 (4), 273–286. <https://doi.org/10.1037/H0070288>.
- Thurstone, L.L., 1927b. The method of paired comparisons for social values. *J. Abnorm. Soc. Psychol.* 21, 384–400. <https://doi.org/10.1037/h0065439>.
- Thurstone, L.L., 1928. An experimental study of nationality preferences. *J. Gen. Physiol.* 1, 405–426. <https://doi.org/10.1080/00221309.1928.9918018>.
- Thurstone, L.L., 1929. The measurement of psychological value. In: Smith, T.V., Wright, W.K. (Eds.), *Essays in Philosophy by Seventeen Doctors of Philosophy of the University of Chicago*. Open Court, Chicago, pp. 157–174.
- Thurstone, L.L., 1931a. The measurement of change in social attitude. *J. Soc. Psychol.* 2 (2), 230–235. <https://doi.org/10.1080/00224545.1931.9918969>.
- Thurstone, L.L., 1931b. Rank order as a psychophysical method. *J. Exp. Psychol.* 14. <https://doi.org/10.1037/h0070025>.
- Uuskula, M., Bimler, D., 2016. From listing data to semantic maps: cross-linguistic commonalities in cognitive representation of colour. *Folklore Elect. J. Folklore* 64, 57–90. <https://doi.org/10.7592/Fej2016.64.Colour>.
- Webster, M.A., Kay, P., 2005. Variations in color naming within and across populations. *Behav. Brain Sci.* 28 (4), 512–+.
- Webster, M.A., Kay, P., 2012. Color categories and color appearance. *Cognition* 122 (3), 375–392. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.11.008>.
- Zollinger, H., 1988. Categorical color-perception - influence of cultural-factors on the differentiation of primary and derived basic color terms in color naming by Japanese-children. *Vis. Res.* 28 (12), 1379–1382. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(88\)90069-7](https://doi.org/10.1016/0042-6989(88)90069-7).

CAPÍTULO 4

**COMPARANDO OS CONCEITOS DE COR COM SUAS RESPECTIVAS
PREFERÊNCIAS EM CRIANÇAS E ADULTOS USANDO ESCALA PSICOFÍSICA
INTERVALAR****Resumo**

Estudos vêm apontando que as categorias de cor não parecem ser uma criação linguística arbitrária, mas refletem mecanismos perceptuais do cérebro. Foram verificadas possíveis relações entre os termos das cores mais salientes de adultos e crianças com suas respectivas preferências. Trezentos adultos concluíram um teste realizado na internet (idade média = 30 anos; DP = 1,02). Um grupo adicional de cinquenta e duas crianças concluiu o mesmo teste presencialmente (23 com 6 anos de idade; 29 com 7 anos de idade). O teste consistiu em ordenar as oito cores cognitivamente mais salientes (azul, vermelho, verde, amarelo, laranja, rosa, roxo, marrom) de acordo com a preferência pessoal. A escala intervalar psicofísica foi construída para cada um dos grupos. Com exceção do vermelho, todas obtiveram valores similares, indicando uma tendência global em preferir azul e evitar marrom, e esse comportamento parece ser mantido durante a vida. Embora tenham sido observadas algumas similaridades entre o conceito de cor e sua preferência, a baixa significância estatística parece indicar que a preferência pessoal não exerce muito impacto no aprendizado dos termos de cor, e provavelmente está relacionada a outros fatores, como contexto e cultura.

Palavras-chave: preferência de cor; saliência de cor; termo básico de cor; Lei do Julgamento Comparativo; crianças.

**Comparing color concepts with their respective preferences in children and adults using
a psychophysical interval scale**

Abstract

Studies have been pointing out that color categories do not seem to be an arbitrary linguistic creation but reflect perceptual mechanisms of the brain. Possible relationships between the terms of the most salient colors of adults and children with their respective preferences were verified. Three hundred adults completed a internet-based test (mean age = 30 years; SD = 1.02). An additional group of fifty-two children completed the same test perennially (23 6-year-olds; 29 7-year-olds). The test consisted of ordering the eight most cognitively salient colors (blue, red, green, yellow, orange, pink, purple, brown) according to personal preference. The psychophysical interval scale was constructed for each of the groups. Except for red, all obtained similar values, indicating a global tendency to prefer blue and avoid brown, and this behavior seems to be maintained throughout life. Although some similarities were observed between the concept of color and your preference, the low statistical significance seems to indicate that personal preference does not have much impact on the learning of terms of color, and is probably related to other factors, such as context and culture.

Keywords: color preference; color saliency; basic color term; Law of Comparative Judgment; children.

A percepção de cor é um dos exemplos mais extremos de uma experiência subjetiva criada por um conceito inerente ao cérebro (Pitchford & Mullen, 2001; Zeki et al., 2020), e é afetado por diversos fatores, como ambiente, cultura, experiência individual (Pitchford & Mullen, 2005; Skelton et al., 2017). Embora os seres humanos sejam capazes de discriminar milhões de cores (Linhares et al., 2008) ao longo de um *continuum*, quando se trata de comunicar seu conceito, é comum agrupá-las em um número reduzido de classes categóricas. A mente organiza essas categorias com base em similaridades entre as cores. O uso dos termos para nomear as cores permite tanto para o emissor quanto para o receptor que a referência da cor em questão seja compreendida, mesmo que nenhum deles tenha sequer visto aquela cor antes, ou que suas percepções possam ser diferentes. Décadas de debates multidisciplinares vêm estudando como essas categorias cognitivas são formadas; se elas são universais, apoiadas às bases biológicas dos mecanismos intrínsecos do sistema visual, ou se são influenciadas por fatores arbitrários, como a construção da linguagem e a cultura de determinado grupo (para uma revisão, ver Lindsey & Brown, 2021).

Diversos estudos vêm apontando que as categorias de cor não parecem ser uma criação linguística arbitrária, mas sim refletem os mecanismos perceptuais do cérebro (Lindsey & Brown 2006; 2021; Skelton et al., 2017). Evidências de que recém-nascidos já categorizam as cores suportam a hipótese de que o sistema cognitivo de categorização de cor não é puramente construído pela comunicação e cultura (Skelton et al., 2017). O cérebro parece usar um mecanismo para determinar a proporção de luz de cada comprimento de onda refletido na superfície do objeto e ao seu redor, e esse mecanismo é similar em todos os humanos, levando a uma constância universal na categorização de cor (Zeki et al., 2020).

No estudo anterior (**Capítulo 3** – Costa et al., 2021), foram verificados quais termos de cor são os mais salientes na população brasileira, comparando adultos e crianças em início de alfabetização, usando o método conhecido como *Free Listing*, que permite evocar respostas semânticas sem a necessidade de uso de estímulo físico, endereçando uma abordagem experimental que usa apenas linguagem como variável (Uusküla & Bimler, 2016). A abordagem quantitativa permitiu a criação de uma escala intervalar de origem psicofísica (Thurstone, 1927a; 1931b). Os resultados foram de acordo com a literatura científica, confirmando a universalidade nos termos básicos de cor (Lindsey & Brown 2006).

A preferência de cor é uma importante ação cognitiva que exprime atitude para expressar eventos subjetivos através do uso da cor. Décadas de pesquisa documentaram estudos sistemáticos e replicáveis a respeito de preferência de cor em adultos (Maule et al., 2022).

Adultos preferem tons azuis como os mais preferidos e amarelos (especialmente amarelos escuros e amarronzados) como tons menos preferidos (Palmer & Schloss 2010; Taylor et al., 2013b). Estudos de preferência de cor em crianças também se mostraram sistemáticos e replicáveis. Ling & Hurlbert (2011) identificaram que a curva de preferência de cor entre crianças de oito e nove, onze e doze anos de idade apresenta diversas similaridades com a de adultos.

A importância de estudar a preferência de cor e a oportunidade de relacionar com seu respectivo conceito cognitivo usando uma mesma escala psicofísica permitirá um entendimento mais refinado sobre essa relação de conceito-preferência. Nossa revisão de literatura não encontrou estudos que relacionassem diretamente conceitos de cor com sua respectiva preferência. Acreditamos que esse tipo de estudo poderá contribuir para um melhor entendimento da representação subjetiva da cor em diferentes contextos psicológicos.

O objetivo principal é verificar possíveis relações entre os conceitos de cor mais salientes em adultos e crianças (Costa et al., 2021) com suas respectivas preferências. Também, considerando o interesse que a cultura e a geografia exercem (Jonaskaite et al., 2020; Nascimento et al., 2021; Schloss et al., 2017), e o fato de que poucos estudos exploram similaridades e diferenças em preferência de cor no hemisfério sul (ver Taylor et al., 2013a), esse estudo também pretende contribuir para o entendimento da preferência de cor para a população brasileira.

Método

Sujeitos

Trezentos e trinta e seis voluntários adultos brasileiros realizaram um teste pela internet, durante o segundo semestre de 2021. Sete foram removidos por não realizarem a tarefa 1 corretamente, onze por não realizarem nenhum tipo de ranqueamento na tarefa 2 e dezoito por não realizarem a tarefa 3 corretamente. Ao todo, trezentos participantes concluíram a tarefa (idade média = 30 anos; DP = 1,02; 215 do sexo feminino; 23 canhotos; 254 do Sudeste; 14 do Sul; 9 do Centro-oeste; 23 do Nordeste). Todos os participantes eram de língua nativa portuguesa. O link de acesso para o experimento foi publicado no Portal da Universidade do Estado de São Paulo, enviado para a lista de e-mail de alunos e professores, e divulgado nas redes sociais dos autores.

Um grupo adicional de oitenta e três crianças foi avaliado durante o primeiro semestre de 2022. Sete crianças foram removidas por não completarem a tarefa 1 corretamente, e vinte e quatro por não completarem a tarefa 3. Um total de cinquenta e duas crianças com acuidade visual normal ou corrigida para normal (23 com 6 anos de idade; 29 com 7 anos de idade; 32 meninas; 6 canhotos) completaram o teste. As crianças foram recrutadas entre estudantes das escolas EMEF General Liberato Bittencourt e Maria Aparecida Broca Meirelles, duas escolas públicas primárias da região sudeste, de classe socioeconômica média. Nenhuma criança apresentou queixa oftalmológica. A avaliação se deu no interior da própria escola, em uma sala com apenas esse propósito.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética de Pesquisa com Seres Humanos do Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo. Consentimento informado foi obtido para todos os participantes. O estudo seguiu a *American Psychological Association* e a Declaração de Helsinki (1964) e todas suas atualizações posteriores.

Elaboração e procedimento

Após a leitura e aceite do consentimento informado, bem como preenchimento dos dados demográficos, o participante era redirecionado para uma página de tela cheia que consistia na realização de três tarefas consecutivas. Uma tarefa de treino, onde pedia-se para ordenar uma série de oito números exibidos em ordens aleatórias em uma única linha, pela sua grandeza. Uma vez terminada, o participante avançava para a próxima tarefa pressionando o botão indicado. A segunda tarefa consistia em ordenar oito cores, exibidas em ordens aleatórias sempre em uma única linha, em quadrados sólidos, de acordo com sua preferência pessoal, sendo a mais preferida à esquerda. A última tarefa consistia em associar as mesmas oito cores com seus respectivos nomes, que eram apresentados aleatoriamente. Essa última tarefa foi usada para assegurar que o participante nomeasse as cores usadas no experimento de acordo com as categorias esperadas, evitando erros causados por monitores com problema de calibração e reprodução de cores, bem como a própria adaptação cromática do participante, uma vez que o teste foi realizado pela internet. Os participantes que respondessem à primeira ou a terceira tarefa do teste fora do esperado foram eliminados. Não havia tempo limite para a finalização das tarefas. A explicação de cada procedimento estava disponível em formato de texto na parte superior da tela durante toda sua execução.

Todo o desenho, janelas e textos do experimento foram criados em tons de cinza, a fim de evitar quaisquer influências na tarefa de preferência de cor. Foi usado fundo neutro (132, 132,

132) durante todo o experimento. As cores usadas referem-se às oito cores mais salientes encontradas em nosso estudo anterior (Costa et al., 2021), excluindo branco e preto, já que o foco aqui é o estudo da preferência cromática. São elas: azul, verde, vermelho, amarelo, rosa, roxo, laranja e marrom. As coordenadas usadas foram: *blue* (0, 0, 255), *red* (255, 0, 0), *green* (0, 191, 0), *yellow* (255, 255, 0), *orange* (255, 128, 0), *purple* (140, 0, 191), *pink* (255, 128, 255), *brown* (143, 72, 38). A escolha para tais foi arbitrária, uma vez que a partir das saliências cognitivas, não havia uma maneira de saber qual seria o “vermelho” ou o “azul” em que os participantes estivessem se referindo. Como havia a tarefa de associar as cores exibidas com seus respectivos nomes, acreditamos que, se o participante estiver fazendo essas associações corretamente, ele está percebendo aquela cor como integrante daquela categoria.

Recomendava-se que o participante ajustasse o monitor para o modo *sRGB* para melhor controle colorimétrico. Essas configurações foram testadas e recomendadas por Da Silva Epicoco et al. (2021) para estudos semelhantes. Ao final do experimento, era perguntado se o participante realizou as recomendações de calibração. Entretanto, não havia garantia de que os participantes realmente houvessem realizado o ajuste. No questionário ao final do teste, cento e dez participantes disseram ter realizado o ajuste do monitor.

Para o grupo de crianças, foi usado um Monitor LG 27' IPS *Profissional*, com resolução de 3840x2160, cobrindo 99% do espaço de cor *sRGB*, com suporte para 1,07 bilhões de cores e luminância de 120 cd/m². As crianças foram recrutadas individualmente e realizaram o experimento em uma sala nos interiores da própria escola, iluminada apenas com a luz do monitor. Um professor pedagogo permaneceu na sala durante todo o experimento, ajudando em quaisquer eventuais dúvidas, bem como realizando a leitura e explicação de todo o procedimento. Era ele que avançava para a próxima tarefa, após se certificar de que a criança havia terminado.

Resultados

Foram usados dois métodos desenvolvidos por Thurstone (1927a; 1931b) em conjunto para a construção da escala intervalar. Primeiro, os dados foram analisados com base no procedimento de Escalonamento por Ranqueamento (Thurstone, 1931b), no qual são usados os dados absolutos da ordem dos ranqueamentos para calcular as proporções de julgamentos possíveis entre cada par de estímulos em uma dada série, convertendo a ordem do ranqueamento em uma matriz binária de correlação, permitindo então aplicar a Lei do Julgamento

Comparativo (Thurstone, 1927a), para obter as distâncias estatísticas das preferências entre as cores ranqueadas. Foi usada a formulação mais simples da lei, conhecida como caso V, onde é assumido que a avaliação de um estímulo ao longo de um *continuum* não influencia a avaliação dos outros estímulos na comparação aos pares, e que a dispersão seja igual para todos os estímulos. Mais detalhes sobre o método podem ser conferidos no **Capítulo 2**.

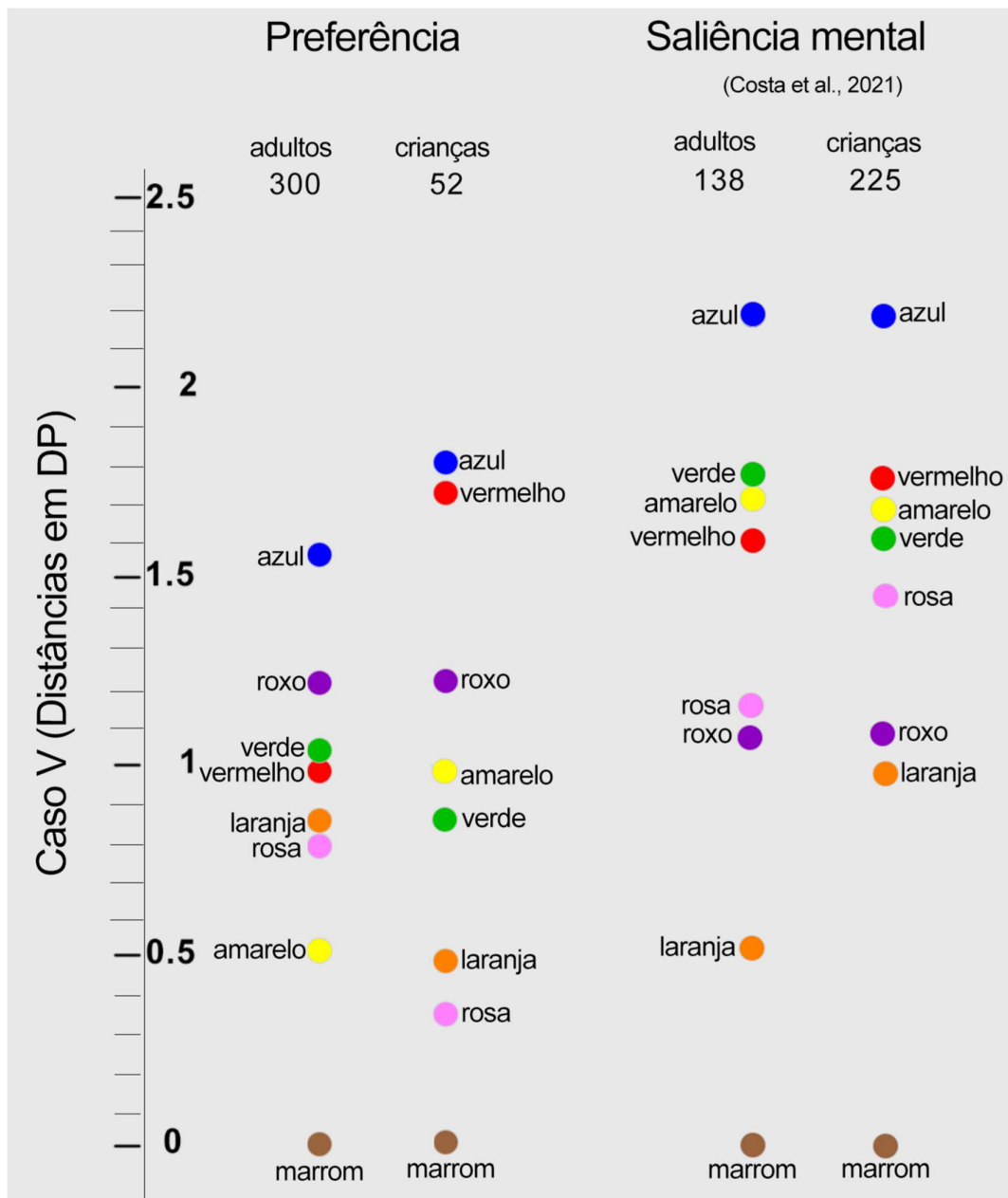


Figura 1: Escalas de preferência de cor (esquerda) e a saliência mental do conceito da cor (direita).

Nota. Os resultados da escala das saliências mentais da cor foram obtidos em Costa et al. (2021). A escala foi construída através do Método de Ranqueamento e da Lei do Julgamento Comparativo de Thurstone. As distâncias são expressas em unidades de erro (unidades de DP).

A consistência interna da escala foi calculada considerando a discrepância na ordem dos julgamentos (Thurstone, 1927b). A consistência foi alta já que a variabilidade entre as proporções calculadas com as proporções obtidas experimentalmente foi baixa. Para adultos, a variabilidade foi < 0.001 em todas as cores. Para crianças, a variabilidade foi > 0.005 apenas para vermelho e laranja.

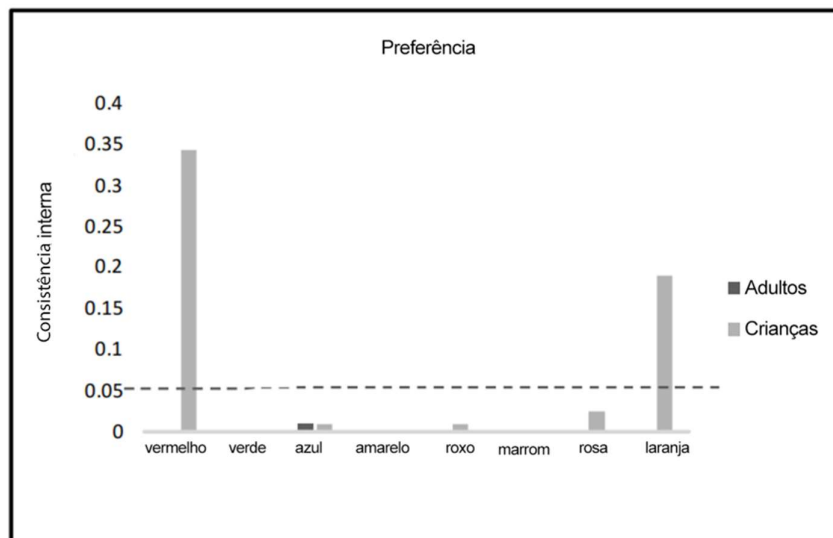


Figura 2: Consistência interna da escala de preferência de cor. A linha pontilhada define um critério de 5% de variabilidade.

Para verificar possíveis relações entre adultos e crianças para a preferência de cor, foi realizado um teste estatístico U de Mann-Whitney. Apenas vermelho se mostrou significativamente distante (figura 3), com um valor de Z-Score Adj = -2,04; $p = 0,037$. O mesmo teste foi realizado para verificar as relações entre saliências mentais com suas respectivas preferências (figuras 4 e figura 5). Para adultos, as distâncias foram significativas para vermelho; Z-Score Adj = -2,93; $p = 0,001$; verde - Z-Score Adj = -2,94; $p = 0,002$; azul - Z-Score Adj = -3,06; $p < 0,001$; roxo - Z-Score Adj = -3,07; $p < 0,001$; marrom - Z-Score Adj = -3,07; $p < 0,001$; rosa - Z-Score Adj = -3,06; $p < 0,001$. Apenas as preferências para amarelo e laranja foram próximas da saliência de seus respectivos conceitos. Para crianças, todas as preferências foram distantes de seus conceitos; vermelho - Z-Score Adj = -3,07; $p < 0,001$; verde - Z-Score Adj = -2,68; $p = 0,004$; azul - Z-Score Adj = -2,93; $p = 0,001$; amarelo - Z-Score Adj = -2,17; $p = 0,026$; roxo - Z-Score Adj = -3,06; $p < 0,001$; marrom - Z-Score Adj = -3,06; $p < 0,001$; rosa - Z-Score Adj = -2,04; $p = 0,038$; laranja - Z-Score Adj = -2,94; $p = 0,002$. Os resultados não indicam relações significativas entre os conceitos mentais da cor com suas respectivas preferências.

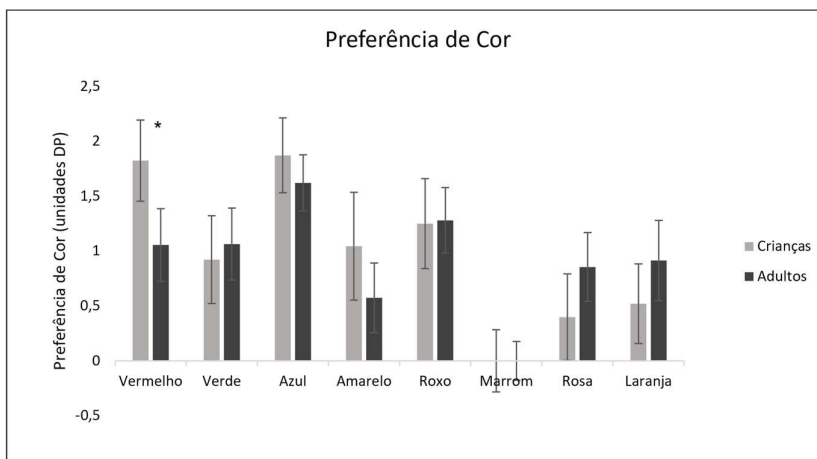


Figura 3: Comparação entre preferência de cor para adultos e crianças. Diferenças significativas são assinaladas.

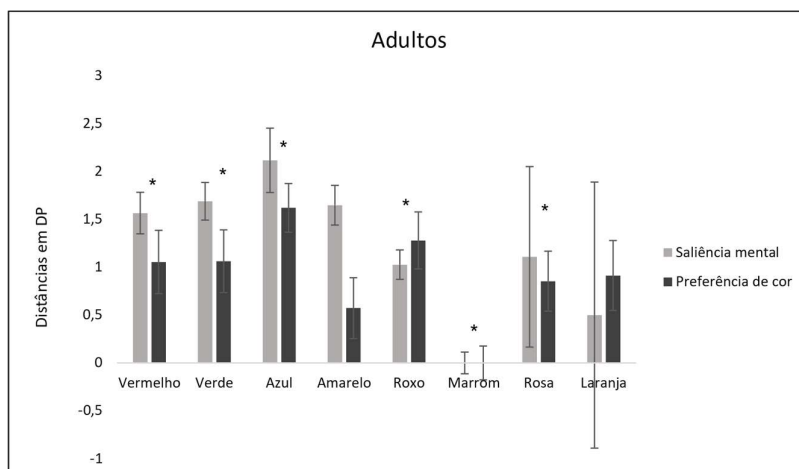


Figura 4: Comparação entre preferência de cor e a saliência do conceito mental para adultos. Diferenças significativas são assinaladas.

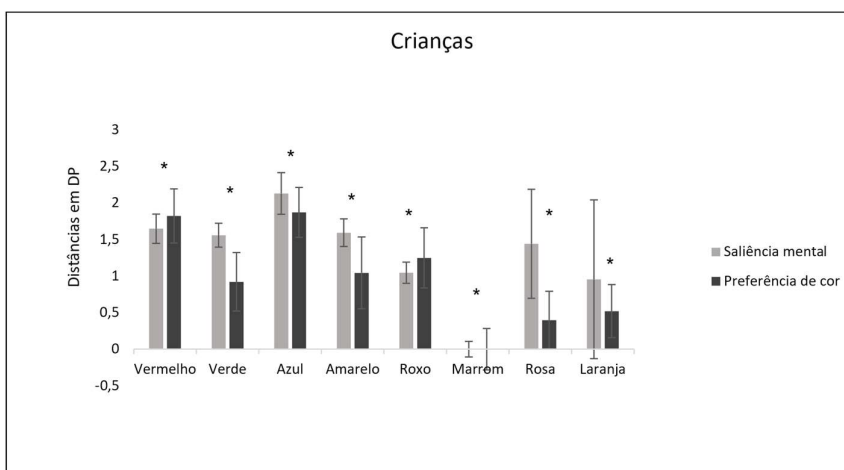


Figura 5: Comparação entre preferência de cor e a saliência do conceito mental para crianças. Diferenças significativas são assinaladas.

Discussão

O estudo investigou a preferência das oito cores mais salientes encontradas no capítulo anterior (**capítulo 3**) em uma mesma escala intervalar. Azul foi a cor preferida para os dois grupos, e marrom a menos, resultados de acordo com a literatura científica (Ling & Hurlbert, 2011; Palmer & Schloss, 2010; Taylor et al., 2013a; 2013b). A distância entre as duas cores foi de aproximadamente 1,7 unidades para ambos os grupos.

No grupo de crianças, o vermelho vem logo em segundo lugar, com uma distância vinte vezes mais próxima do que entre azul e vermelho para o grupo dos adultos. A preferência de vermelho e verde também é bastante diferente entre os dois grupos, sendo vinte e cinco vezes mais distante para crianças. Notavelmente, rosa tem o dobro de distância do marrom para adultos. Esse resultado vai contrário à ideia de que rosa é uma cor preferida pela parte das meninas (Jonaskaite et al., 2019; LoBue & Deloache, 2011). A preferência por vermelho, junto com a baixa preferência para rosa e laranja no grupo das crianças, permite concluir que deve existir uma tendência que as crianças têm em preferir cores mais saturadas. Resultados similares já foram encontrados em Taylor et al. (2013b).

Amarelo é geralmente uma cor pouco preferida (Palmer & Schloss 2010), e esse resultado se confirmou no grupo dos adultos. Marrom e amarelo formam as duas cores menos preferidas, com uma distância de 0,5 unidades. Já no grupo de crianças, amarelo e marrom se encontraram com 1,0 unidade de distância, e se revelou mais preferido do que, laranja e verde. Outra diferença notável foi a distância entre as preferências de amarelo e verde. No grupo das crianças ela é muito próxima, com 0,2 unidades de distância, enquanto para o grupo dos adultos ela se encontra seis vezes mais distante.

Exceto para vermelho, todas as outras cores obtiveram valores similares em ambos os grupos, e embora as distâncias sejam bastante próximas entre a maioria das cores, evidenciando uma maior variabilidade na preferência quando comparamos com os conceitos de cor, parece haver uma tendência sistemática em preferir algumas cores e evitar outras, e essa mesma tendência pôde ser encontrada no grupo de adultos e de crianças. Esses resultados vão de acordo com os estudos de Ling & Hurlbert (2011).

Embora algumas similaridades entre preferência e conceito de cor puderam ser observadas, onde a mais evidente seria o azul e o marrom serem sempre a mais e menos saliente e também a mais e menos preferida, respectivamente, em ambos os grupos, a baixa significância estatística encontrada entre preferência e as saliências dos conceitos mentais das cores parecem

indicar que a preferência pessoal não exerce muito impacto no aprendizado dos conceitos de cor, e provavelmente está relacionada a outros fatores, como contexto e cultura.

Existem dois pontos que gostaríamos de chamar atenção a respeito das limitações deste estudo. Toda a metodologia empregada foi desenvolvida para que o teste fosse realizado na internet. A falta de interação entre o examinador e o participante pode introduzir certa variabilidade nos resultados obtidos por esse método. Entretanto, nossos dados não parecem indicar a ocorrência de um problema metodológico de maneira significativa. Realizar o experimento em diferentes computadores também introduz variabilidade, uma vez que a reprodução de cor e calibração dos monitores usados variam. O efeito provavelmente foi minimizado pelo fato de não estarmos medindo cores próximas do limiar de percepção. Assim, o teste parece acomodar essas possíveis diferenças individuais. A própria alta correlação da preferência de cor entre adultos e crianças revela que o grupo de adultos, realizado na internet, parece não ter sido afetado. Entretanto, é importante apontarmos essa possível fonte de viés e variabilidade na medida.

Yu et al., (2021) comparou resultados de preferência de cor individual em testes realizados na internet e em laboratório, bastante similar com o estudo que realizamos, e encontrou pouca diferença na escala entre os grupos. Utilizou diferentes protocolos experimentais e mostrou que o método do ranqueamento é bastante eficiente para ser realizado com menor controle experimental. Esse método é normalmente utilizado para obtenção de medidas para as ciências sociais, e evidências disponíveis em pesquisas passadas sugerem que a técnica de *rating* pode ser usada tão eficientemente quanto a de ranqueamento, e que ambas são intercambiáveis nas medidas de valores e apresentam grande potencial quantitativo (Alwing & Krosnick, 1985; Pérez-Ortiz et al., 2019).

Embora parte dos estudos tenham sido afetados pela pandemia do COVID-19 (a saber, a coleta dos participantes adultos, que tiveram que ser realizadas na internet), foi também uma oportunidade para testar alguns procedimentos psicofísicos baseados em rotinas realizadas para internet, possibilitando uma coleta em um maior número de participantes. O sucesso deste estudo faz com que se acredite na realização de alguns procedimentos psicofísicos de forma online para entender as diferenças culturais e geográficas relacionadas às representações subjetivas da cor e seu papel no julgamento de preferência.

CAPÍTULO 5

O USO DAS CORES EM PINTURAS E A PREFERÊNCIA PELA NATURALIDADE

RESUMO

Avanços tecnológicos permitiram análises estatísticas das características colorimétricas de cenas visuais complexas, incluindo fotografias e pinturas. Resultados indicam que os artistas utilizam composições similares com a dos ambientes naturais. Estudos quantitativos de preferência estética para diferentes composições colorimétricas parecem estar de acordo com a hipótese da codificação eficiente, que supõe uma relação entre preferência e naturalidade. Esta revisão fornece subsídios sobre as teorias da visão de cores, metodologias psicofísicas e métodos recentes de medida de cor, como as medidas hiperespectrais, para futuros estudos que busquem analisar relações entre preferências e composições colorimétricas complexas.

Palavras-chave: visão de cor; estatística das cores; preferência estética; naturalidade; artes visuais.

Esse capítulo foi aceito para publicação como artigo em 15 de dezembro de 2022 “Gaddi, C. M., Costa, M. F. (2022). O uso das cores em pinturas e a preferência pela naturalidade. *Psicologia em Pesquisa*.”

The use of colors in paintings and the preference for the naturalness**ABSTRACT**

Mathematical advances allowed statistical analyzes of the colorimetric characteristics of complex visual scenes, including photographs and paintings. Results indicate that artists use compositions similar to natural environments. Quantitative studies of aesthetic preference for different colorimetric compositions seem to be in line with the efficient coding hypothesis, which assumes a relationship between preference and naturalness. This review provides subsidies on color vision theories, psychophysical methodologies, and recent color measurement methods, such as hyperspectral measurements, for future studies that seek to analyze relationships between preferences and complex colorimetric compositions.

Keywords: color vision; color statistics; aesthetic preference; naturalness; visual arts.

A psicologia sensorial busca entender como o cérebro representa a informação do mundo exterior, tornando necessários estudos sobre a maneira através da qual os neurônios sensoriais codificam a informação visual para gerar uma percepção consciente. A principal hipótese que norteia esses estudos veio do renomado cientista da visão Horace Barlow (1921-2020), que propôs um modelo teórico de codificação neuronal no qual os sistemas sensoriais devam estar adaptados em escala de tempo evolutiva para processar mais eficientemente os estímulos que aparecem com maior frequência em ambientes naturais. Esse modelo teórico ficou conhecido como hipótese da codificação eficiente. Fred Attneave (1919-1991), um importante psicólogo da percepção visual, já havia proposto que os neurônios sensoriais devem estar adaptados às propriedades dos sinais as quais são expostos com maior frequência. Sua hipótese era sustentada pela Teoria da Informação, que forneceu as bases matemáticas para analisar sistemas complexos de comunicação, definindo conceitos como: sinal, ruído, canal e redundância (Simoncelli & Olshausen, 2001).

No que diz respeito ao sistema visual, os receptores da retina são capazes de capturar uma grande quantidade de informação, porém como ela deve ser convergida para o nervo óptico, uma série de reduções são realizadas. O cérebro usa uma estratégia eficiente para transmitir apenas as informações mais necessárias e da forma mais rápida possível para gerar a percepção consciente. Tecnologias modernas vêm explorando essas redundâncias da informação visual para transmitir e armazenar arquivos digitais de filmes e imagens (Artusi et al., 2019), ao passo que tópicos fundamentais da Teoria da Informação e da fisiologia da visão têm sido usados para auxiliar no desenvolvimento de algoritmos de compactação cada vez mais eficientes.

Embora o modelo de Barlow tenha mais de 50 anos, até o final da década de 1990 havia pouca informação das características que compunham as cenas naturais, dada a complexidade de quantificar seus elementos. Os estudos das ciências da visão eram caracterizados pelo uso de estímulos simples como barras, gradientes, pontos e manchas. Esses estímulos não só eram fáceis de serem controlados e parametrizados, como eram capazes de elicitarem respostas neuronais bastante fortes. Porém, não havia garantias de que essas respostas pudessem ser generalizadas para cenas complexas, com as quais o sistema visual lida no mundo real. Investigações mais sofisticadas a respeito das propriedades visuais que compõem as cenas naturais somente puderam ser realizadas com os avanços computacionais das últimas duas décadas (Geisler, 2008).

Diversas relações entre contraste e luminância já foram identificadas e modeladas de acordo com a hipótese da codificação eficiente, permitindo inclusive prever nível de desconforto visual para uma grande variedade de imagens, incluindo obras de arte (Ogawa & Motoyoshi, 2020). Verificou-se que determinadas frequências espaciais chegam a causar dores de cabeça, e até mesmo ataque epiléptico em pessoas mais susceptíveis, indicando a existência de uma clara associação entre alguns desvios específicos da natureza e desconforto visual (Penacchio & Wilkins, 2015).

Embora a cor seja uma parte importante da experiência visual, há poucos estudos sobre as relações entre a distribuição colorimétrica de cenas naturais e a hipótese da codificação eficiente. Os testes realizados por Penacchio et al. (2021) mostraram que o nível de desconforto visual parece estar associado com versões exageradas das diferenças de cromaticidade, começando a surgir quando os mecanismos sensoriais são super estimulados por classes específicas de estímulos raramente encontrados na natureza.

A possibilidade de analisar quantitativamente elementos visuais complexos fez com que houvesse uma demanda crescente de estudos sobre as regularidades estatísticas de diversas obras de arte, buscando relações com a codificação neuronal do sistema visual (Kim et al., 2014; Mallon et al., 2014). A principal hipótese é a de que os artistas devem mimetizar certas regularidades das cenas naturais, fazendo com que determinados elementos de suas composições causem respostas mais eficientes pelos neurônios sensoriais (Graham & Redies, 2010; Redies, 2008).

Esse artigo busca revisar estudos recentes a respeito do uso das cores em pinturas de diferentes estilos e períodos artísticos, bem como as possíveis relações entre a distribuição colorimétrica e o grau de preferência. A primeira seção revisou as bases dos estudos da Colorimetria que possibilitaram a criação de modelos de aparência de cor cada vez mais sofisticados (Fairchild, 2013), e que auxiliaram os estudos sistemáticos da estatística das cores. A segunda seção foi dividida em duas subseções: i) distribuição colorimétrica, buscando similaridades e diferenças de pinturas tradicionais e contemporâneas com os ambientes naturais (Feitosa-Santana et al., 2020; Montagner et al., 2016; Romero et al., 2018); (ii) preferência pela distribuição colorimétrica, que investiga a relação entre a preferência das diferentes organizações cromáticas de pinturas e fotografias de cenas naturais, utilizando-se de testes psicofísicos (Albers et al., 2020; Nascimento et al., 2017; Nascimento et al., 2021).

Espera-se que essa revisão sirva para encorajar estudos formais em artes visuais através da utilização de metodologias científicas com base na fisiologia da visão humana, na realização de manipulações digitais adequadas e no uso de medidas psicofísicas.

Tabela 1: *Resumo dos Estudos e Principais Achados sobre a Distribuição Colorimétrica de Pinturas e Fotografias.*

Distribuição Colorimétrica			
Delineamento	Resultados Observados	Pontos Principais	Calibração Colorimétrica
50 fotografias de cenas naturais (rurais e urbanas) (Linhares et al., 2008)	Número de cores discriminável: 26×10^3 Razão dos eixos a* b*: 0,51 Ângulo de orientação: 92°	Média de cor muito menor do que valor teórico de 2.3 milhões. O sistema visual lida, na maior parte do tempo, com um número bastante reduzido de cores.	Uso de câmera com lente que simula a visão humana e sensor hiperespectral.
44 pinturas abstratas e figurativas dos museus Centro de Arte Moderna, Lisboa-PT e Museu Nogueira da Silva, Braga-PT. (Montagner et al., 2016)	Área do <i>gamut</i> : $3,4 \times 10^3$ Razão dos eixos a* b*: 0,58 Ângulo de orientação: 66°	Similaridade no uso das cores com a distribuição de cenas naturais, embora a área do <i>gamut</i> seja consideravelmente menor.	Todas as obras de arte foram digitalizadas através de equipamento hiperespectral.
199 imagens de pinturas clássicas entre séc. XV e XVII. (Romero et al., 2018)	Área do <i>gamut</i> : $2,9 \times 10^3$ Razão dos eixos a* b*: 0,45 Ângulo de orientação: 99°	Os parâmetros colorimétricos variaram muito pouco entre todas as pinturas.	Ausência de uso de qualquer calibração colorimétrica.
228 <i>graffiti</i> urbanos de São Paulo, SP. (Feitosa-Santana et al., 2020)	Área do <i>gamut</i> : $6,2 \times 10^3$ Razão dos eixos a* b*: 0,57 Ângulo de orientação: 64°	Área do <i>gamut</i> consideravelmente maior do que em pinturas tradicionais. O estilo artístico permite o uso de pigmentos muito mais puros do que os das pinturas tradicionais. O espalhamento da curva para o ângulo do <i>gamut</i> foi maior do que em pinturas tradicionais, indicando maior liberdade no uso das cores.	Macbeth ColorChecker® de 24 amostras e um espectro-colorímetro.

Tabela 2: *Resumo dos Testes Psicofísicos e Principais Achados a Respeito da Preferência pela Distribuição Colorimétrica de Pinturas e Fotografias.*

Preferência pela Distribuição Colorimétrica			
Delineamento	Resultados Observados	Pontos Principais	Calibração Colorimétrica
10 pinturas abstratas e figurativas. 50 participantes. Escolher a composição colorimétrica preferida ajustando livremente a rotação do <i>gamut</i> de cada pintura, individualmente. (Linhares et al., 2017)	Média de 3,3° para pinturas abstratas e 12° para pinturas realistas. 0° representa o ângulo original.	Tendência sistemática em escolher o ângulo que se encontra mais próximo da composição original.	Pinturas previamente digitalizadas com equipamento hiperspectral. Teste realizado em ambiente controlado de laboratório e uso de monitor com calibração colorimétrica específica.
4 pinturas, apresentadas na forma original e com distorção espacial. 15 participantes. Escolher a condição colorimétrica preferida através de um procedimento de escolha forçada entre 2 opções. 11 condições colorimétricas para cada pintura. (Albers et al., 2020)	As curvas de preferência tiveram seu pico próximo ao ângulo original. O efeito foi mais fraco nas versões com distorção espacial, porém observados.	A cor parece produzir um papel independente no julgamento de preferência: o balanço na distribuição colorimétrica parece levar a um julgamento mais positivo ou negativo.	Pinturas previamente digitalizadas com equipamento hiperspectral. Teste realizado em ambiente controlado de laboratório e uso de monitor com calibração colorimétrica específica.
4 fotografias de cenas naturais, apresentadas na forma original e com distorção espacial. 12 participantes. Duas tarefas: (i) escolher a condição preferida; (ii) escolher a mais natural. Procedimento de escolha forçada entre 2 opções. 11 condições colorimétricas. (Nascimento et al., 2021)	Sem distorção espacial: Preferência: -1° Naturalidade: -6° Com distorção espacial: Preferência: 0° Naturalidade: 7° Grau de sobreposição entre preferência e naturalidade: Sem distorção espacial: 77% Com distorção espacial: 68%	A preferência produziu um maior espalhamento na distribuição gaussiana comparado a curva obtida pela naturalidade. Isso representa uma maior variabilidade na preferência estética, em contrapartida ao julgar qual composição colorimétrica é mais natural.	Pinturas previamente digitalizadas com equipamento hiperspectral. Teste realizado em ambiente controlado de laboratório e uso de monitor com calibração colorimétrica específica.

Espaço de Cor Uniforme

Os estudos da Colorimetria, a primeira descrição matemática abrangente da cor, foram definidos há quase 100 anos atrás, graças ao estabelecimento da *Commission Internationale de l'Eclairage* – CIE (Fairchild, 2019), em 1931, a qual possibilitou o controle preciso da cor em muitas aplicações industriais, tais como: fabricação têxtil, impressão, fotografia, cinema e iluminação.

A construção do espaço de cor CIE de 1931 (Figura 1) se deu com auxílio de medidas psicofísicas de equiparação cromática. Essa técnica consiste em apresentar ao observador um campo circular bipartido com um dos lados iluminado por uma luz monocromática e o outro iluminado simultaneamente por três luzes diferentes sobrepostas, as quais correspondem às cores primárias – vermelho, verde e azul. A tarefa consiste em ajustar a intensidade de cada uma das três primárias até que as duas metades do campo circular sejam percebidas como iguais. Adota-se a trinca de valores escolhidos para corresponder à luz monocromática em questão. Também conhecidas como cores puras ou espectrais, as coordenadas das cores monocromáticas são representadas no lócus espectral, que ocupa mais de dois terços da borda do diagrama. Correspondem ao comprimento de onda entre 380 nm a 700 nm, e equivalem à faixa de absorção espectral das células da retina. As áreas púrpuras são representadas em linha reta e sem valores, pois representam as cores não-espectrais. O branco está localizado em sua porção mais central, e sua determinação resulta da combinação dos três comprimentos de onda adotados como primárias³.

³ Uma revisão sobre a origem dos espaços de cor pode ser conferida em Feitosa-Santana et al., 2006.

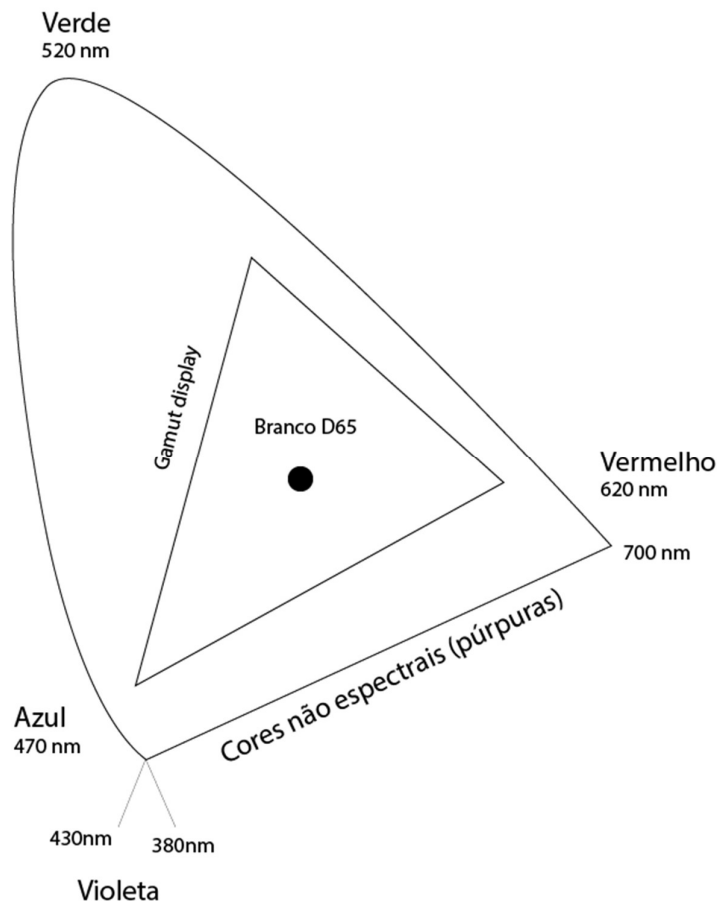


Figura 6: Diagrama de Cromaticidade CIE (1931).

Nota. As áreas dentro do diagrama representam a aparência aproximada da mistura aditiva das três luzes monocromáticas adotadas como primárias. A região central representa a mistura de luzes que são percebidas como brancas. A borda do diagrama é representada pelo locus espectral de 380 nm a 700 nm. A linha reta representa as cores não espectrais. A área dentro do triângulo indica o *gamut* de cor que a maioria dos monitores conseguem reproduzir.

O sistema CIE (1931) representa muito bem os estágios iniciais do processamento da visão de cor na retina, na qual a luz é absorvida e traduzida em sinal neuronal através da excitação de três classes de cones com diferentes faixas de absorção espectrais. Isto providenciou um ponto de partida para criação de métricas da cor, prevendo como dois ou mais estímulos monocromáticos misturados serão percebidos.

A tricromacia diz que três classes de cones são suficientes para explicar os dados de todas as combinações possíveis de cores. O primeiro estágio da visão de cor ocorre na retina, e é dependente da absorção de três receptores. No entanto, a tricromacia não fornece uma descrição completa da aparência relativa das cores em diferentes ambientes de iluminação. Atributos como brilho, saturação e matiz caracterizam-se como puramente psicológicos e são influenciados não apenas pelas qualidades físicas da luz (intensidade luminosa, pureza

colorimétrica e comprimento de onda), mas também por fatores diversos, como os demais estímulos presentes no campo visual e a comparação relativa entre eles. Isso ocorre porque esta informação tricromática é organizada no segundo estágio da visão de cor, ainda na retina, em dois canais oponentes cromáticos.

Como o sinal da retina tem que ser convergido para o nervo óptico, é realizado um processamento para reduzir a informação, a fim de eliminar redundâncias. Esse estágio ocorre nas células ganglionares da retina, que codificam a informação tricromática dos cones em sinais de oponência. A evidência comportamental para o Processamento de Cor Oponente foi notada pela primeira vez por Ewald Hering (1834-1918), que observou que alguns pares de cores – a saber, vermelho e verde, e amarelo e azul – não podem ser percebidos ao mesmo tempo. Esses pares de cores foram chamados de “cores oponentes”, uma vez que são mutuamente excludentes (Wuerger & Xiao, 2016). As cores para as quais o mecanismo amarelo-azul não emite nenhuma resposta são chamadas de “vermelho único” ou “verde único”, e dependem do lado do ponto neutro no qual elas se encontram. Já as cores que inibem os mecanismos oponentes vermelho-verde são chamadas de “amarelo único” ou “azul único”. Esse sistema possibilita uma transmissão mais eficiente do sinal e reduz possíveis ruídos e redundâncias. Essa limitação fisiológica impede que sejam percebidas cores verde-avermelhadas ou azul-amareladas.

A percepção da cor vai muito além do comprimento de onda absorvido pelos cones da retina representados no diagrama CIE (1931). A tomar como exemplo a constância de cor, a manutenção da percepção de uma dada cor apesar das mudanças das condições de iluminação variarem. É por esse motivo que uma folha verde permanece verde mesmo ao meio-dia, com uma luz branca, ou ao pôr do sol, momento em que há predominância de luz vermelha. A cor é uma das informações que mais ajudam no reconhecimento de objetos, e uma vez que os níveis de intensidade e comprimento de onda das fontes luminosas variam, o sistema visual evoluiu para compensar eficientemente tais mudanças. Como resultado, a cor percebida do objeto permanece aproximadamente constante. Quando o iluminante é alterado, ocorre uma variação na cor branca devido a mudanças na temperatura de cor, podendo se tornar mais amarelada ou mais azulada (Witzel & Gegenfurtner 2018). A constância de cor permite que, independentemente dessa variação, as diferenças relativas entre as várias cores permaneçam as mesmas, tornando o verde percebido como verde, sob luz amarelada ou azulada.

As informações de cor também estão envolvidas em muitas tarefas visuais diferentes, desde a segmentação da cena e julgamento de materiais de superfície até a expressão de um

rosto. Os processos subjacentes nas diferentes análises visuais envolvem caminhos neurais e áreas corticais distintas, e a forma como a cor contribui para essas análises pode variar bastante.

Considerando a dificuldade de representar, em um único modelo, todos os aspectos perceptuais da cor, tricromáticos e oponentes, de forma a garantirem uma representação próxima da percepção, muitas tentativas foram feitas para criar um espaço de cor uniforme, em que as distâncias no modelo correspondessem linearmente às mudanças na percepção cromática. Os primeiros passos para a construção de um modelo uniforme semelhante ao processamento das células ganglionares da retina (figura 2-a) tiveram início em 1976, quando o CIE introduziu o espaço de cor CIELAB (figura 2-b), que permitiu correlações numéricas de iluminação, matiz e pureza colorimétrica. Os valores do CIELAB podem ser usados para descrever as diferenças percebidas entre os estímulos em um único conjunto de condições de visualização (Fairchild, 2013).

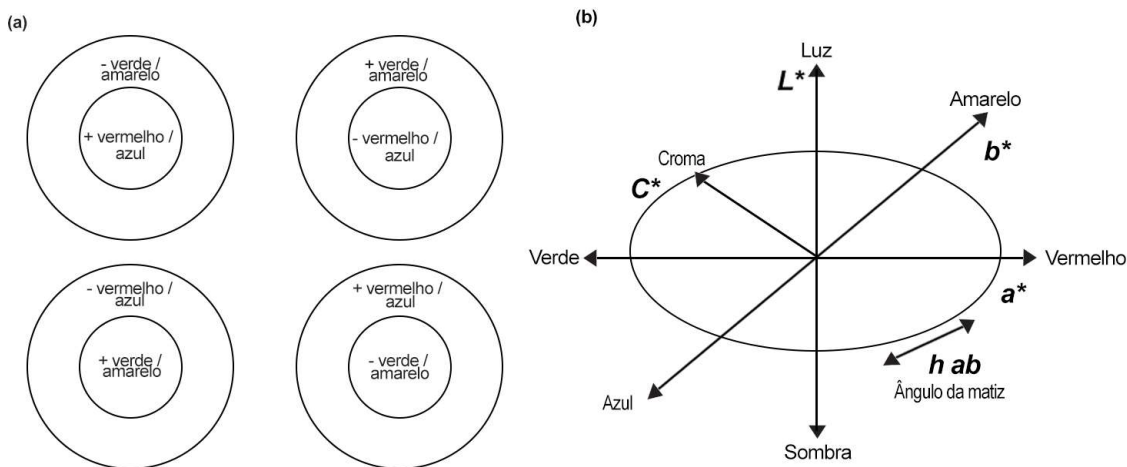


Figura 7: (a) Campo receptivo das células ganglionares da retina; (b) Modelo de aparência de cor CIELAB.

Nota. (a) Campo receptivo das células ganglionares da retina que respondem, respectivamente, para: centro excitatório vermelho e periferia inibitória verde; centro inibitório vermelho e periferia excitatória verde; centro excitatório verde e periferia inibitória vermelha; e centro inibitório verde e periferia excitatória vermelha. O mesmo ocorre separadamente para o canal azul-amarelo. Essas células possuem uma relação de organização antagônica de centro-periferia, de modo que a cor do centro produz uma resposta excitatória, ao passo que sua respectiva cor oponente na periferia é inibida. (b) Representação cilíndrica do espaço de cor CIELAB. O eixo a^* corresponde ao canal de oposição verde-vermelho, e o eixo b^* ao canal amarelo-azul. O eixo L^* representa a luminância.

O modelo de aparência de cor CIELAB consegue representar de maneira satisfatória os aspectos de mistura de cor esperados pela teoria tricromática da mesma forma que organiza estas informações considerando os canais de oponentia, de forma a se assemelhar com as características percebidas da cor.

O modelo CIELAB permite extrair três parâmetros puramente colorimétricos: (i) a área do plano cartesiano a^*b^* , que corresponde à saturação percebida; (ii) o ângulo de orientação do *gamut* no plano cartesiano a^*b^* , que diz respeito à percepção de matiz; e (iii) a razão entre o menor e o maior eixo do *gamut* no plano cartesiano a^*b^* , que captura o balanço entre as cores. Uma variação vermelho-verde é expressa em ângulos próximos a 180° ou 0° , e variações no amarelo-azul nos ângulos próximos a 90° ou 270° . Alinhado ao uso de sensores espectrais que permitem digitalizar uma imagem mantendo o registro do espectro eletromagnético refletido, é possível encontrar o valor correspondente de cada pixel para o espaço de cor CIE (1931) e converter para CIELAB com alta precisão⁴.

Embora esse modelo tenha recebido atualizações constantes ao longo das décadas, ainda não é capaz de capturar todos os aspectos da percepção de cor, e nem mesmo em ambiente controlado consegue prever todas as variáveis, especialmente para percepção de brilho e saturação (Witzel & Gegenfurtner, 2018). A maioria das métricas e espaços de cores são baseadas em medições médias em muitos indivíduos para definir um “observador padrão”. Pelo exposto, é óbvio que este padrão não descreve necessariamente a visão de cores de qualquer observador real, podendo aproximar-se mal das características de muitos deles. Por essa razão, avaliações precisas da visão de cores geralmente exigem a medição empírica da sensibilidade espectral do observador. Ainda assim, essa tecnologia já permitiu estimar o número de cores distinguíveis em cenas naturais (Linhares et al., 2008) utilizando uma câmera hiperespectral modificada com uma lente que simulasse ao máximo a visão humana. O valor encontrado foi de 690 mil cores, e mesmo quando a luminosidade (L^*) que resulta em percepção de brilho foi ignorada, apenas 26 mil cores puderam ser realmente discriminadas. O número estimado de cores percebidas pela visão humana era teórico, baseado na suposição de que todas as cores fossem igualmente presentes e de que esse valor era de aproximadamente 2.3 milhões (Linhares et al., 2008). Os dados mostraram que a refletância espectral natural é consideravelmente menor que as possibilidades de cores que o sistema visual pode distinguir. Na maior parte do tempo, o sistema visual lida com uma quantidade bem mais limitada de informação colorimétrica.

⁴ Maiores detalhes sobre os métodos de aquisição de imagens hiperespectrais e computação necessária para conversão dos espaços de cor podem ser conferidos em Foster & Amano (2019).

O uso de imagens espectrais tem sido aplicado ao campo da conservação e da história da arte desde o início da década de 1990, sendo uma ferramenta eficiente para fornecer informações espaciais e espectrais de pinturas e objetos arqueológicos (Linhares et al., 2020). Com os novos modelos de dispositivos de captura espectral, compactos e com interface amigável, mas mantendo a qualidade de resolução e captura hiperespectral dos equipamentos convencionais, novas aplicações estão surgindo, ampliando seu uso para diferentes contextos (Picollo et al., 2020), e possibilitando análises colorimétricas com alta precisão, sendo de grande interesse para os estudos das artes (Montagner et al., 2017).

Distribuição Colorimétrica em Pinturas

Montagner et al. (2016) investigaram a distribuição colorimétrica em 44 pinturas abstratas e figurativas. Vinte e quatro dessas obras são de autoria do artista modernista português Amadeo de Souza-Cardoso, produzidas entre 1911 e 1917, e pertencem ao acervo do Centro de Arte Moderna da Fundação Calouste Gulbenkian (CAM-FCG), localizado em Lisboa. As demais são oriundas do acervo do Museu Nogueira da Silva, situado em Braga, e caracterizam épocas, artistas e estilos diferentes. Cinquenta fotografias de cenas naturais também foram analisadas. As pinturas e fotografias foram digitalizadas através de um sistema hiperespectral. O mesmo procedimento de Linhares et al. (2008) foi adotado para obter as medidas colorimétricas em CIELAB. As máximas gaussianas para pinturas; área do *gamut*: 3.4×10^3 ; razão dos eixos: 0,58; ângulo de orientação: 66° . Para cenas naturais, a razão dos eixos foi de 0,51 e o ângulo de 92° (Montagner et al., 2016).

Um estudo de Romero et al., 2018 utilizou uma amostra de 199 pinturas digitalizadas e disponíveis na internet, dos pintores Ticiano (*circa* 1490-1576), El Greco (1541-1614), Rubens (1577-1640), Velásquez (1599-1660), Rembrandt (1606-1669) e Vermeer (1632-1675), para uma análise de parâmetros colorimétricos, porém sem calibração nem precisão da digitalização hiperespectral. Os resultados encontrados foram: área do *gamut*: $6,2 \times 10^3$; razão dos eixos a^* b^* : 0,57; ângulo de orientação: 64° . Os achados de Romero et al. (2018) parecem generalizar os resultados encontrados em Montagner et al. (2016).

Foi feita uma análise colorimétrica para 228 *graffiti* urbanos da cidade de São Paulo (Feitosa-Santana et al., 2020). Em todas as fotografias utilizou-se um *ColorChecker* de 24 amostras e um espectro-colorímetro para implementar as calibrações necessárias e representar o *gamut* em CIELAB com alta precisão. A máxima gaussiana dos *graffiti*; área 6.2×10^3 ; razão

dos eixos 0,57; ângulo do *gamut* 64°. A área foi consideravelmente maior em relação às pinturas tradicionais. Para explicar esses resultados, os pesquisadores coletaram amostras de pigmentos utilizados por artistas urbanos para uma análise espectral e as compararam com pigmentos tradicionais de pintura a óleo (Feitosa-Santana et al., 2020). Os pigmentos modernos se mostraram muito mais puros, possibilitando estilos artísticos de maior riqueza cromática. A razão e o ângulo foram muito próximos das pinturas tradicionais, apresentando maior variabilidade no eixo amarelo-azul. Isto evidencia que, apesar dos diferentes estilos artísticos, são usadas as mesmas cores, nas mesmas proporções. Entretanto, o espalhamento da curva gaussiana dos ângulos dos *graffiti* foi maior em relação às pinturas, indicando grande liberdade no uso das cores pelos artistas urbanos.

Preferência pela Distribuição Colorimétrica

Nascimento et al. (2017) selecionaram 10 pinturas analisadas previamente por Montagner et al. (2016) para um teste de preferência para diferentes composições colorimétricas. Entre essas obras, seis eram abstratas e quatro possuíam elementos realistas. Cinquenta participantes com visão de cor normal e não familiarizados com as pinturas selecionadas realizaram uma tarefa que constava em alterar suas composições colorimétricas, por meio da rotação do *gamut* no eixo $a^* b^*$ até encontrar a composição colorimétrica que mais lhe agradasse. A rotação do *gamut* altera a composição colorimétrica sem mudar sua relação ou o número das cores, e ainda preserva saturação e brilho. As médias dos valores absolutos correspondentes foi de 3,3° para pinturas abstratas e 12° para pinturas realistas, onde 0° representa o ângulo original da pintura (Nascimento et al., 2017). Os resultados mostraram uma tendência sistemática em escolher o ângulo que se encontrava mais próximo da composição original, sendo menos preferidos à medida que se afastaram do ângulo original.

A fim de medir a preferência colorimétrica das pinturas excluindo os elementos que oferecessem pistas de contornos e elementos figurativos, Albers et al. (2020) mediram as preferências por mudanças colorimétricas em pinturas por meio da fragmentação e embaralhamento de seus elementos. Foram utilizadas duas pinturas abstratas de Amadeo de Souza Cardoso, previamente analisadas por Montagner et al. (2016). As outras duas foram criadas de forma a mimetizar o estilo do artista das duas primeiras. Todas as obras foram digitalizadas usando equipamento hiperespectral. Cada pintura digitalizada teve seu ângulo de rotação do *gamut* modificado em passos de 20°, de -100° a +100°, totalizando 11 condições

para cada pintura, que foram usadas no teste (i). No teste (ii) foram aplicadas distorções espaciais nas pinturas, preservando apenas o conteúdo cromático. No teste (iii) as pinturas sofreram distorção espacial e colorimétrica (Albers et al., 2020).

Quinze participantes com visão de cor normal realizaram uma tarefa utilizando o paradigma de escolha forçada (*2 alternative forced choice*) das diferentes condições colorimétricas para uma mesma pintura, na qual cada participante deveria indicar, entre as duas condições apresentadas, qual seria a preferida. Esse procedimento foi realizado para todos os possíveis pares, o que requer pelo menos $n(n - 1)$ repetições. Em cada rodada, duas condições eram sequencialmente apresentadas durante 1000ms, com um intervalo inter-estímulo de 500 ms entre elas. A resposta deveria ser dada após a exibição. As comparações envolviam sempre duas versões da mesma pintura, na mesma condição espacial (original, distorção espacial e distorção espacial e cromática), mas com configurações colorimétricas diferentes (Albers et al., 2020). A curva de preferência do teste (i) teve a máxima distribuição próxima da composição original. Para as pinturas que sofreram distorção espacial (ii), essa tendência foi mais fraca, porém observada. Não houve um pico de preferência para o teste (iii). Ao menos nesse conjunto de pinturas, ficou evidente que a composição colorimétrica exerce um papel independente na preferência.

Para relacionar preferência com naturalidade, realizou-se um teste (Nascimento et al., 2021) que utilizava quatro fotografias de cenas naturais – duas cenas rurais e duas urbanas. Estas fotografias foram previamente digitalizadas por câmera hiperespectral (Linhares et al., 2008), assim como apresentadas em sua forma original e com manipulação espacial nas mesmas 11 condições colorimétricas usadas anteriormente. Doze participantes deveriam escolher a condição preferida através do protocolo de escolha forçada. O objetivo desse teste consistiu em obter curvas individuais para naturalidade e preferência em função do ângulo de orientação do *gamut* (Nascimento et al., 2021). Para as versões originais (sem distorção espacial), o valor médio da máxima gaussiana encontrada foi de 6° para naturalidade e -1° para preferência. Nas versões com distorção espacial, o valor foi de 7° para naturalidade e 0° para preferência. O grau de sobreposição entre preferência e naturalidade para as fotografias sem distorção espacial foi de 77%, e para as versões com distorção espacial, 68% (Nascimento et al., 2021). Na média, para todas as condições, a preferência produziu um maior espalhamento na distribuição gaussiana, fluando bem mais do que a curva para a naturalidade.

Discussão

O uso das cores em pinturas de diferentes épocas e estilos (Feitosa-Santana et al., 2020; Montagner et al., 2016; Romero et al., 2018) parece indicar que os artistas usam uma variedade limitada das combinações colorimétricas possíveis. Ainda que de forma inconsciente, os artistas acabam por mimetizar diversas regularidades geralmente encontradas na natureza, mesmo com acesso a um número muito maior de pigmentos, e em estilos artísticos nos quais se supõe maior liberdade em suas composições.

Os testes psicofísicos de Nascimento et al. (2017) mostraram o quanto de mudança do ângulo de orientação do *gamut* é necessária para se perceber a mínima diferença colorimétrica em composições complexas. Albers et al. (2020) e Nascimento et al. (2021) realizaram testes psicofísicos aplicando distorções espaciais nos estímulos utilizados, de modo a isolar todo conteúdo semântico, preservando apenas a cor. O protocolo experimental de escolha forçada usado nos dois experimentos é o mais eficiente e com menor viés para estudos de preferência visual (Palmer et al., 2013). Embora o número de participantes seja baixo, os resultados indicaram que composições colorimétricas mais naturalistas também são as mais preferidas. A cor parece produzir um papel independente no julgamento de preferência, e apesar de o efeito ter sido muito mais fraco nas versões que sofreram distorção espacial, é possível dizer que certas configurações movem a imagem em direção a uma experiência estética mais positiva ou negativa.

Cor é um mecanismo biológico sinalizador que exemplifica muito bem a demanda do cérebro pela busca de conhecimento através das contínuas mudanças no ambiente. À medida que a reflectância dos objetos varia, o cérebro busca uma proporção que permita não ser enganado por qualquer mudança do comprimento de onda refletido do objeto. A manutenção perceptual das cores em diferentes níveis de iluminação é ainda mais verdadeira e significativa quando aplicadas aos *graffiti* e artes em geral. Os *graffiti* estão expostos em ambientes externos, que estão sujeitos a grandes mudanças de luminosidade ao longo do dia. Durante a noite, essas mesmas artes estão expostas a diferentes tipos de iluminação artificial. A propriedade psicológica da constância de cor permite a apreciação das obras de arte sem grandes distorções produzidas pelos diferentes iluminantes.

Investigações realizadas a respeito da preferência estética em pinturas sob diferentes iluminantes (Nascimento et al., 2020) mostraram que os japoneses tendem a preferir um espectro mais azulado em relação aos portugueses. Esses resultados parecem ser justificados

por aspectos geográficos, pela diferença de espectro luminoso e da incidência solar. Como exemplo, pinturas impressionistas francesas, que eram realizadas à luz solar do dia europeu, são mais bem reproduzidas se expostas em iluminação que simula ao máximo o espectro luminoso daquela determinada região. Isso pode ser um aspecto importante para a iluminação de exposições em museus, com potencial quantitativo de estudo.

Os estudos quantitativos a respeito da distribuição colorimétrica das cenas naturais permitiram a realização de testes de discriminação de objetos em daltônicos. Os resultados mostraram que, em condições de iluminação natural, os dicromatas tiveram uma performance tão boa quanto os tricromatas normais. Além disso, revelaram uma maior discriminação (por volta de 10%) usando apenas diferença de brilho. (Pastilha et al., 2019). As conclusões oferecidas por esses estudos contribuem para o entendimento do porquê a dicromacia é a forma mais comum de visão nos mamíferos.

Assim como o número de cores perceptíveis na natureza é muito menor do que a teoria supôs, os dicromatas também parecem não ter grandes problemas com a discriminação de objetos. Ambos os valores teóricos eram calculados com base na suposição de que todas as cores fossem igualmente presentes, o que não é uma realidade. Em nossa revisão literária não encontramos estudos quantitativos que explorassem a preferência estética em dicromatas. No entanto, estudos do gênero já são possíveis, e poderiam auxiliar o entendimento da representação subjetiva da cor para esse grupo.

Por integrar conhecimento de diferentes áreas, como psicologia sensorial, neurociências da visão, artes, estética, este trabalho de revisão fornece subsídios sobre as teorias da visão de cores, metodologias psicofísicas e métodos de medida da cor e da luz recentes e inovadores, como as medidas hiperspectrais, para futuros estudos que busquem analisar relações entre preferências e composições cromáticas.

CAPÍTULO 6

**ARTE ATRAVÉS DAS CORES DOS *GRAFFITI*: DA PERSPECTIVA DA
ESTRUTURA CROMÁTICA****Resumo**

Graffiti é um termo geral usado para descrever inscrições em muros e fachadas de cidades, uma prática existente desde a antiguidade, indo de uma forma bastante simples de desenhos até escritas elaboradas e representações pictóricas. Atualmente, o termo descreve uma forma de arte de rua dedicada, levantando questões como inclusão sociais, políticas e estéticas. Aqui, nosso principal objetivo é investigar o uso das cores dos *graffiti*, caracterizando quantitativamente sua estrutura cromática para realizar comparações com pinturas tradicionais de museus e fotografias de cenas naturais, que foram obtidas através do uso de câmeras hiperspectrais. Duzentos e vinte e oito fotografias de *graffiti* foram coletadas na cidade de São Paulo, Brasil. Suas cores foram representadas no espaço de cor *CIELAB* e caracterizadas por diversos parâmetros estatísticos. Encontramos que os *graffiti* possuem estrutura cromática similar com as das pinturas tradicionais. De maneira geral, eles usam as mesmas combinações de cores, nas mesmas proporções. Em particular, possuem um *gamut* distribuído de maneira muito similar, com maior distribuição ao longo do eixo azul-amarelo, sugerindo que ambas as formas de pintura mimetizam a distribuição colorimétrica encontrada na natureza. Também tendem a possuir uma área do *gamut* consideravelmente maior, em conta pela maior disponibilidade de novos pigmentos sintéticos, o que resulta numa maior liberdade no uso das cores. Uma análise complementar de *graffiti* de outros países suportam uma generalização global desses achados.

Palavras-chave: estética da cor; estatística da cor; calibração de cor; patrimônio cultural e arte; *graffiti*; imagem espectral; arte de rua.

Este artigo encontra-se publicado como “Feitosa-Santana, C., Gaddi, C. M., Gomes, A. E., & Nascimento, S. M. C. (2020). Art through the Colors of Graffiti: From the Perspective of the Chromatic Structure. *Sensors*, 20(9), 2531. <https://doi.org/10.3390/s20092531>”.



Article

Art through the Colors of Graffiti: From the Perspective of the Chromatic Structure

Claudia Feitosa-Santana ^{5,2,*} , Carlo M. Gaddi ², Andreia E. Gomes ³  and Sérgio M. C. Nascimento ³

- ¹ Neuroscience for Human Development, Rua Dr Homem de Melo, 697/5154, Sao Paulo 05007-001, Brazil
- ² Experimental Psychology Department, University of Sao Paulo, Sao Paulo 05508-220, Brazil; carlogaddi@usp.br
- ³ Centre of Physics, Gualtar Campus, University of Minho, 4710-057 Braga, Portugal; andreia.gomes.ni@gmail.com (A.E.G.); smcn@fisica.uminho.pt (S.M.C.N.)

*Correspondence: claudia@feitosa-santana.com



Received: 28 January 2020; Accepted: 19 April 2020; Published: 29 April 2020

Abstract: Graffiti is a general term that describes inscriptions on a wall, a practice with ancient origins, ranging from simple drawings and writings to elaborate pictorial representations. Nowadays, the term graffiti commonly describes the street art dedicated to wall paintings, which raises complex questions, including sociological, legal, political and aesthetic issues. Here we examine the aesthetics of graffiti colors by quantitatively characterizing and comparing their chromatic structure to that of traditional paintings in museums and natural scenes obtained by hyperspectral imaging. Two hundred twenty-eight photos of graffiti were taken in the city of São Paulo, Brazil. The colors of graffiti were represented in a color space and characterized by several statistical parameters. We found that graffiti have chromatic structures similar to those of traditional paintings, namely their preferred colors, distribution, and balance. In particular, they have color gamuts with the same degree of elongation, revealing a tendency for combining similar colors in the same proportions. Like more traditional artists, the preferred colors are close to the yellow–blue axis of color space, suggesting that graffiti artists' color choices also mimic those of the natural world. Even so, graffiti tend to have larger color gamuts due to the availability of a new generation of synthetic pigments, resulting in a greater freedom in color choice. A complementary analysis of graffiti from other countries supports the global generalization of these findings. By sharing their color structures with those of paintings, graffiti contribute to bringing art to the cities.

Keywords: color aesthetics; color statistics; color calibration; cultural heritage and art; graffiti; spectral imaging; street art

⁵ *Sensors* **2020**, *20*, 2531; doi:10.3390/s20092531

1. Introduction

Graffiti is a mass noun generally used to describe writings or drawings made on walls to be publicly seen, from the ancient inscriptions to the social phenomenon of tagging names in public locations [1,2]. The term has become even more elastic and in recent decades has also been used to refer to a contemporary form of visual art, usually wall paintings, done illegally or commissioned, in public spaces [3]. There is no consensus in the terminology that describes this more art-related meaning, and this type of graffiti is often called graffiti art [4], independent public art [5], or the most known and general term, street art [6]. In this study, we are concerned with the art expression, and the term graffiti will refer to paintings on public walls, either unsanctioned as in some definitions [1] or sanctioned, as many are nowadays [3].

Whether graffiti are art or visual pollution is still debatable [6]. Negative views relate in general to tagging on public locations [7,8]. Positive views relate to their role in bringing art to the urban environment [6,9–12] and wellbeing to its habitants [13–16]. For the scholars, graffiti is considered a new kind of cultural production [11,17] which extrapolates the boundaries of traditional art—“the white cube of the museum”—and makes the city—“the gray cube of the street”—a canvas in an open museum [18]. Moreover, the money involved with the increasing number of famous graffiti artists—e.g., the Banksy canvas “Devolved Parliament” was auctioned for approximately 12 million USD on 3 October, 2019 [19]—and the legal debate about whether the land owner or the graffiti artist owns the graffiti [20,21] clearly express the relevance of graffiti. In any case, its study is now legitimated as a research subject among scholars in the academia [3,22] with dedicated scientific journals such as the *Street Art & Urban Creativity* founded in 2015 [23].

Art, of course, cannot be simply quantified, as it is a complex multidimensional experience [24,25]. It is possible, however, to measure certain properties of artworks, such as the spatial structure [26–29] and the color structure [30–32], and to look for regularities shared by artworks.

The goal of this study was to quantitatively characterize the colors of graffiti and to compare their color structure to that of traditional paintings that are found in museums. We photographed a representative sample of graffiti in different regions of São Paulo, Brazil, with colorimetric precision and analyzed several properties of their color structure. We compared this analysis with a similar analysis of traditional paintings. We found evidence that graffiti and

traditional paintings have several color properties in common, suggesting that graffiti represent what is considered art and, therefore, bring art to the cities.

2. Material and Methods

2.1. Study Area and Image Acquisition

Photos of 245 graffiti of the city of São Paulo, Brazil, were taken in five different zones of the city. Figure 1 shows the locations of these zones on a map of the city as well as some examples of graffiti. From this sample, 17 photos were excluded because of the impossibility to apply the colorimetric calibration due to the non-uniform illumination. Thus, a total of 228 graffiti were analyzed in this study: 26 from the north, 59 from the south, 44 from the east, 44 from the west, and 55 from the center. These photos were taken during the month of October around the middle of the day in order to avoid shade as much as possible. The areas were chosen to represent the diversity of styles, following the advice of local recognized graffiti artists. In each area, the graffiti were photographed in the exact sequence in which they were present in each alley, avoiding subjective aesthetics judgements from the authors of this work. Monochromatic or unevenly illuminated graffiti were not considered.

The camera was a Nikon D7000 with a resolution of 4928×3264 pixels, and the optical conditions were such that the average resolution of the system was about 0.5 mm per pixel. An X-Rite Macbeth ColorChecker Classic with 24 samples was included in the field of view of each photo as shown in Figure 2. The ColorChecker was used for calibration purposes, for both colorimetric calibration and spatial scaling. For colorimetric calibration, the spectral irradiance on the color chart was measured immediately before taking the photo with a portable spectroradiometer Everfine SPIC-200, in the spectral range from 380 to 760 nm.



Figure 1. Left: red dots indicate the areas within the five zones of the city of São Paulo where the photos of the graffiti were taken. In total, 228 photos were analyzed in the study: 26 from the north, 59 from the south, 44 from the east, 44 from the west, and 55 from the center. The areas were chosen to represent the diversity of styles and selected under the advice of local recognized graffiti artists. Right: two examples of graffiti in our sample.

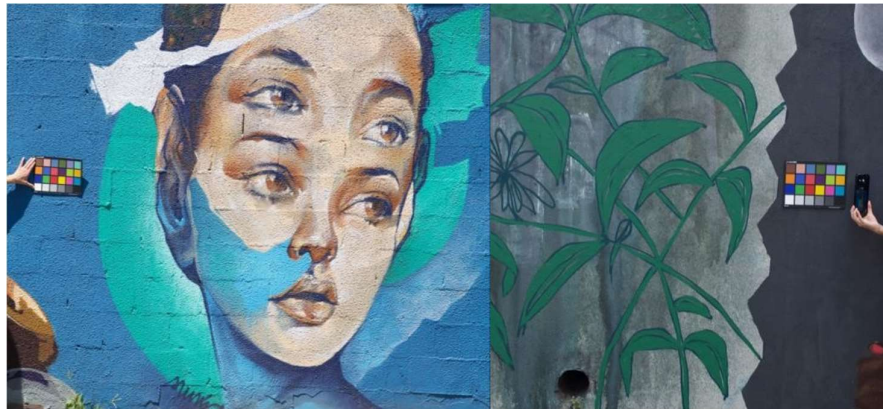


Figure 2. Illustration of the procedure of image acquisition. Left: acquiring the image with the X-Rite Macbeth ColorChecker Classic included in the field of view of the photo for colorimetric calibration and spatial scaling purposes. Right: acquisition of the illumination spectrum on the color chart with a portable spectro-colorimeter Everfine SPIC-200 for colorimetric calibration (the moment right before the photo).

2.2. Colorimetric Calibration of the Photos

Images were converted from raw camera NEF format to DNG and then converted to sRGB (standard RGB). For the colorimetric calibration, the spectral reflectance of the samples of the color checker were measured in the laboratory with a spectrophotometer Minolta CM 2600d (Konica Minolta Co. Lda., Japan) and used to obtain the exact colors of the patches of the color checker under each local illumination measure at the time of image acquisition for each photo. These data were then used to correct the sRGB data from the camera for each photo

using a polynomial regression with least squares fitting with a three-term polynomial [33,34]. The average color error across all 228 photos of the color chart was 6.3 ΔE units before the colorimetric correction. This value was obtained by computing the real colors of the 24 samples of the color chart and comparing with the ones obtained from the camera. After the colorimetric correction, this value was reduced to 4.0 ΔE units, a number that is just a little above the visual limit of 2.2 ΔE to perceive color changes in complex images [35,36].

The corrected colors of each pixel were represented in the CIELAB color space [37,38]. We selected this color space because it is a perceptual space, i.e., it represents perceptions rather than physical variables, and because it is reasonably uniform in the sense that has the same metric across all space. Figure 3A illustrates the three dimensions of this color space: L^* , lightness; a^* , red–green dimension; and b^* , yellow–blue dimension. Figure 3B,C illustrates the representation of the color gamut of two graffiti represented in the (a^*, b^*) plane of the color space. In this work we were not concerned with lightness, the L^* component, but were solely concerned with the chromatic dimensions defined in the plane (a^*, b^*) .

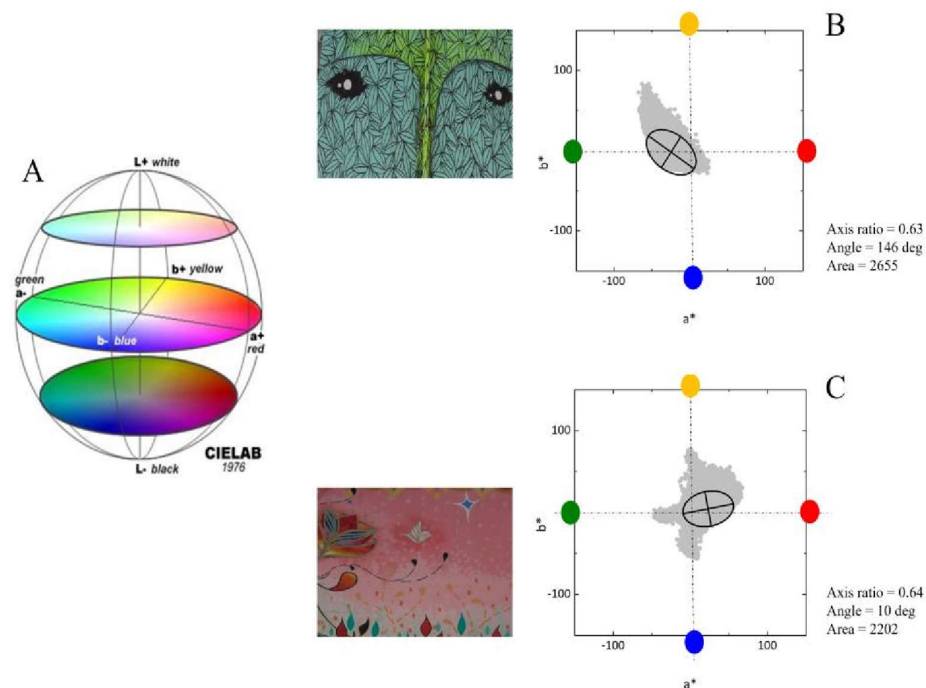


Figure 3. (A) The color space CIELAB. (B,C) The representation of the color gamut of two examples of graffiti in the color plane of the color space. The color of each direction—red, green, yellow and blue—is indicated in the graphs. The upper graffiti (B) has more greens and yellows, and the lower graffiti (C) has more reds, properties that define how the color gamut is represented in the color space. To characterize the geometry of the color gamut with few parameters we fitted ellipses to the gamut such that the major and minor axes were aligned with the principal directions. The axes sizes were twice the standard deviation. The axis ratio was the result of the minor divided by the major axis. The angle was defined between the major axis and the positive a^* axis. The area is proportional to the number of colors in the graffiti.

To characterize the structure and geometry of the color gamut with few parameters we computed the directions of the principal components [39,40] and, for visualization purposes, represented ellipses such that the major and minor axes were aligned with these directions and were twice the corresponding standard deviations. These ellipses capture the variability of the colors across the two principal directions in the color space. They take into account not only the extent of the gamut but also the distribution of the colors within the gamut. On average, across all graffiti, these ellipses contain about 80% of all colors of the gamut as a consequence of the fact that the axes are twice the standard deviations. Figure 3B,C illustrates the ellipses corresponding to the gamuts of two graffiti. Note that the directions of the principal components reflect both the extent of the colors in the color plane and their frequency of occurrence. The degree of elongation of the ellipse can be quantified by the axis ratio, the ratio of the minor axis to the major axis, and captures the balance between the colors in the gamut. In the examples shown, axis ratios are around 0.6, showing a moderate degree of elongation. The range of more abundant colors can be captured by the angle of the major axis with the positive a^* axis. A red–green variation is expressed by angles around 180° (or 0°), and a yellow–blue variation is expressed by angles around 90° (or 270°).

2.3. Comparison with Traditional Paintings

The data obtained from the analysis of graffiti were compared with similar data obtained from hyperspectral imaging of paintings. The 44 paintings were from several epochs, from the Renaissance to the mid 20th century. They encompassed several styles, from figurative to abstract, and were from both famous and anonymous artists. They were digitalized by a hyperspectral imaging system in the spectral range 400 to 720 nm with a resolution of 10 nm. The spatial resolution was 1344×1024 pixels and the conditions of acquisition produced a resolution about 0.3 min visual angle per pixel, close to that of the human eye. Details about the paintings and digitalization methodology are described elsewhere [30,31,41]. The spectral reflectance of each pixel was estimated, and the corresponding spectral radiance was obtained assuming the standard illuminant D65. The corresponding color was then computed and expressed in the CIELAB color space following the same procedure as for graffiti.

2.4. Spatial Calibration

The colors perceived by an observer viewing a graffiti or a painting depend on the distance of observation. For small distances, the eye can resolve the details and see their colors clearly. For large distances, the eye cannot resolve the spatial details so well, causing the colors to mix additively and less colors to be perceived. The colors that are computed here are valid up to the distance where the visual system stops resolving the individual pixels of the images: about 1.5 m for graffiti and 1.8 m for paintings. These distances correspond to the distance where the angular sizes of the pixels match 1 min of arc, the normal visual acuity.

3. Results

The colors of daylight illumination when taking the photos of graffiti are represented in Figure 4 in the chromaticity diagram 1931 CIE (x , y) by blue symbols. The line represents the Planckian locus, i.e., the colors of a blackbody with different temperatures, from deep red at low temperatures to bluish white at very high temperatures. The colors of the illumination on graffiti span a considerable range of color temperature corresponding roughly from 5000 K to 10,000 K, expressing different mixtures of skylight and sunlight. The colors of graffiti were computed assuming the illuminants at the time of photos. The colors of traditional paintings and pigments considered in the text below were computed assuming the standard illuminant D_{65} , but computations with the illuminants obtained from the graffiti are not shown as they did not show any important change.

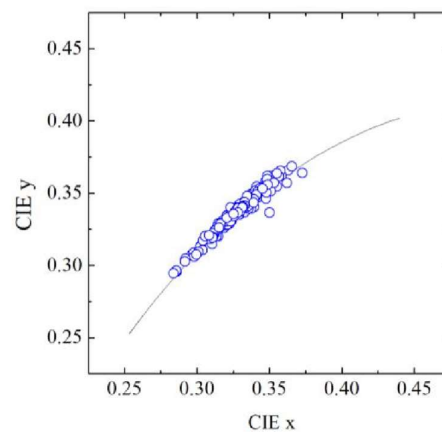


Figure 4. Color of the illumination measured when taking the photos of graffiti (blue symbols). The black line represents the Planckian locus, i.e., the colors of a blackbody with different temperatures, from deep red at low temperatures to bluish white at very high temperatures. The colors of the

illumination on graffiti span a considerable range of color temperature corresponding roughly from 5000 K to 10,000 K, expressing different mixtures of skylight and sunlight.

Figure 5 shows the color gamut obtained from the analysis of the 228 graffiti (blue) and the 44 paintings (red). The gamut of graffiti is considerably larger than that of paintings, showing more intense or saturated colors. To understand the reason for these differences, we collected 150 color samples of pigments used in graffiti and we compared them to the color samples of 54 historical pigments commonly used in paintings retrieved from a database [42]. The color samples of the pigments used for graffiti were obtained by painting small pieces of cardboard with the paint directly from the tin or spray being used by the artists in the streets. These samples were then digitalized by hyperspectral imaging in the laboratory in the same way as the traditional paintings (see Section 2), and their spectral properties were estimated. The spectral properties of the historical pigments used in paintings were obtained with fiber optics reflectance spectroscopy (FORS), a precise spectral technique used in the field of cultural heritage.

Figure 5B shows the colors of graffiti paints, and Figure 5C shows the colors of historical pigments. These colors were computed assuming standard illuminant D65 (as mentioned above, the colors were computed assuming the illuminants measures at the time of image acquisition of graffiti were similar because the CIELAB color space is lowly sensitive to changes in illumination, just like the human eye). Graffiti pigments can be more saturated than historical pigments, explaining the differences in gamut sizes. They are made with contemporary artificial pigments that can be more saturated than those used in our sample of paintings, which ends in the mid 20th century. The palette of contemporary pigments includes new synthetic pigments which can be more permanent and saturated [43]; therefore, if we were analyzing contemporary paintings the gamut sizes obtained would certainly be larger.

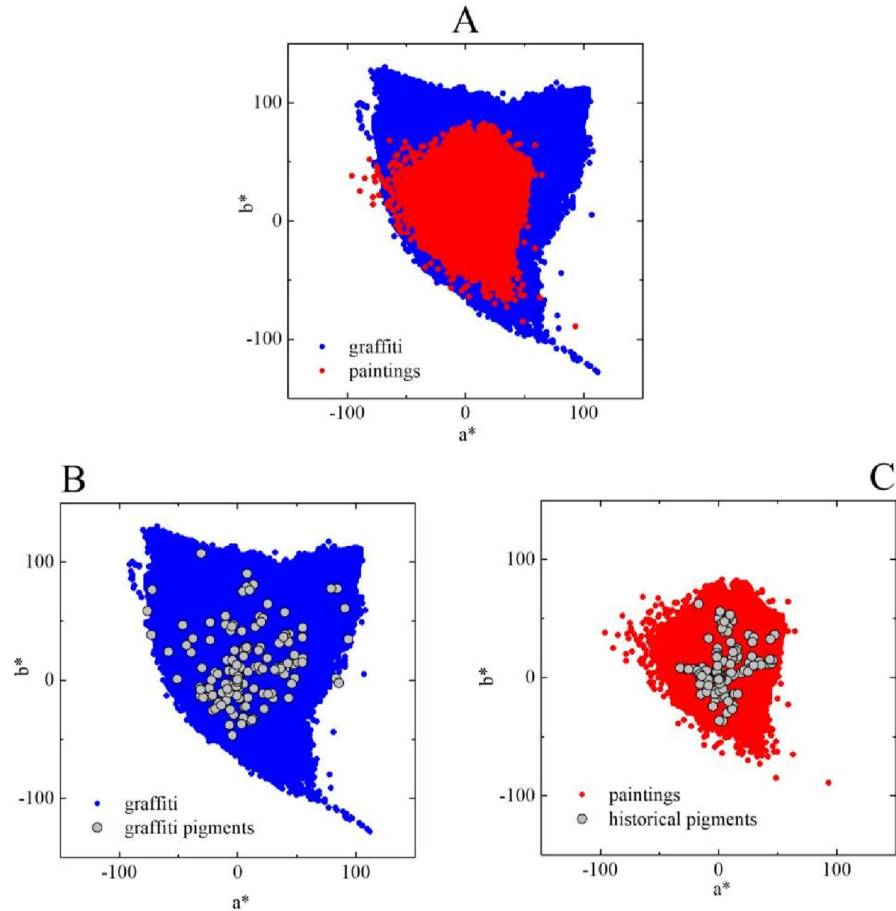


Figure 5. (A) Full color gamut obtained from the analysis of 228 graffiti (blue) and 44 paintings (red). (B) Gray circles in represent the colors of 150 samples of pigments used in graffiti. (C) Gray circles represent the colors of 54 historical pigments commonly used in paintings. The colors of the both types of pigments were obtained assuming standard illuminant D_{65} . Graffiti show more saturated colors due to the new generation of artificial pigments.

To look at the gamut of individual graffiti and paintings, the size of the color gamuts, i.e., the area occupied by the colors in the color space, was also computed. Figure 6 represents the distribution of these areas. These areas are a measure of the number of colors that can be seen in each graffiti or painting at viewing distances close to the resolution of the human eye, e.g., of about 1.5 m for the graffiti and about 1.8 m for paintings (see Section 2). For illustration purposes, two examples are shown for the graffiti, one with a small area showing a reduced number of colors and one with a large area showing a considerably greater diversity of colors. The average areas are 6.2×10^3 for graffiti and 3.4×10^3 for paintings. Thus, graffiti represent considerably more colors, which translate into the perception of greater chromatic richness.

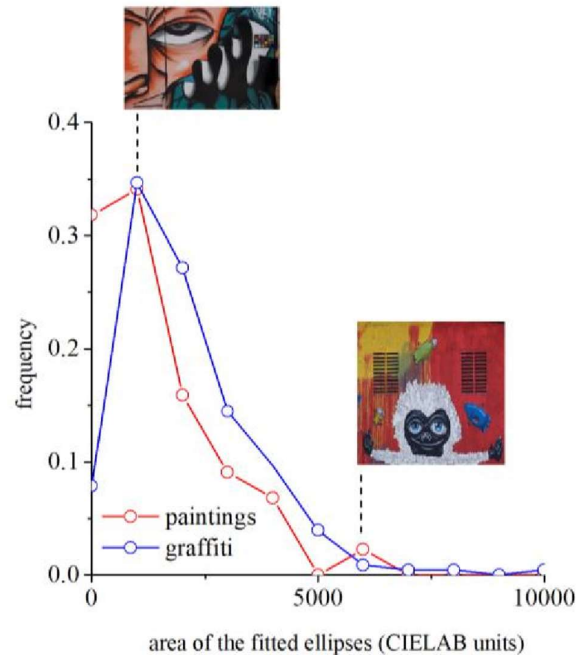


Figure 6. Distribution of the areas of gamuts of the 228 graffiti and 44 paintings expressed in CIELAB units. These areas are a measure of the number of colors that can be seen in each graffiti or painting. As illustration, two examples are shown for the graffiti: one with small area showing a reduced number of colors and one with a large area showing a considerable diversity of colors. The average areas are 6.2×10^3 for graffiti and 3.4×10^3 for paintings. These calculations apply for viewing distance close to the resolution of the human eye, e.g., of about 1.5 m for the graffiti and about 1.8 m for paintings. Graffiti represent more colors than paintings, which translate in the perception of greater chromatic richness.

The variability of colors across the gamut was quantified by the axis aligned along the principal directions of the colors of the gamut. The axes sizes were proportional to the standard deviation. The axis ratio between minor and major axes gives information about how elongated the gamut is. Thus, values close to one represent gamuts uniformly spread in the color space, whereas values close to zero represent gamuts elongated in a specific direction. Figure 7 shows the distributions of axis ratios for graffiti and paintings. Circles represent data points, and lines represent Gaussian fits to the data. Both samples can be well-described by Gaussians that have maxima in similar values, 0.57 for graffiti and 0.61 for paintings. Thus, graffiti and paintings have gamuts with similar elongations, which translates into similar perceptual balance across perpendicular directions in color space.

The orientation of the gamut in the color space was characterized by the angle of the major axis with the positive a^* axis (see Figure 3 for examples). Figure 8 shows the distributions of these angles for graffiti and paintings. This quantity captures the type of colors that shows greater variability. Circles represent data points and lines represent Gaussian fits to the data. The maximum of the Gaussian distribution for graffiti is 66° and for paintings is 64° . The greater variability is in a yellow–blue direction of color space both for graffiti and paintings. For

illustration purposes, three examples are shown for the graffiti. The spread of the distribution of angles for graffiti is wider than for paintings, suggesting more freedom in the use of colors.

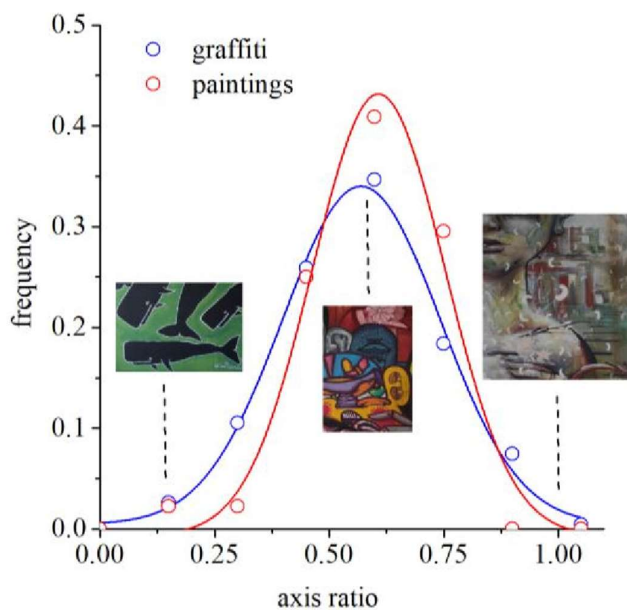


Figure 7. Distributions of axis ratios for graffiti and paintings. This quantity captures the elongation of the color gamut and is obtained from the ratio of the principal directions of variability. Circles represent data points, and lines represent Gaussian fits to the data. The maximum of the Gaussian distribution for graffiti is 0.57 and for paintings is 0.61. As illustration, three examples are shown for the graffiti. The degree of elongation of the gamut is very similar for graffiti and paintings.

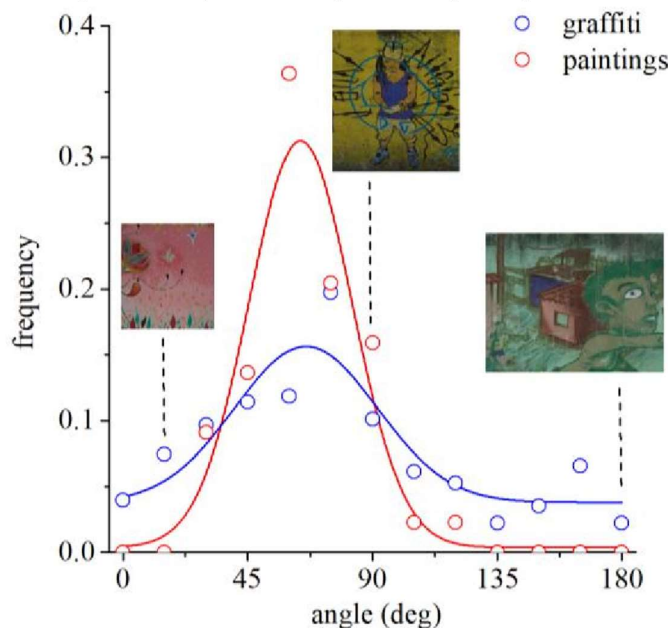


Figure 8. Distributions of the angle of the major axis (first principal direction) with the positive a^* axis for graffiti and paintings. This quantity captures the type of colors that show greater variability. Circles represent data points, and lines represent Gaussian fits to the data. The maximum of the Gaussian distribution for graffiti is 66° and for paintings is 64° . As illustration, three examples are shown for the graffiti. The greater variability is in a yellow–blue direction of color space both for graffiti and paintings.

The frequency of occurrence of each color was computed to compare the color distribution between paintings and graffiti. For this analysis, the bin size was 1 unit in CIELAB, i.e., colors are the same if they are less than 1 unit apart. Figure 9 shows the results of this analysis: panels A and B show the contour lines of the frequency of occurrence of the colors in paintings and graffiti, respectively; panels C and D represent the a^* and b^* histograms for paintings and graffiti, respectively. These data show that the colors in graffiti are used more isotropically than in paintings, i.e., the color distribution of graffiti is consistent with the fact that the corresponding gamut orientations are more spread out (Figure 9B,D), as also shown in Figure 8, while for paintings they are more pronounced on the b^* axis (Figure 9A,C).

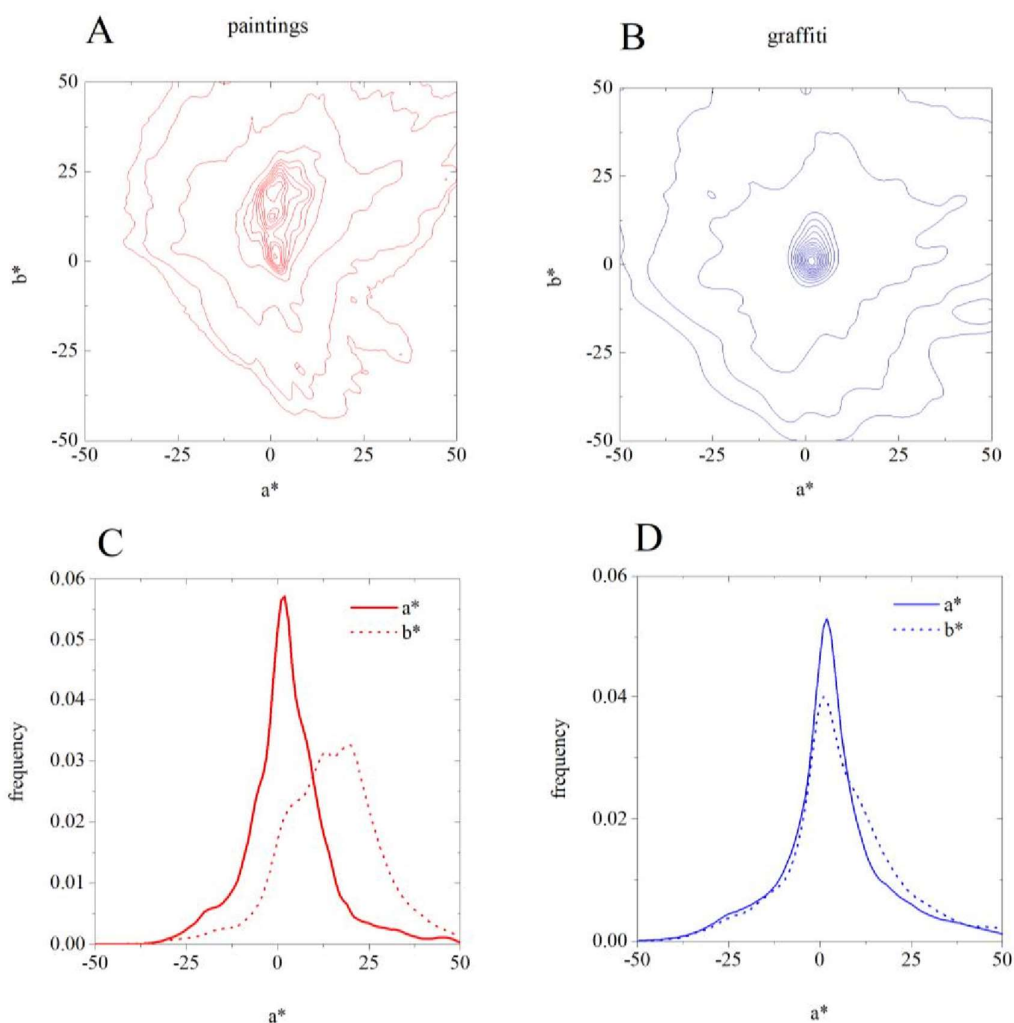


Figure 9. Distribution of the colors in paintings (A,C) and graffiti (B,D). Upper panel: contour lines of the frequency of occurrence of the colors in paintings (A) and graffiti (B). Lower panel: histograms for a^* and b^* for paintings (C) and graffiti (D).

4. Discussion

We show here that graffiti artists and more traditional artists use colors in very similar ways. They produce similar colors in their compositions, expressed by the same balance and variability across perpendicular directions in the color space. In other words, the color gamuts of paintings and graffiti (see Figure 5) are similarly elongated (see the axis ratio in Figure 7 representing the balance) and oriented (see the angle in Figure 8 representing the direction of variability), showing a tendency for combining similar colors in the same proportions. Taken together, these facts suggest that, in terms of color structure, graffiti is comparable to paintings and thus is also an art expression.

There are, however, differences between graffiti and paintings. Graffiti display a greater diversity of colors, and the colors are more intense (see Figure 5 for the color gamut sizes of both graffiti and paintings). In other words, the colors are more saturated because graffiti artists are taking advantage of the new generation of artificial pigments available nowadays. Therefore, in graffiti, the gamut areas are larger (see Figure 6) and the orientations of the gamuts are more spread out, revealing a less tuned selection of the preferred colors (see Figure 8) and suggesting that graffiti artists have more freedom in color choices.

The chromatic structure of graffiti also carries regularities of the natural world. It was shown that paintings share a number of visual properties with natural scenes, particularly in terms of some color statistics [30]. Thus, it is probable that painters mimic, to a certain extent, the natural structure of the world, even in abstract artworks. Similarly to paintings, graffiti show a tendency to contain colors close to the yellow–blue axis (see Figures 5 and 8), which are a characteristic of the natural environment [44,45], suggesting that graffiti artists' color choices also mimic those of the natural world. In addition, the full color gamut of graffiti (see Figure 5) is very similar to that of natural scenes, even more than the traditional paintings [30], suggesting that graffiti is also bringing nature into the city.

This work is based on the analysis of a collection of graffiti from São Paulo, Brazil. This city is considered one of the major cities for street art [5] but still represents a limited sample. To estimate the extent to which these graffiti can be considered a representative sample of the graffiti production worldwide, we analyzed 434 photos download from google.com of graffiti from other major cities ranked as best graffiti cities in the world [46–50]: Berlin, Bogota, and Paris (listed in all five rankings); LA, London, Melbourne, and NYC (listed in four out of the five rankings). We analyzed their colors in the same way as described here but without

colorimetric calibration. The results support the generalization claimed in this study as the same trends were revealed. A similar exercise was carried out with paintings. We selected 500 paintings of different epochs, painters and styles from a public database [51] and did the same analysis, also without colorimetric calibration. Again, the results were very similar, supporting the notion that our sample is representative of traditional paintings as well as of graffiti worldwide.

Graffiti have chromatic structures similar to those of paintings, revealing a tendency for combining similar colors in the same proportions. The preferred colors are also close to the same yellow–blue axis of color space, suggesting that, like more traditional artists, graffiti artists' color choices mimic those of the natural environments. Even so, graffiti tend to have more saturated colors due to the availability of a new generation of synthetic pigments, resulting in a broader distribution of chromatic parameters than that of paintings and suggesting greater freedom in the choice of colors. In summary, by sharing their color structures with those of paintings, graffiti contribute to bringing art to the cities.

Author Contributions: Conceptualization, C.F.-S. and S.M.C.N.; Data curation, C.F.-S. and S.M.C.N.; Formal analysis, C.F.-S. and S.M.C.N.; Investigation, C.F.-S., C.M.G., A.E.G. and S.M.C.N.; Methodology, C.F.-S. and S.M.C.N.; Writing—original draft, C.F.-S. and S.M.C.N.; Writing—review & editing, C.F.-S., C.M.G., A.E.G. and S.M.C.N. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported by Fundação CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) to Carlo M. Gaddi (88882.376512/2019-01), and the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) in the framework of the Strategic Funding UID/FIS/04650/2019.

Acknowledgments: We thank Dora Fix Ventura and Balázs Vince Nagy for advice about data collection. We thank Juliana Iwashita and the Exper Solutions for the use of the spectrophotometer Everfine SPIC-200. We are also grateful to the graffiti artists Claudia Tostes, Enivo, Mauro Neri, Wellington Neri-Tim, the collective Imargem (Caio), São Miguel (Henrique), and Pimp My Carroça (Bea) for advice on graffiti and paint samples.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interests.

References

1. Wells, C.F.; Morris, W. *The American Heritage Dictionary of the English Language*, 15th ed.; Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company: Boston, MA, USA, 1970.
2. Lexico. *Lexico Dictionary*; Oxford University Press: Oxford, UK, 2019.
3. Ross, J.I.; Bengtsen, P.; Lennon, J.F.; Phillips, S.; Wilson, J.Z. In search of academic legitimacy: The current state of scholarship on graffiti and street art. *Soc. Sci. J.* **2017**, *54*, 411–419. [CrossRef]
4. Gartus, A.; Klemer, N.; Leder, H. The effects of visual context and individual differences on perception and evaluation of modern art and graffiti art. *Acta Psychol.* **2015**, *156*, 64–76. [CrossRef] [PubMed]
5. Schacter, R. *The World Atlas of Street Art and Graffiti*; Yale University Press: New Haven, CT, USA, 2013; Available online: <https://yalebooks.yale.edu/book/9780300199420/world-atlas-street-art-and-graffiti> (accessed on 24 April 2020).
6. Müller, A.-L. Voices in the city. On the role of arts, artists and urban space for a just city. *Cities* **2019**, *91*, 49–57. [CrossRef]
7. Grzimek, B. Galapagos Graffiti. *Science* **1973**, *180*, 1232. [CrossRef]
8. Veitch, J.; Salmon, J.; Deforche, B.; Ghekiere, A.; Van Cauwenberg, J.; Bangay, S.; Timperio, A. Park attributes that encourage park visitation among adolescents: A conjoint analysis. *Landsc. Urban Plan.* **2017**, *161*, 52–58. [CrossRef]
9. Dickens, L. Pictures on walls? Producing, pricing and collecting the street art screen print. *City* **2010**, *14*, 63–81. [CrossRef]
10. Halsey, M.; Young, A. The Meanings of Graffiti and Municipal Administration. *Aust. N. Z. J. Criminol.* **2002**, *35*, 165–186. [CrossRef]
11. Zebracki, M. Regenerating a coastal town through art: Dismaland and the (l) imitations of antagonistic art practice in the city. *Cities* **2018**, *77*, 21–32. [CrossRef]
12. Guinard, P.; Margier, A. Art as a new urban norm: Between normalization of the City through art and normalization of art through the City in Montreal and Johannesburg. *Cities* **2018**, *77*, 13–20. [CrossRef]
13. Primrose, C.W. Street art for promoting health in communities in the West. *BMJ* **2017**, *359*, 4884. [CrossRef]

14. Factor, S.H.; Galea, S.; de Duenas Geli, L.G.; Saynisch, M.; Blumenthal, S.; Canales, E.; Poulson, M.; Foley, M.; Vlahov, D. Development of a “Survival” Guide for Substance Users in Harlem, New York City. *Health Educ. Behav.* **2002**, *29*, 312–325. [CrossRef] [PubMed]
15. Hicks, B.; Carroll, D.; Shanker, S.; El-Zeind, A. ‘Well I’m still the Diva!’ Enabling people with dementia to express their identity through graffiti arts: Innovative practice. *Dementia* **2019**, *18*, 814–820. [CrossRef] [PubMed]
16. Tarun, S.; Arora, M.; Rawal, T.; Neelon, S.E.B. An evaluation of outdoor school environments to promote physical activity in Delhi, India. *BMC Public Health* **2017**, *17*, 11. [CrossRef]
17. Austin, J. More to see than a canvas in a white cube: For an art in the streets. *City* **2010**, *14*, 33–47. [CrossRef]
18. Gartus, A.; Leder, H. The white cube of the museum versus the gray cube of the street: The role of context in aesthetic evaluations. *Psychol. Aesthet. Creat Arts* **2014**, *8*, 311–320. [CrossRef]
19. Sotheby’s. AuctionofBanksyDevolvedParliament. Availableonline: <https://www.sothebys.com/en/auctions/ecatalogue/2019/contemporary-art-evening-auction-119024/lot.28.html> (accessed on 6 October 2019).
20. Salib, P. The Law of Banksy: Who Owns Street Art? *Univ. Chic. Law Rev.* **2016**, *83*, 2293–2328.
21. Pidd, H. Berlin Wall Artists Sue City in Copyright Controversy. *The Guardian*, 3 May 2011. Available online: <https://www.theguardian.com/world/2011/may/03/berlin-wall-artists-sue-city> (accessed on 8 January 2020).
22. Ten Eyck, T.A. Justifying graffiti: (Re) defining societal codes through orders of worth. *Soc. Sci. J.* **2016**, *53*, 218–225. [CrossRef]
23. Street Art & Urban Creativity. Available online: <https://www.urbancreativity.org/sauc.html> (accessed on 24 April 2020).
24. Conway, B.R.; Livingstone, M.S. Perspectives on science and art. *Curr. Opin. Neurobiol.* **2007**, *17*, 476–482. [CrossRef]
25. Conway, B.R.; Rehding, A. Neuroaesthetics and the Trouble with Beauty. *PLoS Biol.* **2013**, *11*, 1001504. [CrossRef]
26. Graham, D.J.; Field, D.J. Statistical regularities of art images and natural scenes: Spectra, sparseness and nonlinearities. *Spat. Vis.* **2007**, *21*, 149–164. [CrossRef]

27. Graham, D.J.; Redies, C. Statistical regularities in art: Relations with visual coding and perception. *Vis. Res.* **2010**, *50*, 1503–1509. [CrossRef] [PubMed]
28. Taylor, R.P.; Micolich, A.P.; Jonas, D. Fractal analysis of Pollock's drip paintings. *Nature* **1999**, *399*, 422. [CrossRef]
29. Hughes, J.M.; Graham, D.J.; Rockmore, D.N. Quantification of artistic style through sparse coding analysis in the drawings of Pieter Bruegel the Elder. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2010**, *107*, 1279–1283. [CrossRef] [PubMed]
30. Montagner, C.; Linhares, J.M.; Vilarigues, M.; Nascimento, S.M. Statistics of colors in paintings and natural scenes. *J. Opt. Soc. Am. A* **2016**, *33*, 170–177. [CrossRef] [PubMed]
31. Montagner, C.; Linhares, J.M.; Vilarigues, M.; Melo, M.J.; Nascimento, S.M. Supporting history of art with colorimetry: The paintings of Amadeo de Souza-Cardoso. *Color Res. Appl.* **2018**, *43*, 304–310. [CrossRef]
32. Kim, D.; Son, S.-W.; Jeong, H. Large-Scale Quantitative Analysis of Painting Arts. *Sci. Rep.* **2015**, *4*, 7370. [CrossRef]
33. Hong, G.; Luo, M.R.; Rhodes, P.A. A study of digital camera colorimetric characterization based on polynomial modeling. *Color Res. Appl.* **2001**, *26*, 76–84. [CrossRef]
34. Johnson, T. Methods for characterizing colour scanners and digital cameras. *Displays* **1996**, *16*, 183–191. [CrossRef]
35. Aldaba, M.A.; Linhares, J.M.; Pinto, P.D.; Nascimento, S.M.; Amano, K.; Foster, D.H. Visual sensitivity to color errors in images of natural scenes. *Vis. Neurosci.* **2006**, *23*, 555–559. [CrossRef]
36. Liu, H.; Huang, M.; Cui, G.; Luo, M.R.; Melgosa, M. Color-difference evaluation for digital images using a categorical judgment method. *J. Opt. Soc. Am. A* **2013**, *30*, 616–626. [CrossRef]
37. CIE. *Colorimetry: Official Recommendations of the International Commission on Illumination (CIE)*, 1st ed.; Bureau Central del la CIE: Paris, France, 1971. Available online: https://books.google.pt/books/about/Colorimetry.html?id=t-MbrgEACAAJ&redir_esc=y (accessed on 24 April 2020).
38. CIE. *Colorimetry CIE 15:2004*, 3rd ed.; CIE: Paris, France, 2004; Available online: <http://cie.co.at/publications/colorimetry-3rd-edition> (accessed on 24 April 2020).
39. Jolliffe, I.T. Principal Component Analysis and Factor Analysis. In *Principal Component Analysis*; Springer: New York, NY, USA, 2002; pp. 115–128.

40. Tzeng, D.Y.; Berns, R.S. A review of principal component analysis and its applications to color technology. *Color Res. Appl.* **2005**, *30*, 84–98. [CrossRef]
41. Pinto, P.D.; Linhares, J.M.M.; Nascimento, S.M.C. Correlated color temperature preferred by observers for illumination of artistic paintings. *J. Opt. Soc. Am. A* **2008**, *25*, 623–630. [CrossRef]
42. Cosentino, A. FORS Spectral Database of Historical Pigments in Different Binders. *E Conserv. J.* **2014**, 54–65. [CrossRef]
43. Barnett, J.R.; Miller, S.; Pearce, E. Colour and art: A brief history of pigments. *Opt. Laser Technol.* **2006**, *38*, 445–453. [CrossRef]
44. Internetster, M.A.; Mollon, J.D. Adaptation and the color statistics of natural images. *Vis. Res.* **1997**, *37*, 3283–3298. [CrossRef]
45. Linhares, J.M.M.; Pinto, P.D.; Nascimento, S.M.C. The number of discernible colors in natural scenes. *J. Opt. Soc. Am. A* **2008**, *25*, 2918–2924. [CrossRef]
46. 10 Best Cities in the World for Graffiti. Available online: <https://www.trip.me/blog/10-best-cities-worldgraffiti-tours/> (accessed on 3 March 2019).
47. Top 99 Cities for Graffiti Art. Available online: <https://www.bombingscience.com/top-99-cities-for-graffiti-art/> (accessed on 3 March 2019).
48. Top 10 Cities with Great Graffiti. Available online: <https://www.pandotrip.com/top-10-cities-with-greatgraffiti-21890/> (accessed on 3 March 2019).
49. 20 of the Best Cities to See Street Art. Available online: <http://earthporm.com/20-best-cities-see-street-art/> (accessed on 3 March 2019).
50. The 26 Best Cities in the World to See Street Art. Available online: https://www.huffpost.com/entry/beststreet-art-cities_n_5155653 (accessed on 3 March 2019).
51. Krén, E.; Marx, D. Internet Gallery of Art. Available online: <https://www.wga.hu/> (accessed on 21 October 2019).

© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



CAPÍTULO 7

**PREFERÊNCIA DA ESTRUTURA CROMÁTICA DOS *GRAFFITI* URBANOS DO
MUNICÍPIO DE SÃO PAULO**

Resumo

Estudos recentes parecem indicar que os artistas usam as cores de maneira similar com as encontradas na natureza, e que essas proporções colorimétricas são normalmente preferidas. Um teste psicofísico 2AFC foi realizado na internet, utilizando quatro fotografias de *graffiti* do município de São Paulo, Brasil, que tiveram suas distribuições colorimétricas previamente analisadas. Cada *graffiti* teve seu ângulo do *gamut* rotacionado no espaço de cor *CIELAB* em intervalos de 40°, num total de sete condições colorimétricas, incluindo a original. Essa modificação permite alterar as cores preservando as mesmas proporções, saturação e brilho. Cento e oitenta e nove voluntários (idade média = 24; DP = 1,6) concluíram o procedimento. A Lei do Julgamento Comparativo foi aplicada para a construção da escala intervalar de cada um dos *graffiti*. Os resultados parecem generalizar estudos anteriores, revelando que a composição colorimétrica original é a mais preferida. O efeito também foi observado em *graffiti* em que a distribuição colorimétrica original não é próxima da natureza, e que os artistas usam o melhor balanço de cor para cada composição específica.

Palavras-chave: estética experimental; visão de cor; preferência de cor; *graffiti*; Lei do Julgamento Comparativo.

Preference for the chromatic structure of urban graffiti in the city of São Paulo**Abstract**

Recent studies seem to indicate that artists use colors similar to those found in nature, and that these colorimetric proportions are usually preferred. A 2AFC psychophysical test was carried out on the internet, using four photographs of graffiti in the city of São Paulo, Brazil, which had their colorimetric distributions previously analyzed. Each graffiti had its gamut angle rotated in the CIELAB color space at 40° intervals, in a total of seven colorimetric conditions, including the original. This modification allowed changing the colors while preserving the same proportions, saturation, and brightness. One hundred and eighty-nine volunteers (mean age = 24; SD = 1.6) completed the procedure. The Law of Comparative Judgment was applied to build the interval scale of each graffiti. The results seem to generalize previous studies, revealing that the original colorimetric composition is the most preferred. The effect was also observed in graffiti where the original colorimetric distribution is not close to nature, revealing that artists use the best color balance for each specific composition.

Keywords: experimental aesthetics; color vision; color preference; *graffiti*; Law of Comparative Judgment.

Uma hipótese que vem sendo levantada é de que a preferência estética seria dependente de alguma forma à extensão em que as pinturas mimetizam determinados atributos de cenas naturais (Graham & Redies, 2010). Esse modelo universal vai ao encontro de que todos os seres humanos compartilham, ao menos em parte, um mesmo conceito de julgamento para preferência visual, implicando que a experiência estética, assim como a codificação de um estímulo proveniente de uma cena natural, dependerá em certo grau da forma do objeto, e não apenas seu conteúdo (Geisler, 2008; Redies, 2008; Simoncelli & Olshausen, 2001;).

Diversas relações entre contraste e luminância foram encontradas e modeladas de acordo com a hipótese da codificação eficiente, possibilitando prever até o nível de desconforto para uma grande variedade de imagens, revelando que esses desconfortos estão claramente associados com alguns padrões que são raramente encontrados na natureza (Ogawa & Motoyoshi, 2020; Penacchio & Wilkins, 2015). Também parece ocorrer para a cor, que também possui importante papel na experiência estética. O desconforto visual cromático parece surgir quando existem diferenças muito grandes de cromaticidades, especialmente quando os estímulos são raramente encontrados na natureza (Penacchio et al., 2021).

Estudos quantitativos do uso das cores em pinturas de diferentes épocas e estilos (Feitosa-Santana et al., 2020; Montagner et al., 2016; Romero et al., 2018) parecem indicar que os artistas usam uma variedade limitada das possíveis combinações colorimétricas. Mesmo que de forma inconsciente, os diferentes estilos artísticos mimetizam diversas regularidades geralmente encontrados na natureza, mesmo para aqueles com acesso a um número muito maior de pigmentos e maior liberdade estilística nas composições. A similaridade sugere uma tendência parcialmente inata de usar as cores de forma naturalista.

Para entender melhor o papel da cor na apreciação estética de obras de arte, é possível medir a preferência relativa individual dos observadores em função de alguma mudança colorimétrica específica, realizada sistematicamente (Palmer et al., 2013). Para tal, pesquisadores realizaram uma série de testes psicofísicos onde os participantes poderiam manipular o ângulo de orientação do *gamut* e escolher a combinação preferida. Os resultados indicaram uma tendência sistemática em preferir o ângulo original (Nascimento et al., 2017). Foi verificada a preferência para diferentes composições colorimétricas de pinturas abstratas, figurativas e fotografias de paisagens rurais e urbanas (Albers et al., 2020; Nascimento et al., 2021). Os pesquisadores aplicaram distorções espaciais específicas, isolando o conteúdo semântico e impedindo que o participante reconhecesse quaisquer elementos figurativos das pinturas. A tendência em preferir a composição colorimétrica mais naturalista também se

manteve, e embora o efeito tivesse sido mais fraco, ficou evidente que a cor induz um papel independente no julgamento de preferência estética (uma revisão sobre o assunto pode ser conferida no **capítulo 5**)

O presente estudo tem como objetivo verificar se a preferência pelo ângulo do *gamut* está de acordo com a hipótese da naturalidade estética (Graham & Redies, 2010) para os *graffiti* urbanos de São Paulo, Brasil (**capítulo 6** – Feitosa-Santana et al., 2020). O estilo artístico é menos formal, onde se supõe maior liberdade no uso das cores. De fato, os resultados da análise colorimétrica revelaram que o espalhamento da curva do eixo de orientação do *gamut* é maior do que em pinturas tradicionais, o que significa maior variabilidade na combinação das cores. Uma área maior no *gamut* também foi encontrada, justificada pela disponibilidade de uma maior gama de pigmentos sintéticos.

O estudo também pretende contribuir para o debate existente sobre os *graffiti* nos espaços urbanos como forma de arte livre, e suas potencialidades para a contribuição em diversos fatores positivos para o bem-estar da população em grandes cidades (Müller, 2019; Guinard & Margier, 2018).

Método

Sujeitos

Duzentos e oito participantes realizaram o teste pela internet durante o primeiro semestre de 2021. Dezesete foram removidos da análise por não completarem a tarefa corretamente (realizando julgamento apenas em um lado da tela) e dois foram removidos por se declararem dicromáticos. Todos os participantes eram de língua nativa Portuguesa. O link de acesso para o experimento foi publicado no Portal da Universidade de São Paulo, enviado para listas de e-mail de professores e alunos, e divulgado nas redes sociais dos autores.

Cinquenta e dois participantes concluíram o teste para o *graffiti* 1 (idade média 24; DP = 1,7; 28 mulheres); quarenta para o *graffiti* 2 (idade média 23; DP = 1,9; 18 mulheres); cinquenta e nove para *graffiti* 3 (idade média 26; DP = 1,2; 27 mulheres); trinta e oito para *graffiti* 4 (idade média 23, DP = 1,7; 21 mulheres). Os resultados da pesquisa demográfica podem ser conferidos no anexo A.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética de Pesquisa com Seres Humanos do Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo. Consentimento informado foi obtido para todos os participantes. O estudo seguiu a *American Psychological Association* e a Declaração de Helsinki (1964) e todas suas atualizações posteriores.

Elaboração e procedimento

Foram utilizadas quatro fotografias de *graffiti* da cidade de São Paulo, de uma amostra de 228 *graffiti* de Feitosa-Santana et al. (2020 – **capítulo 6**). *Graffiti* 1 e 2 foram caracterizados com uma orientação do *gamut* de respectivamente 10° e 180° . Eles representam os ângulos menos comuns encontrados na amostra, e raramente são encontradas em cenas naturais. *Graffiti* 3 e 4 foram caracterizados respectivamente com ângulos de 67° e 95° , valores mais encontrados na amostra dos *graffiti*, e também é o ângulo geralmente encontrado em cenas naturais. Já a área do *gamut* e proporção dos eixos a^* b^* das quatro composições possuem valores próximos do pico da gaussiana encontrada na amostra.

As configurações cromáticas dos *graffiti* foram manipuladas através da rotação do *gamut* no espaço de cor *CIELAB*, ao redor do eixo paralelo ao eixo L^* , passando pelas médias a^* , b^* [-120° -80° -40° 0° 40° 80° 120°]. 0° representa a configuração original. Essa modificação modifica apenas a matiz, sem nenhuma modificação no brilho e na saturação. Escolheu-se essas sete condições por serem as mesmas usadas em Albers et al. (2020) e Nascimento et al. (2021) em experimentos semelhantes. O valor de 20° foi o menor valor capaz de causar 1 DAP em pinturas abstratas (Nascimento et al., 2017). Optou-se por distanciar em 2 DAP e evitar condições muito semelhantes e até mesmo indiscrimináveis dependendo do *gamut* do monitor dos participantes e outras condições como adaptação cromática, nível de iluminância do ambiente, entre outras.

Foi utilizado o protocolo *2AFC*, o que permite uma escolha binária bastante simples de ser realizada, com o mínimo de carga de memória e vieses, e com grande potência quantitativo, sendo considerado o melhor protocolo para medidas de preferência estética (Palmer et al., 2013), possibilitando \tilde{n} julgamentos para cada *graffiti*, que eram exibidos no monitor em pares de duas condições colorimétricas diferentes, divididas espacialmente esquerda/ direita. O participante deveria realizar um duplo clique na condição preferida. Não havia tempo limite para a execução da tarefa. Ao todo, cada participante realizava quarenta e dois julgamentos, sendo que metade eram condições repetidas (A vs B / B vs A), porém exibidas em lados contrários. Todas as páginas do experimento eram executadas em tela cheia. Foi utilizado cinza neutro de fundo (232, 232, 232) e todas as janelas, *layouts* e textos foram deixados em tons de cinza.

Recomendava-se que o participante ajustasse o monitor para o modo *sRGB*, para melhor controle colorimétrico. Essas configurações foram testadas e recomendadas por Da Silva Epicoco et al. (2021) para estudos semelhantes. Ao final do experimento, era perguntado se o

participante realizou as recomendações de calibração. Entretanto, não havia garantia de que os participantes realizassem os ajustes.

Resultados

As distâncias estatísticas das preferências de cada condições colorimétricas das fotografias dos *graffiti* urbanos foram calculadas através da Lei do Julgamento Comparativo (Thurstone, 1927a). Foi usada a formulação mais simples da lei, conhecida como caso V, que assume que a os julgamentos ao longo de um *continuum* psicológico não influenciam outros julgamentos durante a comparação aos pares, e de que a dispersão discriminativa seja igual para todos os estímulos.

Para verificar se as distâncias entre duas condições são estatisticamente significantes na escala, é necessário a realização de um conjunto de cálculos menos trivial, uma vez que todas as condições são dependentes com todas as outras pela comparação aos pares, e alterar um valor irá fazer com que todos eles se alterem. Pérez-Ortiz & Mantiuk (2017) derivaram um método para esse tipo de problema, usando a variância e as diferenças dos *score-Z*, permitindo por fim realizar um teste bicaudal (David, 1963) para um determinado nível de confiança. Figura 6 a 9 mostram as distâncias entre as condições para cada *graffiti*. As linhas azuis representam significância estatística entre as condições, e o pontilhado vermelho, a falta de significância estatística.

Como esse tipo de experimento possibilita apenas um valor estimado da real qualidade medida, é importante analisar o nível de incerteza nos dados. Para isso, foi calculada a consistência interna da escala, considerando a discrepância na ordem dos julgamentos (Thurstone, 1927b). Os valores se mantiveram abaixo de 5% de variabilidade para a maioria dos *graffiti* (figura 10), revelando que os participantes foram consistentes em seus julgamentos, apesar da subjetividade da tarefa e da falta de controle do grupo. *Graffiti 2* teve uma consistência ruim apenas para a condição 80. *Graffiti 4* foi o único que obteve piores resultados, apresentando variabilidade acima de 5% para cinco condições, chamando a atenção para os altos valores das condições -40, 0 e 40, com quase 40%.

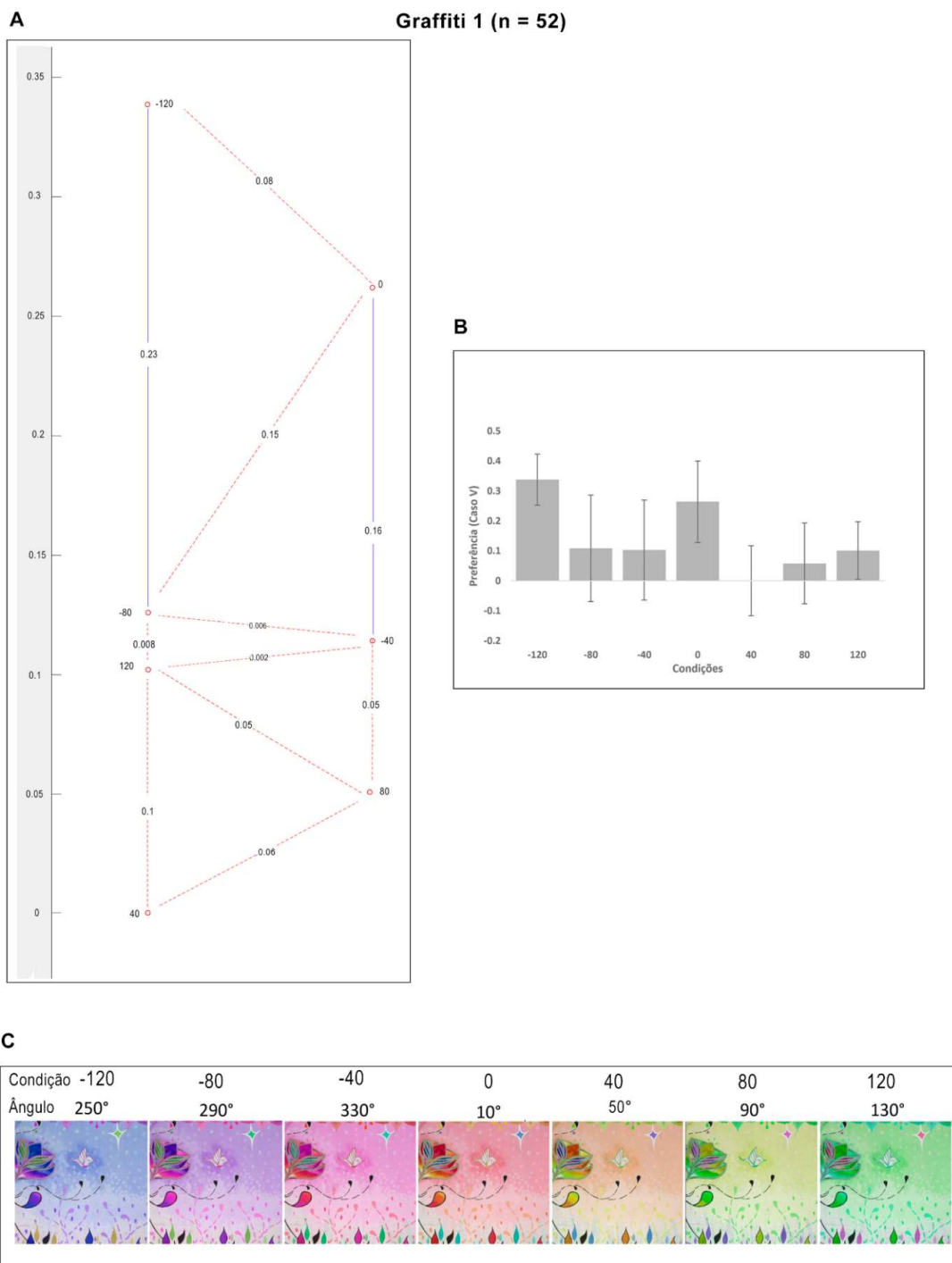


Figura 8: Escala da preferência do ângulo de orientação do gamut do graffiti 1.

Nota. (a) escala foi obtida através da Lei do Julgamento Comparativo. Os pontos vermelhos representam as condições testadas. As linhas azuis sólidas representam diferenças estatísticas significantes, opostas às linhas pontilhadas vermelhas. O menor valor da escala foi adotado para a condição menos preferida. (b) valores de cada condição na escala e respectivos desvios Padrão. (c) condições utilizadas; com os respectivos ângulos de orientação do gamut e a imagem utilizada. A condição 0 sempre indica a composição original.

Graffiti 2 (n = 40)

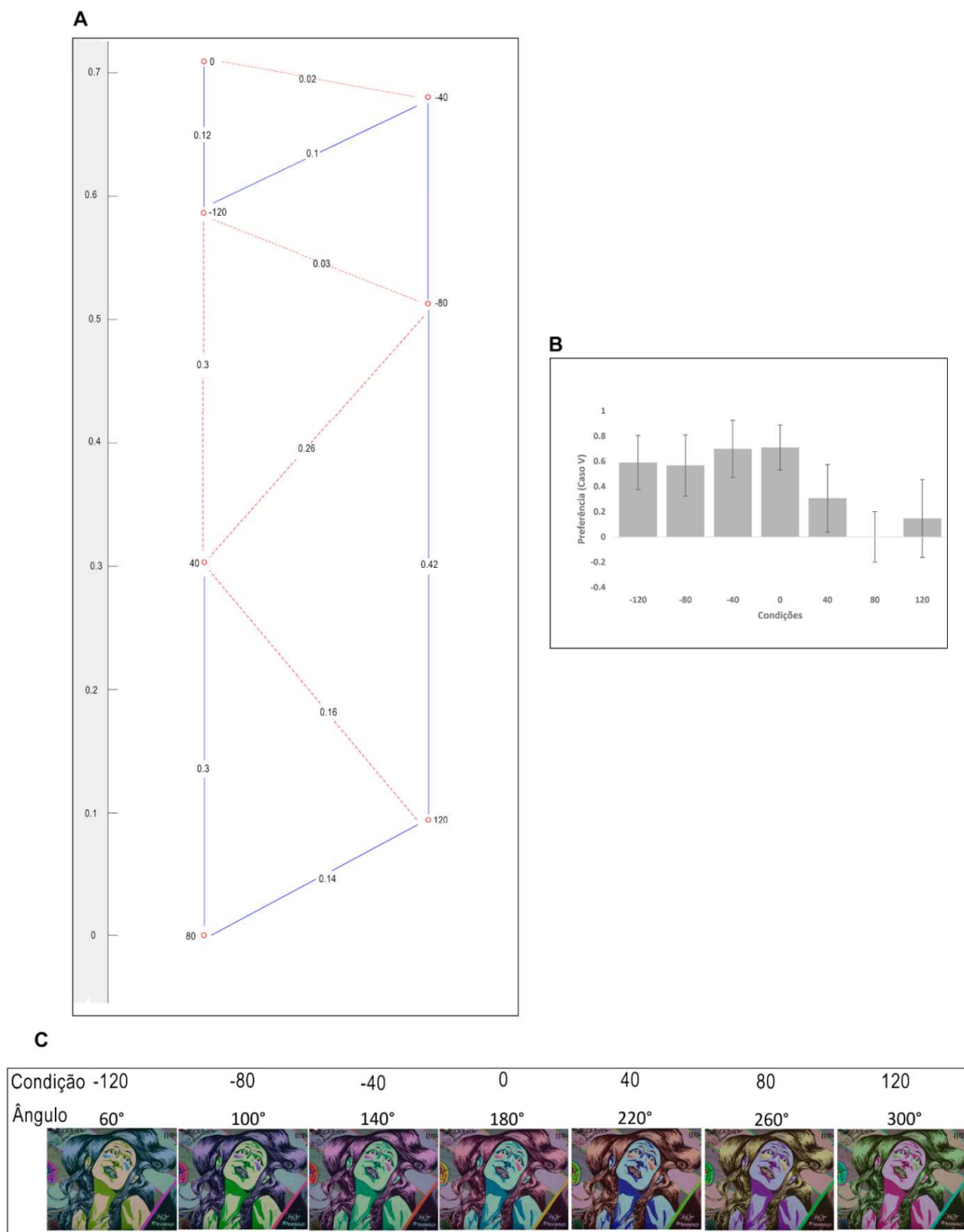


Figura 9: Escala da preferência do ângulo de orientação do gamut do graffiti 2.

Graffiti 3 (n = 59)

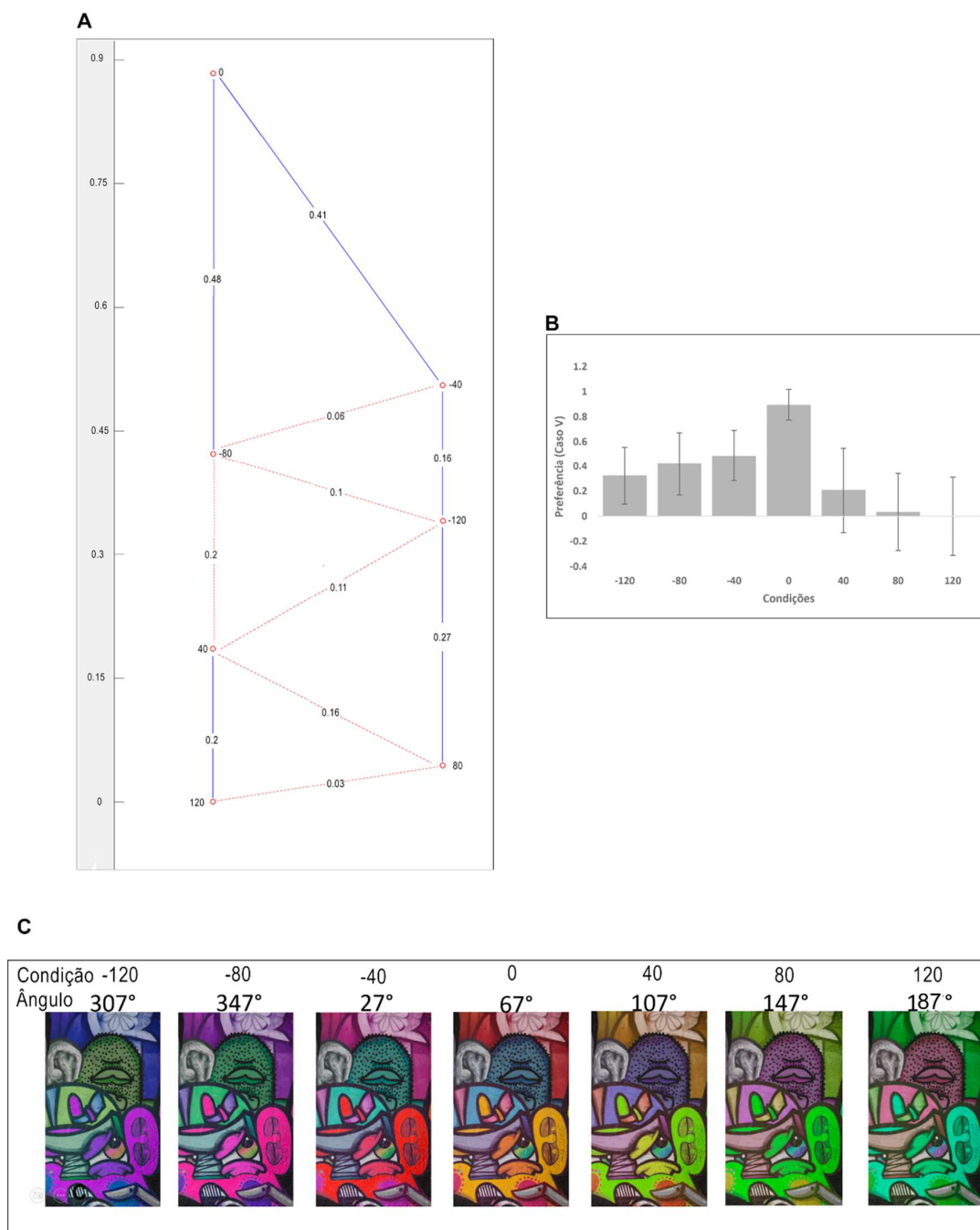


Figura 10: Escala da preferência do ângulo de orientação do gamut do graffiti 3.

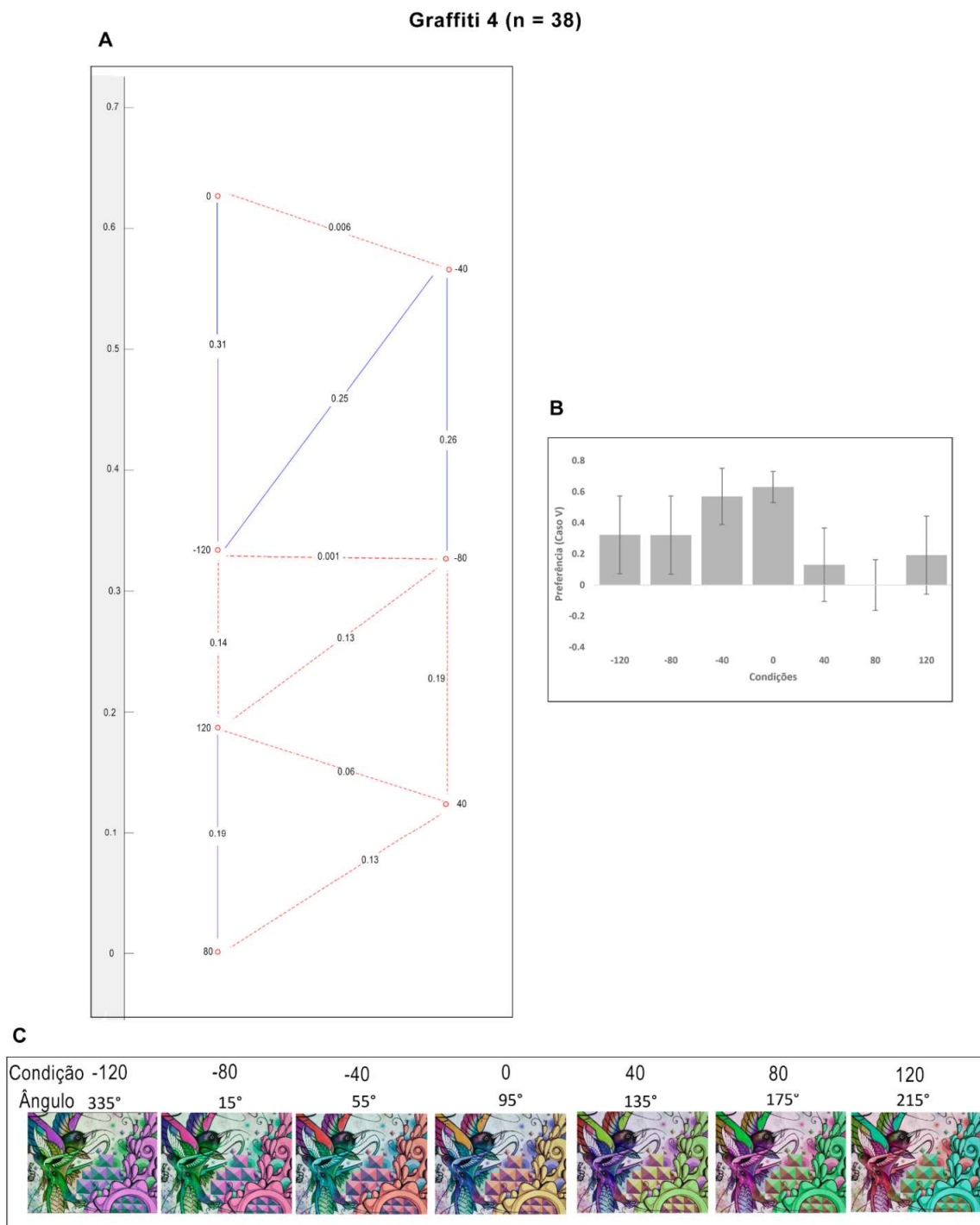


Figura 11: Escala da preferência do ângulo de orientação do gamut do graffiti 4.

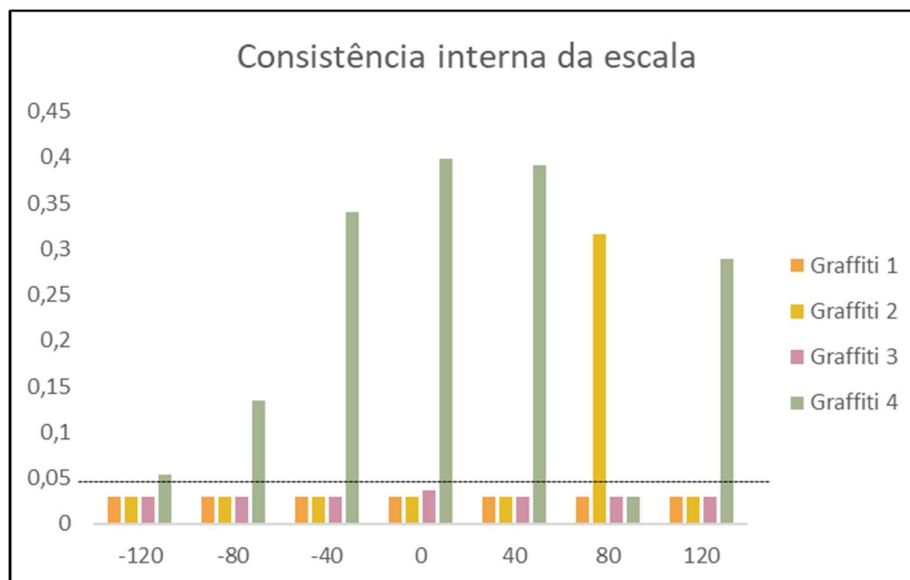


Figura 12: Consistência interna das escalas de preferência dos graffiti. A linha pontilhada indica um critério de variabilidade de 5%.

Discussão

Nos quatro *graffiti*, a condição colorimétrica original obteve a maior preferência. A exceção foi para o *graffiti* 1, com pico de preferência para a condição -120, porém com uma diferença estatisticamente insignificante da original, com apenas 0,08 unidades de distância. Esse resultado vai de acordo com a literatura científica (Palmer et al., 2013), em que os azuis são geralmente preferidos em relação às outras cores, e tons amarelos escuros e alaranjados, menos preferidos, ao menos para experimentos de preferência de cor única, sem envolver combinações de cores, ou aplicada à diferentes contextos e objetos. Esse mesmo resultado foi encontrado em nosso estudo anterior (**capítulo 4**), onde verificamos a preferência por cores básicas. Especificamente na composição do *graffiti* 1, esse efeito foi bastante nítido, talvez por conta do minimalismo de seus elementos plásticos (composição) e uma maior importância para a cor do fundo da composição. Ainda assim, a composição original, que possui um fundo rosa alaranjado, foi tão preferida quanto o azul, e não parece haver relação entre a preferência por essas cores quando encontradas isoladas em experimentos de preferência, o que exalta a experiência do artista ao criar suas composições cromáticas otimizadas (ou quase) para sua determinada composição.

Pode-se observar que quase todas as condições do *graffiti* 1 ficaram muito próximas na escala, e sem significância estatística. Exceto pela condição original e -120, todas as outras obtiveram um valor muito baixo. A distância da condição mais preferida para a menos foi de

apenas 0,35, o que indica uma clara preferência pelas duas condições e uma total ausência de preferência pelo resto (levando os participantes a escolhas aleatórias sempre que solicitado julgamento entre duas condições em que nenhuma delas são as duas preferidas).

Graffiti 2 teve seu pico de preferência na condição original, seguida pela condição -40, com apenas 0,02 unidades (sem significância estatística). As condições -120, -80, -40 e 0 foram preferidas em relação às condições remanescentes. A distância da condição preferida para menos preferida foi de 0,7.

Esse *graffiti* possui elementos realísticos em sua composição (o rosto de uma mulher), mas com o uso da cor de maneira não realista (pele em tons de azul claro). Apesar do óbvio uso exagerado e não realista da cor, a condição original foi a mais preferida. Seu ângulo original é de 180°, uma distribuição pouco usada em pinturas tradicionais e que se afasta bastante do que é geralmente encontrado na natureza. A condição mais naturalista nessa composição seria -120, com um ângulo de 60°, tornando os tons de pele amarelados e o cabelo castanho escuro. Embora essa condição também tenha sido uma das mais preferidas, com apenas 0,12 de distância da original, as condições 0 e -40 foram significativamente mais preferidas. A condição menos preferida (80) deixa o rosto em tons roxos escuro, obteve uma consistência bastante ruim nos julgamentos (Fig. 5), com 35% de variabilidade na escala. Fica evidente que para essa composição, assim como a anterior, os participantes não levaram muito em conta o realismo colorimétrico para realizar o julgamento de preferência, e curiosamente, dada as diversas possibilidades, um rosto feminino em azul claro foi duas vezes mais preferido do que o mesmo rosto em azul escuro.

Graffiti 3 teve a maior distância entre a condição preferida (nesse caso a original) com a condição menos preferida (120), com uma distância de 0,9. A condição colorimétrica original dessa composição é próxima da geralmente encontrada em cenas naturais e pinturas tradicionais, reforçando a hipótese de que essa configuração possui um valor estético independente da composição, sendo de alguma forma universal e estando relacionada com as fases iniciais do processamento sensorial. Essa composição obteve a maior distância entre a condição original com suas condições vizinhas (para o *graffiti 3*, a distância entre a condição mais preferida e a segunda é de 0,41, enquanto para o *graffiti 1* é apenas 0,08 e o *graffiti 2* 0,02).

Graffiti 3 também revelou um resultado próximo de uma curva de distribuição normal, onde a condição original é o pico, e a medida que o ângulo vai ficando mais distante do original, menos ele é preferido, tanto no sentido horário quanto anti-horário

Graffiti 4 obteve a condição original como preferida, seguindo a mesma tendência das anteriores, seguido pela condição -40 com uma distância desprezível. A condição menos preferida foi a 80, com 0,62 de distância da original. Essa composição, embora com o pico de preferência na composição original (que se encontra em um ângulo de 95°, comum nas cenas naturais e pinturas), obteve uma consistência bastante ruim nos julgamentos (Fig. 5), com valores acima de 5% de variabilidade em todas as condições, e ainda chama a atenção quase 40% de variabilidade para as condições -40, 0 e 40. A alta variabilidade dificulta a confiança nos resultados, levando a crer que os critérios de julgamento dos participantes dessa composição variaram muito.

A tendência em preferir a composição original foi encontrada, em linha com os estudos de Nascimento et al. (2017; 2021). Mesmo para *graffiti* urbanos, onde se supõe maior liberdade nas suas composições, uso exagerado e irrealista das cores, além da disponibilidade de pigmentos sintéticos que incluem cores neon, possibilitando maior pureza colorimétrica em comparação aos pigmentos tradicionais, existe uma clara harmonia em suas composições que mostra que suas criações não são frutos de processos aleatórios, mas de estudos embasados em harmonia das cores e regras estéticas que, mesmo que inconscientemente, os artistas incorporam em sua composição. O uso adequado das cores por esses artistas de rua se traduz com uma maior preferência em relação a outras possibilidades colorimétricas, e podem contribuir como uma forma de arte a céu aberto em grandes centros urbanos, ampliando a convivência em áreas públicas, trazendo curiosidade, conforto e descanso para os cidadãos.

O uso adequado das cores por esses artistas de rua traduz-se em maior preferência em relação a outras possibilidades colorimétricas e pode contribuir como forma de arte ao ar livre nos grandes centros urbanos, ampliando a convivência em áreas públicas, trazendo curiosidade, conforto e bem-estar para cidadãos. Assim como os estudos apresentados em Ogawa & Motoyoshi (2020), que relacionam a sensação visual desconfortável com alguns padrões específicos de luminância geralmente não encontrados em cenas naturais, os *graffiti* também parece seguir proporções colorimétricas preferidas e de acordo com a distribuição de naturalidade, evitando a sensação desconfortável.

É possível notar que algumas condições com 2 DAP de distância ficaram muito próximas na escala de preferência, enquanto outras tiveram valores bem mais distantes. Isso parece ocorrer em parte em algumas condições em que a mudança de grau no *gamut* não foi suficiente para causar uma mudança na categoria de cor, mas apenas em sua tonalidade, causando uma percepção de mudança de cor muito menor, e talvez até imperceptível

dependendo da condição de iluminação, calibração de monitor, estado de adaptação do participante etc. Por exemplo, no *graffiti 1*, as condições -80 e -40 possuem diferentes tons de rosa (ou roxo). No *graffiti 2*, as condições -80 e -40 apresentam o rosto da mulher em tons azul esverdeado. No *graffiti 3*, as condições 80 e 120 são predominantemente verdes. No *graffiti 4*, as condições -120 e -80 são predominantes em verdes e rosas. As distâncias na escala entre essas condições são praticamente zero.

Já as condições que apresentaram uma mudança na categoria de cor, a distância na escala foi muito maior. Por exemplo, no *graffiti 3*, a distância entre a condição original e 40 é de 0,7 (sendo 0,9 o máximo da escala). Existe uma clara mudança na configuração colorimétrica dessas duas condições, de verde para vermelho. O mesmo ocorre para o *graffiti 4*, entre as condições 0 e 40, onde existe uma mudança de amarelo e laranja para verdes e azuis (e estão a uma distância de 0,5, onde a escala de preferência vai até 0,65).

Vale lembrar que embora o *gamut* tenha sido rotacionado em espaçamentos iguais de 40°, o limiar de percepção para mudanças colorimétricas varia para diferentes comprimentos de onda, e como o que está sendo julgado é a preferência pela mudança global na composição colorimétrica, existirão condições espaçadas igualmente no *CIELAB*, mas que serão percebidas como mais parecidas do que outras condições, e as distâncias poderão ficar mais próximas na escala do que quando a mudança na percepção global for maior. Por exemplo, no *graffiti 4*, a distância entre as condições -40 e -80 é cinco vezes maior do que a distância da condição 0 para -40. A mudança de ângulo do *gamut* de 55° para 15° causou uma preferência cinco vezes maior do que 95° para 55°.

Também notamos uma tendência a preferir ângulos que foram rotacionados negativamente (sentido anti-horário), embora não tenhamos evidências de porque isso ocorreu, uma vez que o ângulo original de cada *graffiti* é diferente e as condições positivas em um caso podem ter uma distribuição colorimétrica semelhante com uma condição negativa de outra composição.

Toda a metodologia foi desenvolvida para que o teste fosse realizado online, e isso pode introduzir certa variabilidade nos resultados obtidos por esse método. Diferentemente dos experimentos de Albers et al. (2020) e Nascimento et al. (2021), nosso procedimento foi dividido espacialmente, e o participante poderia levar o tempo necessário para realizar o julgamento, observando e realizando a comparação desejada entre ambas as condições. Esse procedimento foi desenhado para impedir que o participante perdesse uma das imagens durante

o teste. Realizar o experimento em diferentes computadores também introduz variabilidade, uma vez que a reprodução de cor e calibração dos monitores usados variam.

Estudos realizados por Sprow et al. (2009) verificaram a preferência pela qualidade percebida em imagens digitais através de testes psicofísicos realizados na internet, controlando diversos padrões colorimétricos de reprodução, incluindo alguns bastante similares com os realizados em nosso estudo. Não foram encontradas diferenças significativas na escala de preferência entre grupo que realizou na internet com o grupo que realizou os mesmos procedimentos em laboratório. O grande número de diferentes monitores, browsers e condições de visualizações tiveram pouca influência no resultado da escala. Estudos recentes de preferência estética de pinturas também realizaram modificações cromáticas similares em diversas obras de arte para estudar a preferência de diversos elementos visuais de pinturas para compreender como a experiência estética é formada (Ligaya et al., 2021) Através de testes psicofísicos realizados na internet foi possível generalizar diversos achados de laboratório e entender melhor as diferenças geográficas e culturais relacionadas à preferência.

Mesmo levando em conta essas limitações, a tendência em preferir o ângulo original se manteve, e quando esse ângulo está próximo da naturalidade, o efeito foi ainda mais forte, confirmando a existência de um viés de constância do objeto. Entretanto, é importante apontarmos essas possíveis fontes de viés e variabilidade na medida. Acreditamos que nossos resultados generalizam os estudos de Albers et al. (2020) e Nascimento et al. (2021), utilizando um estilo artístico menos formal, e realizando o procedimento online, permitindo um maior número de participantes e uma investigação mais completa sobre diferentes atributos que contribuem para a preferência por combinações colorimétricas complexas, e que influenciará diretamente na experiência estética do fruidor.

A configuração cromática original dos *graffiti* se revelaram as mais preferidas, e independentemente do debate existente sobre o estilo em questão como um movimento artístico legítimo, seus artistas seguem padrões no uso das cores que são mais naturalistas, e isso reflete de maneira positiva na apreciação estética dos seus fruidores, podendo contribuir para o bem-estar da população de grandes centros urbanos ao transformar muros e fachadas em galerias de arte ao ar livre.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÃO

A Lei do Julgamento Comparativo (Thurstone, 1927a) foi aplicada usando três procedimentos experimentais distintos para quantificar atributos psicológicos da cor (**capítulos 3, 4 e 7**). Os dois primeiros estudos utilizaram um procedimento metodológico (Thurstone, 1931a), que permitiu transformar as frequências das escolhas dos participantes de cada posição no ranqueamento em uma matriz binária de probabilidades, possibilitando aplicar o caso V da Lei do Julgamento Comparativo, elencando assim dados ordinais para uma escala intervalar, com verdadeiro poder quantitativo. No terceiro estudo (**capítulo 7**) foi possível aplicar a Lei do Julgamento Comparativo diretamente, uma vez que os participantes realizaram todos os possíveis julgamentos binários na tarefa de escolha forçada aos pares.

Assim, a cor pôde ser estudada por uma abordagem mais cognitiva, usando apenas linguagem como variável, pedindo para os participantes escreverem uma lista das cores que lembrassem, acessando de forma quantitativa as saliências cognitivas de seus termos sem a influência do estímulo visual. Foram encontradas correlações positivas significativas para quase todos os termos de cores entre os grupos de crianças e adultos (Costa et al., 2021 – **Capítulo 3**). Os principais termos encontrados estão de acordo com a universalidade das categorias de cor em estudos com diversas línguas e culturas diferentes (Lindsey & Brown, 2006).

Em uma segunda etapa, a cor foi estudada quantitativamente pelo viés sensorial, pedindo para os participantes ranquearem estímulos das cores mais salientes de acordo com sua preferência pessoal. A escala intervalar psicofísica, facilmente intercambiável, possibilitou verificar possíveis relações existentes entre os conceitos mentais das cores com suas respectivas preferências, comparando adultos e crianças em início de alfabetização. Não foram encontradas correlações significativas entre a preferência de uma cor e seu respectivo conceito mental (**capítulo 4**), o que parece indicar que preferência pessoal pelas cores não tem relação com a formação de seus respectivos conceitos mentais. Os resultados também confirmam a tendência em preferir cores azuis e evitar cores marrons, e isso parece ser mantido durante toda a vida. De forma geral, adultos e crianças compartilham diversas similaridades nas preferências das cores, embora os resultados variem mais quando comparados com as saliências, indicando maior aleatoriedade na preferência do que na formação do conceito mental.

Os **capítulos 5, 6 e 7** foram dedicados aos estudos de preferência de cor em composições colorimétricas complexas. Para isso, foi utilizada uma forma de arte menos formal, os *graffiti* urbanos. As informações colorimétricas foram extraídas e comparadas com pinturas tradicionais. Diversas similaridades puderam ser observadas, em especial o ângulo de orientação do *gamut*. O estilo também obedece a normas estéticas encontradas em pinturas tradicionais, mimetizando a estrutura cromática geralmente encontrada na natureza. O uso das cores nos *graffiti* urbanos parecem indicar uma variedade limitada dentro das possíveis combinações colorimétricas. Mesmo que de forma inconsciente, os artistas acabam por mimetizar diversas regularidades geralmente encontrados na natureza, mesmo com acesso a um número muito maior de pigmentos, e em estilos artísticos onde se supõe maior liberdade em suas composições.

Por fim, foi utilizado um protocolo *2AFC* para medir a preferência pelo ângulo de orientação do *gamut* de quatro *graffiti*. A Lei do Julgamento Comparativo pôde ser aplicada para a construção da escala. Ficou evidente que a preferência é maior na distribuição colorimétrica original, e quando essa distribuição está próxima do ângulo encontrado na natureza, o efeito é ainda mais forte, evidenciando que também nos *graffiti*, um estilo artístico bem menos formal, os artistas usam as mesmas regras estéticas na criação de suas composições. Os artistas urbanos também parecem seguir padrões no uso das cores de uma forma mais naturalista, refletindo positivamente na apreciação estética de seus fruidores.

A psicologia se desenvolveu significativamente em estudos relacionados a arte, estudando-a por meios experimentais e empíricos, na busca de entender como alguns elementos visuais causam uma experiência mais positiva ou mais negativa no fruitor. Porém, nenhum desses estudos mencionam a intervenção cognitiva durante a experiência estética, baseando-se apenas na fase inicial da codificação dos estímulos sensoriais. Esta tese de forma alguma pretende reduzir, nem justificar alguma expressão visual como arte legítima. A preferência está também associada com a experiência pessoal do participante, sua bagagem cultural, memória, sentimentos e emoções, e qualquer tentativa de entender todo o processo cognitivo por trás da experiência estética seria mais bem representado por diferentes perspectivas em diferentes níveis de análise (Jacobsen, 2010; Redies 2015).

Embora parte dos estudos tenham sido afetados pela pandemia do COVID-19 (a saber, a coleta dos participantes adultos nos testes dos **capítulos 4 e 7**, que tiveram que ser realizadas online), foi também uma oportunidade para testar alguns procedimentos psicofísicos baseados em rotinas realizadas para internet, possibilitando uma coleta em um maior número de

participantes para tentar generalizar resultados de estudos de laboratório, que possuem número bastante reduzido de participantes. Embora esses estudos assegurem precisão colorimétrica e fácil replicabilidade, eles são custosos e cansativos, e dificilmente são realizados com grande número de participantes.

Estudos para acessar informação visual na internet já vem sendo realizados pelo menos desde Moroney (2003), que propôs um programa para coletar dados de nomes e categorias de cores. Desde 2016, o projeto *An Online Colour Naming Model* (<https://colornaming.net/#colour-namer>), liderado por Dimitris Mylonas (Mylonas, 2020) vem sendo usado em diversos estudos com aparente sucesso para coletar nomes de cores em diferentes línguas, com sua cor (estímulo) correspondente, possibilitando diversos estudos das similaridades e diferenças entre culturas e regiões geográficas. A quantificação da preferência estética de pinturas também já vem sendo realizada através de testes online (Ligaya et al., 2021), possibilitando compreender melhor essas diferenças geográficas e culturais relacionadas à preferência de cor em composições complexas e a própria experiência estética individual.

Sprow et al. (2009) já havia testado a preferência pela qualidade percebida de imagens digitais, modificando diversos padrões de reprodução colorimétrica. Os resultados mostraram pouca diferença na escala quando comparada com os resultados de laboratório. Um estudo para determinar preferência de cor foi realizado usando diferentes protocolos psicofísicos *na internet* e em laboratório (Yu et al., 2021), e os resultados mostraram alta correlação entre os grupos. Ainda, o método do ranqueamento teve menos vieses e foi o recomendado para ser realizado online ou com pouco controle experimental.

O sucesso desses estudos e a própria robustez dos resultados faz com que se acredite na realização de alguns procedimentos psicofísicos na internet para entender as diferenças culturais e geográficas relacionadas à representação subjetiva da cor e seu papel no julgamento de preferência e na experiência estética. Espera-se que essa tese sirva para encorajar estudos formais a respeito da psicologia das cores, através da utilização de metodologias científicas com bases na fisiologia da visão humana, na realização de manipulações digitais adequadas, seguindo corretamente os espaços de cor, levando em conta suas limitações e diferentes aplicações, e no uso de escalas verdadeiramente quantitativas, com origens na psicofísica, para a realização de testes de preferência ou outros atributos mentais que se queira medir, como as emoções evocadas pelas cores, permitindo comparar essas modalidades em uma mesma escala, contribuindo com o avanço nos estudos científicos da psicologia das cores.

REFERÊNCIAS

- Adams, W. J., Kucukoglu, G., Landy, M. S., & Mantiuk, R. K. (2018). Naturally glossy: Gloss perception, illumination statistics, and tone mapping. *Journal of Vision*, *18*(13), 4. <https://doi.org/10.1167/18.13.4>
- Albers, A. M., Gegenfurtner, K. R., & Nascimento, S. M. (2020). An independent contribution of colour to the aesthetic preference for paintings. *Vision Research*, *177*, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2020.08.005>
- Alwing, D. F. & Krosnick, J. A. (1985). The Measurement of Values in Surveys: A Comparison of Ratings and Rankings. *The Public Opinion Quarterly*, *49*(4): 535-552. <https://doi.org/10.1086/268949>
- Arons, A. M., Krabbe, P. F., Schölzel-Dorenbos, C. J., van der Wilt, G. J., & Olde Rikkert, M. G. (2012). Thurstone scaling revealed systematic health-state valuation differences between patients with dementia and proxies. *Journal of Clinical Epidemiology*, *65*(8), 897–905. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2012.01.018>
- Artusi, A., Mantiuk, R. K., Richter, T., Hanhart, P., Korshunov, P., Agostinelli, M., Ten, A., & Ebrahimi, T. (2019). Overview and evaluation of the JPEG XT HDR image compression standard. *Journal of Real-Time Image Processing*, *16*(2), 413–428. <https://doi.org/10.1007/s11554-015-0547-x>
- Berlin, B. K., & Kay, P. (1969/1991). Basic color terms: Their universality and evolution. *University of California Press*
- Bimler, D., & Uusküla, M. (2018). Individual variations in color-concept space replicate across languages. *Journal of the Optical Society of America A*, *35*(4), B184–B191. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.35.00B184>
- Bo, Y., Yu, J., & Zhang, K. (2018). Computational aesthetics and applications. *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art*, *1*(1), 1-19. <https://doi.org/10.1186/s42492-018-0006-1>
- Cavanagh, P. The artist as neuroscientist (2005). *Nature* *434*, 301–307. <https://doi.org/10.1038/434301a>
- Costa, M. F., Gaddi, C. M., Gonsalez, V. M., de Paula, F. V. (2021). Psychophysical scaling method for measurement of colors concept in children and adults. *Methods in Psychology*, *Vol. 5* <https://doi.org/10.1016/j.metip.2021.100077>

- Da Silva Epicoco, D; Jonauskaitė, D; Mohr, C; Parraga, C.A. (2021). The Smarties Test: Is it necessary to gamma-correct screens for online colour vision experiments? 43rd European Conference on Visual Perception (EVP)
- David, H. (1963). The method of paired comparisons, volume 298. *Charles Griffin and Co.*
- Dzhafarov, E. N., & Colonius, H. (2011). The Fechnerian idea. *The American Journal of Psychology*, *124*(2), 127–140. <https://doi.org/10.5406/amerjpsyc.124.2.0127>
- Fairchild, M. D. (2013). *Color appearance models* (3rd ed.). Wiley.
- Fairchild, M. D. (2019). CIE 015:2018 Colorimetry, 4th Edition. The International Commission on Illumination, Vienna, Austria, 2019. 111 pp. €162.00 Members of CIE country bodies pay €54.00; hardcover or e-book. *Color Research & Application*, *44*(4), 674–675. <https://doi.org/10.1002/col.22387>
- Fechner, G. T. (1860). *Elemente der psychophysik* (Vol. 2). Breitkopf u. Härtel.
- Feitosa-Santana, C., Gaddi, C. M., Gomes, A. E., & Nascimento, S. M. C. (2020). Art through the Colors of Graffiti: From the Perspective of the Chromatic Structure. *Sensors*, *20*(9), 2531. <https://doi.org/10.3390/s20092531>
- Feitosa-Santana, C., Oiwa, N. N., Costa, M. F. D., Tiedemann, K. B., Silveira, L. C. D. L., & Ventura, D. F. (2006). Espaço de cores. *Psicologia USP*, *17*(4), 35–62. <https://doi.org/10.1590/s0103-65642006000400003>
- Foster, D. H., & Amano, K. (2019). Hyperspectral imaging in color vision research: Tutorial. *Journal of the Optical Society of America A*, *36*(4), 606. <https://doi.org/10.1364/josaa.36.000606>
- Franceschini, F., & Maisano, D. (2020). Adapting Thurstone’s Law of Comparative Judgment to fuse preference orderings in manufacturing applications. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *31*(2), 387–402. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1452-5>
- Geisler, W. S. (2008). Visual Perception and the Statistical Properties of Natural Scenes. *Annual Review of Psychology*, *59*(1), 167–192. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.58.110405.085632>
- Graham, D. J., & Redies, C. (2010). Statistical regularities in art: Relations with visual coding and perception. *Vision Research*, *50*(16), 1503–1509. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.05.002>
- Guinard, P., & Margier, A. (2018). Art as a new urban norm: Between normalization of the City through art and normalization of art through the City in Montreal and Johannesburg. *Cities*, *77*, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.04.018>
- Jacobsen, T. (2010). Beauty and the brain: culture, history and individual differences in aesthetic appreciation. *Journal of Anatomy*, *216*(2), 184–191. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2009.01164.x>

- Jonauskaite D, Mohr C, Antonietti J-P, Spiers PM, Althaus B, Anil S, et al. (2016) Most and Least Preferred Colours Differ According to Object Context: New Insights from an Unrestricted Colour Range. *PLoS ONE* 11(3): e0152194. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152194>
- Jonauskaite, D., Abu-Akel, A., Dael, N., Oberfeld, D., Abdel-Khalek, A. M., Al-Rasheed, A. S., Antonietti, J.-P., Bogushevskaya, V., Chamseddine, A., Chkonina, E., Corona, V., Fonseca-Pedrero, E., Griber, Y. A., Grimshaw, G., Hasan, A. A., Havelka, J., Hirnstein, M., Karlsson, B. S. A., Laurent, E., ... Mohr, C. (2020). Universal Patterns in Color-Emotion Associations Are Further Shaped by Linguistic and Geographic Proximity. *Psychological Science*, 31(10), 1245–1260. <https://doi.org/10.1177/0956797620948810>
- Jonauskaite, D., Dael, N., Chèvre, L., Althaus, B., Tremea, A., Charalambides, L., & Mohr, C. (2019). Pink for girls, red for boys, and blue for both genders: Colour preferences in children and adults. *Sex Roles*, 80(9), 630-642. <https://doi.org/10.1007/s11199-018-0955-z>
- Josserand M., Meeussen E., Majid A., Dediu D. (2021). Environment and culture shape both the colour lexicon and the genetics of colour perception. *Scientific Reports*, 11, 19095. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98550-3>
- Kim, D., Son, S. W., & Jeong, H. (2014). Large-scale quantitative analysis of painting arts. *Scientific Reports*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/srep07370>
- Ligaya, K., Yi, S., Wahle, I.A. et al. (2021). Aesthetic preference for art can be predicted from a mixture of low- and high-level visual features. *Nat Hum Behav* 5, 743–755. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01124-6>.
- Lindsey, D. T., & Brown, A. M. (2006). Universality of color names. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(44), 16608-16613. <https://doi.org/10.1073/pnas.0607708103>
- Lindsey, D. T., & Brown, A. M. (2021). Lexical color categories. *Annual Review of Vision Science*. 7:605-31. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-093019-112420>
- Ling Y, Hurlbert A. (2011). Age-dependence of colour preference in the U.K. population. In *New Directions in Colour Studies*, ed. CP Biggam, CA Hough, CJ Kay, DR Simmons, pp. 347–60. Amsterdam: John Benjamins. <https://doi.org/10.1075/z.167.40lin>
- Linhares, J. M. M., Pinto, P. D., & Nascimento, S. M. C. (2008). The number of discernible colors in natural scenes. *Journal of the Optical Society of America A*, 25(12), 2918. <https://doi.org/10.1364/josaa.25.002918>
- Linhares, J., Cardeira, L., Bailão, A., Pastilha, R., & Nascimento, S. (2020). Chromatic changes in paintings of Adriano de Sousa Lopes after the removal of aged varnish. *Conservar Património*, 34, 50–64. <https://doi.org/10.14568/cp2018064>

- LoBue, V., & DeLoache, J. S. (2011). Pretty in pink: The early development of gender-stereotyped colour preferences. *British Journal of Developmental Psychology*, *29*(3), 656-667. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.2011.02027.x>
- Mallon, B., Redies, C., & Hayn-Leichsenring, G. U. (2014). Beauty in abstract paintings: Perceptual contrast and statistical properties. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*:161, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00161>
- Maria Michela Del Viva, Ilaria Mariani, Carmen De Caro, Galina V. Paramei, Florence “blues” are clothed in triple basic terms, *i-Perception*, *13*, 5, (204166952211249), (2022). <https://doi.org/10.1177/20416695221124964>
- Maule, J., Skelton, A. E., & Franklin, A. (2022). The Development of Color Perception and Cognition. *Annual Review of Psychology*, *74*. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-032720-040512>
- Maydeu-Olivares, A. (2004). Thurstone’s Case V model: a structural equation modeling perspective. In *Recent developments on structural equation models* (pp. 41-67). Springer, Dordrecht.
- Montagner, C., Linhares, J. M. M., Vilarigues, M., & Nascimento, S. M. C. (2016). Statistics of colors in paintings and natural scenes. *Journal of the Optical Society of America A*, *33*(3), A170. <https://doi.org/10.1364/josaa.33.00a170>
- Montagner, C., Linhares, J. M., Vilarigues, M., Melo, M. J., & Nascimento, S. M. (2017). Supporting history of art with colorimetry: The paintings of Amadeo de Souza-Cardoso. *Color Research & Application*, *43*(3), 304–310. <https://doi.org/10.1002/col.22189>
- Moroney, N. (2003). Unconstrained internet-based color naming experiment. In *Color imaging VIII: Processing, hardcopy, and applications* (Vol. 5008, pp. 36-46). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.472013>
- Müller, A. L. (2019). Voices in the city. On the role of arts, artists and urban space for a just city. *Cities*, *91*, 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.04.004>
- Mylonas, D. (2020). *Colour communication within different languages* (Doctoral dissertation, UCL (University College London)).
- Nascimento, S. M. C., Herdeiro, C. F. M., Gomes, A. E., Linhares, J. M. M., Kondo, T., & Nakauchi, S. (2020). The Best CCT for Appreciation of Paintings under Daylight Illuminants is Different for Occidental and Oriental Viewers. *LEUKOS*, *17*(3), 310–318. <https://doi.org/10.1080/15502724.2020.1761828>

- Nascimento, S. M., Linhares, J. M., Montagner, C., João, C. A., Amano, K., Alfaro, C., & Bailão, A. (2017). The colors of paintings and viewers' preferences. *Vision Research*, *130*, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2016.11.006>
- Nascimento, S. M., Marit Albers, A., & Gegenfurtner, K. R. (2021). Naturalness and aesthetics of colors – Preference for color compositions perceived as natural. *Vision Research*, *185*, 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2021.03.010>
- Ogawa, N., & Motoyoshi, I. (2020). Differential effects of orientation and spatial-frequency spectra on visual unpleasantness. *Frontiers in Psychology*, *11*:1342, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01342>
- Palmer SE, Schloss KB. (2010). An ecological valence theory of human color preference. *PNAS* *107*(19):8877–82. <https://doi.org/10.1073/pnas.0906172107>
- Palmer, S. E., Schloss, K. B., & Sammartino, J. (2013). Visual Aesthetics and Human Preference. *Annual Review of Psychology*, *64*(1), 77–107. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100504>
- Pastilha, R. C., Linhares, J. M. M., Gomes, A. E., Santos, J. L. A., de Almeida, V. M. N., & Nascimento, S. M. C. (2019). The colors of natural scenes benefit dichromats. *Vision Research*, *158*(April 2018), 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2019.02.003>
- Penacchio, O., & Wilkins, A. J. (2015). Visual discomfort and the spatial distribution of Fourier energy. *Vision Research*, *108*, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.12.013>
- Penacchio, O., Haigh, S. M., Ross, X., Ferguson, R., & Wilkins, A. J. (2021). Visual discomfort and variations in chromaticity in art and nature. *Frontiers in Neuroscience*, *15*:711064, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.711064>
- Pérez-Ortiz, M., Mantiuk, R. K. (2017). A practical guide and software for analysing pairwise comparison experiments, *arXiv Stat.AP*. <https://arxiv.org/abs/1712.03686>
- Pérez-Ortiz, M., Mikhailiuk, A., Zerman, E., Hulusic, V., Valenzise, G., & Mantiuk, R. K. (2019). From Pairwise Comparisons and Rating to a Unified Quality Scale. *IEEE Transactions on Image Processing*, *29*, 1139–1151. <https://doi.org/10.1109/tip.2019.2936103>
- Piccolo, M., Cucci, C., Casini, A., & Stefani, L. (2020). Hyper-spectral imaging technique in the cultural heritage field: New possible scenarios. *Sensors*, *20*(10), 2843. <https://doi.org/10.3390/s20102843>
- Pitchford, N. J., & Mullen, K. T. (2001). Conceptualization of perceptual attributes: a special case for color? *Journal of experimental child psychology*, *80*(3), 289–314. <https://doi.org/10.1006/jecp.2001.2634>

- Pitchford, N. J., & Mullen, K. T. (2005). The role of perception, language, and preference in the developmental acquisition of basic color terms. *Journal of Experimental Child Psychology*, *90*(4), 275–302. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2004.12.005>
- Redies, C. (2008). A universal model of esthetic perception based on the sensory coding of natural stimuli. *Spatial vision*, *21*(1-2), 97–117. <https://doi.org/10.1163/156856807782753886>
- Redies, C. (2015). Combining universal beauty and cultural context in a unifying model of visual aesthetic experience. *Frontiers in human neuroscience*, *9*, 218. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00218>
- Romero, J., Gómez-Robledo, L., & Nieves, J. (2018). Computational color analysis of paintings for different artists of the XVI and XVII centuries. *Color Research & Application*, *43*(3), 296–303. <https://doi.org/10.1002/col.22211>
- Schloss, K. B., Nelson, R., Parker, L., Heck, I. A., & Palmer, S. E. (2017). Seasonal variations in color preference. *Cognitive Science*, *41*(6), 1589–1612. <https://doi.org/10.1111/cogs.12429>
- Schloss, K. B., Strauss, E. D., & Palmer, S. E. (2013). Object color preferences. *Color Res. Appl.*, *38*: 393–411. <https://doi.org/10.1002/col.21756>
- Simoncelli, E. P., & Olshausen, B. A. (2001). Natural Image Statistics and Neural Representation. *Annual Review of Neuroscience*, *24*(1), 1193–1216. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.1193>
- Skelton, A. E., Catchpole, G., Abbott, J. T., Bosten, J. M., & Franklin, A. (2017). Biological origins of color categorization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(21), 5545–5550. <https://doi.org/10.1073/pnas.1612881114>
- Sprow, I., Baranczuk, Z., Stamm, T., & Zolliker, P. (2009, January). Internet-based psychometric evaluation of image quality. In *Image quality and system performance VI* (Vol. 7242, pp. 95–106). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.805313>
- Stevens, S. S., & Marks, L. E. (2017). *Psychophysics: Introduction to its perceptual, neural, and social prospects*. Routledge.
- Taylor, C., Clifford, A., & Franklin, A. (2013a). Color preferences are not universal. *Journal of Experimental Psychology: General*, *142*(4), 1015. <https://doi.org/10.1037/a0030273>
- Taylor, C., Schloss, K., Palmer, S. E., & Franklin, A. (2013b). Color preferences in infants and adults are different. *Psychonomic bulletin & review*, *20*(5), 916–922. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0411-6>
- Thurstone, L. L. (1927a). A law of comparative judgment. *Psychological Review*, *34*(4), 273–286. <https://doi.org/10.1037/H0070288>

- Thurstone, L. L. (1927b). The method of paired comparisons for social values. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 21(4), 384–400. <https://doi.org/10.1037/h0065439>
- Thurstone, L. L. (1931a). The Measurement of Change in Social Attitude. *Journal of Social Psychology*, 2(2), 230-235. <https://doi.org/10.1080/00224545.1931.9918969>
- Thurstone, L. L. (1931b). Rank Order as a Psychophysical Method. *Journal of Experimental Psychology*, 14. <https://doi.org/10.1037/h0070025>
- Uusküla, M., & Bimler, D. (2016). From listing data to semantic maps: cross-linguistic commonalities in cognitive representation of colour. *Folklore Elect. J. Folklore* 64, 57–90. <http://dx.doi.org/10.7592/FEJF2016.64.colour>
- Witzel, C., & Gegenfurtner, K. R. (2018). Color perception: Objects, constancy, and categories. *Annual Review of Vision Science*, 4(1), 475–499. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-091517-034231>
- Wuerger, S., Xiao, K. (2016). Color vision, opponent theory. In M. R. Luo. (Ed.) *Encyclopedia of color science and technology* (pp. 413-418). New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8071-7_92
- Yu, L., Westland, S., & Li, Z. (2021). Analysis of experiments to determine individual colour preference. *Color Research & Application*, 46(1), 155-167. <https://doi.org/10.1002/col.22589>
- Zeki, S. (1999). Art and the brain, J. *Consciousness Studies* 6–7, 76–96.
- Zeki, S., Javier, A., & Mylonas, D. (2020). The biological basis of the experience and categorization of colour. *European Journal of Neuroscience*, 51(2), 670-680. <https://doi.org/10.1111/ejn.14557>

ANEXO A

Graffiti_1: 21 iluminação natural; 7 iluminação artificial; 24 iluminação natural + artificial. 17 realizaram o ajuste do monitor para sRGB.

Graffiti_2: 16 iluminação natural; 12 iluminação artificial; 12 iluminação natural + artificial.

9 realizaram o ajuste do monitor para sRGB .

Graffiti_3: 10 iluminação natural; 20 iluminação artificial; 29 iluminação natural + artificial. 12 realizaram o ajuste do monitor para sRGB.

Graffiti_4: 18 iluminação natural; 15 iluminação artificial; 5 iluminação natural + artificial. 5 realizaram o ajuste do monitor para sRGB .

Canhotos: graffiti_1 (4); graffiti_2 (1); graffiti_3 (7); graffiti_4 (4)

