

ARTIGO ORIGINAL

Revisão sistemática dos métodos computacionais para avaliação e comparação de cores

A systematic review of computational methods for evaluation and comparison of colors

Patrícia Kyoko Onishi¹, Maria Elizete Kunkel ¹, Ezequiel Roberto Zorzal
^{1,2}

¹ICT/UNIFESP, Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, SP, Brasil, ²INESC-ID Lisboa, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal

*onishipatricia@gmail.com; elizete.kunkel@unifesp.br; ezorzal@unifesp.br

Recebido: 04/06/2019. Revisado: 04/11/2019. Aceito: 12/02/2020.

Resumo

Background, a avaliação de cores é usada na indústria para garantir que as cores de uma imagem ou material sejam idênticas àquelas aprovadas durante o desenvolvimento e que a variação da cor final não seja perceptível para o consumidor. Este estudo teve como objetivo a investigação de abordagens e métodos para identificação e avaliação de cores. Uma revisão sistemática da literatura foi realizada com base na seleção de 64 artigos publicados entre 2008 e 2019. **Resultados**, esta revisão sistemática deve incentivar o desenvolvimento de métodos de avaliação de cores, particularmente para a indústria direcionada ao consumidor final. Os resultados indicam que a análise de cores é aplicável em diversas áreas, porém as áreas da saúde e da agricultura se destacaram na pesquisa com participação de 42.2% dos artigos. Os resultados apontaram a necessidade de mais estudos voltados para a área industrial, particularmente com maior participação de profissionais na validação de novos métodos. **Conclusões**, este trabalho contribui com a pesquisa bibliográfica e sistemática da literatura e possibilita o mapeamento e o estado de conhecimento atual dos estudos correlatos.

Palavras-Chave: Avaliação de cor; cor; indústria; revisão sistemática

Abstract

Background, color evaluation is used in the industry to ensure that the colors of an image or material are identical to those approved during of the initial project and that the process variation is not noticeable to the consumer. This research aimed to investigate approaches and methods for color identification and evaluation. The systematic review of the literature was carried out based on the selection of 64 articles published between 2008 and 2019. **Results**, this systematic review should encourage the development of color assessment methods, particularly for the end consumer industry. The results indicate that color analysis is applicable in several areas, but the areas of health and agriculture lead the research with participation of 42.2 % of articles. The results of this systematic review should encourage the development of color assessment methods, particularly for the end consumer industry. The results pointed out the need for more studies focused on the industrial area, particularly with greater participation of professionals in the validation of new methods. **Conclusions**, this work contributes to the survey of the literature that enabled the mapping and the current knowledge state of the correlated studies.

Keywords: Color evaluation; color; industry; systematic review

1 Introdução

A avaliação de cores através de imagens digitais possui ampla aplicação na indústria de desenvolvimento de produtos. Diversas técnicas computacionais têm sido utilizadas no processo e desenvolvimento de um conjunto formado por *software* e *hardware*. A automatização desse processo é uma forma de padronizar os resultados esperados, por exemplo, muitas vezes é necessário fazer um pré tratamento à avaliação da imagem para realçar e facilitar a detecção das cores em um processo automatizado. Essa etapa, chamada de preparação da imagem, é uma etapa importante que deve ser considerada antes do início do desenvolvimento do *software* (Rahman et al., 2017).

A cor é um elemento essencial das percepções visuais dos seres humanos no cotidiano. Por exemplo, a harmonia das cores em obras de arte ou filmes podem influenciar emoções, sentimentos e até nossos desejos. Assim, *designers* e artistas devem se esforçar para construir conceitos básicos de cores em suas obras (Cho et al., 2017).

O estudo de Sikandar et al. (2017) ressalta que a escolha do espaço correto para avaliação das cores interfere diretamente no resultado do experimento. Por isso, o conhecimento das cores é relevante e necessário. Os espaços de cores em RGB (*Red, Green, Blue*), HSV (*Hue, Saturation, Value*) e YCbCr (espaços de cores definidos por uma transformação de coordenadas matemáticas de um espaço de cores RGB associado) são comumente usados para detectar as cores da imagens.

O modelo RGB é um sistema aditivo composto por três canais de cores, referidas como as três cores primárias que podem formar 16.777.216 diferentes combinações de tons, saturação e brilho. O espaço de cor do HSV (Matiz, Saturação e Valor) é uma forma mais consistente de descrever a experiência visual humana. O HSV é caracterizado por ser uma transformação não-linear do sistema de cores RGB. No modelo HSV são adicionados as cores cinza, preto e branco na paleta para obter brilho de cores e saturação de cores diferentes (Severino and Gonzaga, 2013, Chen and Zhou, 2015). O espaço de cores YCbCr é desenvolvido para padrões de vídeo digital, transmissões de rádio e televisão. Em YCbCr, os componentes RGB são separados em luminosidade, azul de crominância e vermelho de crominância (Sinha et al., 2012).

O *hardware* para avaliação de cores é importante para padronização da luminosidade da imagem. Uma cabine de luz ou um local com as mesmas condições até mesmo de distância da câmera da imagem são necessários para que essas variações, que são inerentes do ambiente, não atrapalhem na detecção da cor e nas demais características da imagem como o contorno do objeto em estudo (Nashat et al., 2011, Casacuberta et al., 2016). Diversos *hardware* têm sido desenvolvidos ou adaptados para avaliação de cores. Um exemplo é o *hardware* apresentado por Ali and Malik (2010) como um *co-design* do dispositivo FPGA (*field programmable gate array*) de tamanho médio e com baixo custo. Ainda, mesmo em ambientes de *hardware* não estático, como uma cabine de luz fixa, trabalhos como Mahmud et al.

(2019), Dammer et al. (2011), Blok et al. (2016), Lv et al. (2009) apresentaram uma estrutura móvel para tratar com uma estrutura escura para reduzir a influência da luz externa nas imagens.

A junção do *software* e do *hardware* de processamento de imagens formam equipamentos que podem ser aplicados em diversas áreas, tais como: saúde, arte, automobilística, agrícola e alimentos. As automatizações nos processos de avaliação de cores e formatos auxiliam os médicos a detectar com maior precisão doenças. Na indústria a automatização traz, além da precisão, a agilidade da detecção de produtos que saíram com defeito da linha de produção.

Considerando a complexidade do tema sobre avaliação da cor em diversas áreas, foi conduzida uma revisão sistemática da literatura (RSL) para investigar quais métodos computacionais estão sendo propostos. O objetivo desse trabalho foi mapear os principais desenvolvimentos nesta área por meio da RSL.

2 Método

A metodologia adotada para conduzir a RSL foi adaptada de Martins (2016). A Fig. 1 apresenta os procedimentos adotados nas etapas da RSL desta pesquisa.

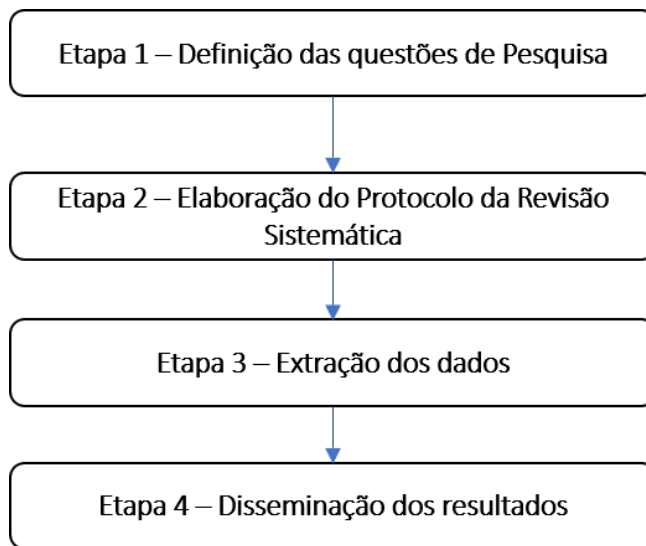


Figura 1: Etapas da Revisão Sistemática.

2.1 Questões de pesquisa para extração de dados

Com o objetivo de orientar a busca dos dados do estudo e seu desenvolvimento. A pesquisa foi guiada por um tópico amplo (*software* de cor), tópico estreitado (cor e indústria) e tópico focado (*software* para análise de cor na indústria). Com isso, definiu-se o seguinte questionamento: Quais métodos têm sido bem sucedidos para detectar, identificar e comparar imagens no processo

da avaliação de cor?

Assim, na Etapa 2 foram elaboradas as questões de pesquisa e seus objetivos para realizar a extração dos resultados a partir dos artigos encontrados e responder a questionamento levantado. A [Tabela 1](#) mostra as questões de pesquisa utilizadas neste estudo para extração e análise dos dados.

2.2 Protocolo da Revisão Sistemática

Na Etapa 3 foram definidas as bases de busca utilizadas na RSL, a condição de busca e os critérios de seleção dos artigos. Optou-se por utilizar as bases *ACM Digital Library*, *IEEE Xplore Digital Library*, *Science Direct* e *Springer Link*, pois estas bases possuem publicações indexadas com alto impacto e são preponderadas para as áreas da Computação e Indústria.

A condição de busca foi baseada em três palavras: *color*, *image* e *comparison*. Alguns ajustes da combinação de formas de busca usando uma *string* para representar a condição de busca foram necessários ([Tabela 2](#)). Na base *Springer Link* e *Science Direct* foi inserido no motor de busca a palavra *software*, pois a busca estava retornando outras formas de comparação de imagem por cor que não eram associadas à pesquisa. Na base *ACM Digital Library*, a busca com a palavra *comparison* retornou somente dois artigos, por isso a palavra foi retirada com o objetivo de obter mais artigos que pudessem ser avaliados nesta RSL.

Os critérios de seleção dos artigos foram divididos em inclusão e exclusão. Os critérios de inclusão foram: idioma inglês e espanhol e artigos completos publicados em conferências, periódicos ou revistas. As demais fases estão reportadas no diagrama apresentado na [Fig. 2](#). Os critérios de exclusão foram: a negação dos critérios de inclusão e a exclusão de artigos com a palavra *watermarking* (aplicação do símbolo da marca d'água em imagens para registrar o domínio da imagem) por não ser objetivo da pesquisa. Após a aplicação dos critérios de seleção foram obtidos 64 artigos que foram analisados nesta RSL.

2.3 Extração de Dados

Na etapa de extração de dados foi elaborada uma planilha eletrônica para facilitar a compilação dos dados de acordo com a [Tabela 3](#). Os artigos escolhidos para extração de dados foram gerenciados e organizados pelo Mendeley ([Mendeley, 2019](#)).

3 Resultados e Discussões

O propósito desta pesquisa foi realizar um levantamento e mapear o conhecimento de quais métodos computacionais vêm sendo aplicados para avaliação de cor.

A extração de dados desta RSL foi realizada com 64 artigos publicados entre 2008 à 2019 à partir das bases *ACM Digital Library*, *IEEE Xplore Digital Library*, *Science Direct* e *Springer Link*. Ao todo, foram analisados artigos

de 23 países, sendo a maioria com autores provenientes da China e da Índia.

A [Fig. 3](#) apresenta a distribuição da quantidade de artigos selecionados por ano de publicação. O resultado da extração dos dados indica que os temas processamento e avaliação de cor através de imagens não são atuais, porém, sempre são discutidos e propostos em novos estudos. Observa-se que 59,4% dos artigos selecionados da RSL foram publicados entre 2015 e 2019. Ou seja, os artigos são atuais e observou-se que os temas estão sendo mais discutidos nestes últimos anos, principalmente, pelas aplicações possibilitadas por técnicas de processamento de imagens.

A [Tabela 4](#) apresenta as áreas de aplicações identificadas nos artigos analisados nesta pesquisa. Nota-se que alguns artigos não foram categorizados em aplicações específicas, pois apresentaram um contexto generalista. Ainda, a [Fig. 4](#) mostra a origem das publicações, abordando os países onde seus pesquisadores se interessaram mais por esse campo de estudo.

A China é o país mais representado pelos dados extraídos dos artigos selecionados, em 22% dos casos, seguido da Índia com 9%. O Brasil, Canadá e Indonésia representam, individualmente, 6% dos artigos analisados. Os demais países como Estados Unidos, França, Alemanha, Malásia, Paquistão, México, Espanha, Bulgária, Tunísia, Tanzânia, República Tcheca, Suíça, Itália, Dinamarca, Holanda, Argentina, Egito, Reino Unido, Japão, Bangladesh, juntos contribuíram com 50% dos artigos selecionados.

3.1 Q1: Quais métodos computacionais são usados na avaliação de cor?

Nesta RSL observou-se que existem diversos modelos para avaliação de cor através do processamento de imagens. O processo de avaliação de cor tem algumas etapas comuns que podem ser realizadas por diferentes *software*, algoritmos ou técnicas. A imagem precisa passar pela etapa de segmentação de cores, seja pelo espaço de cor RGB, HSV e/ou YCbCr. Após essa etapa, acontece a extração de algumas características da imagem, dentre elas a cor e quando esse processo é aplicado, é criado um banco de dados, imagens ou características específicas para ser comparado com a imagem que se deseja avaliar.

A conversão das imagens em *pixel* para o espaço de cor RGB é um dos primeiros passos para o processamento de imagens, uma forma de traduzir a imagem em números, possibilitando o desenvolvimento de algoritmos. Diversos trabalhos têm realizado esta conversão utilizando *software* livres, tais como o *ImageJ* e *Image Studio Lite* ([Vidal et al., 2018](#), [Solana-Altabella et al., 2018](#), [Azeem et al., 2019](#), [Casacuberta et al., 2016](#)).

A avaliação automática de cores pela regressão linear de um modelo treinado foi desenvolvida por [Lin and Hanrahan \(2013\)](#). Esse modelo foi comparado com uma avaliação feita por pessoas que demonstraram escolhas de cores diferentes do *clustering k-means* e *c-means* amplamente usado algoritmos. O estudo escolheu seis características da imagem e fez a regressão linear de

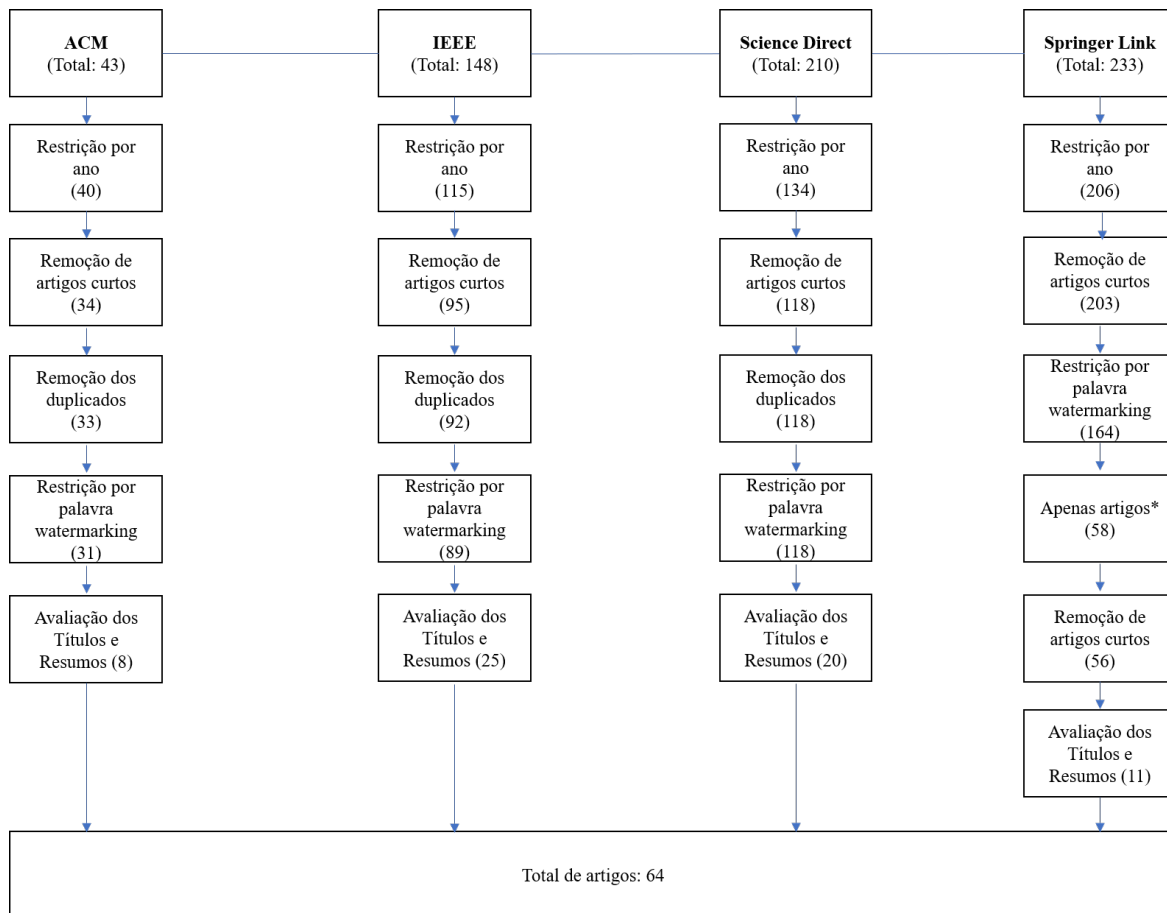


Figura 2: Diagrama do processo de extração de dados.

Tabela 1: Questões de pesquisa selecionadas para a extração de dados

ID	Questão	Objetivo
Q1	Quais métodos computacionais são usados na avaliação de cor?	Identificar as metodologias/técnicas utilizadas para a avaliação de cor
Q2	Qual é o propósito deste método?	Identificar o objetivo específico do método
Q3	Qual é o benefício deste método?	Avaliar as vantagens do uso
Q4	O método é voltado para alguma aplicação específica?	Identificar se o método tem a aplicação em uma área específica
Q4.1	Se sim, para que área e qual aplicação?	Descrever a utilização do método

Tabela 2: Bases de busca, *string* e resultado

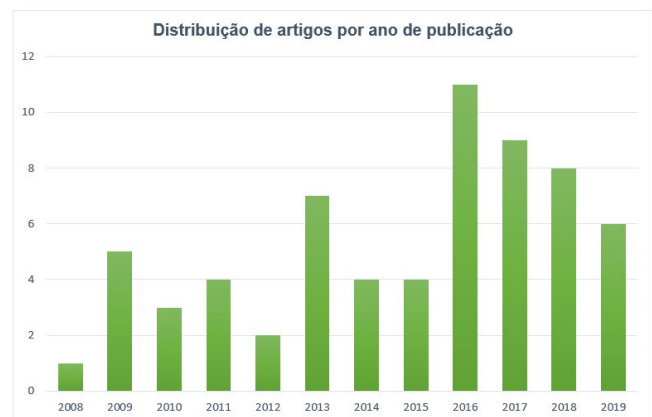
Base	String	Artigos Selecionados
ACM Digital Library	Title:(+color+image) AND recordAbstract:(software + comparison)	43
IEEE	((("Documento Title": color) AND "Document Title": image) AND "Abstract": software) OR "Abstract": comparison))	148
Science Direct	Title, Abstract, Keywords:(color+image+comparison +software)	210
Springer Link	Where the title contains: image color Filter filter: software or comparison.	233

Tabela 3: Itens da extração de dados

Coluna	Característica
C1	Título do artigo
C2	Ano
C3	Número de páginas
C4	Palavras-chave
C5	Periódico ou Revista
C6	Autor
C7	País
C8	Q1
C9	Q2
C10	Q3
C11	Q4
C12	Q4.1

LASSO (*Least Absolute Selection and Shrinkage Operator*) e obteve um modelo capaz de realizar a avaliação automática. Firdaus et al. (2014) utilizou o MATLAB para determinar a concentração de cromo (Cr) e ferro (Fe). O primeiro método usado foi baseado na regressão linear simples da cor individual R, G ou B. O segundo método foi baseado no quadrado mínimo parcial das três cores R, G e B.

Agrawal and Batra (2016) apresentam uma nova técnica de codificação e decodificação de imagens coloridas usando a Transformada Fracionada de Fourier (FrFT) e Transformada Discreta de Wavelet (DWT). O processo DWT pode ser utilizado para examinar as imagens em diferentes resoluções e diferentes partes de frequência. O processo 2D-DWT decompõe a imagem em quatro partes LL, HL, LH e HH. A sub-banda LL (sub-banda de baixa frequência) define a parte de aproximação enquanto LH, HL e HH (sub-bandas de alta frequência) definem a parte detalhada. Os autores deste estudo

**Figura 3:** Distribuição temporal dos artigos estudados no período de 2008 a 2019.

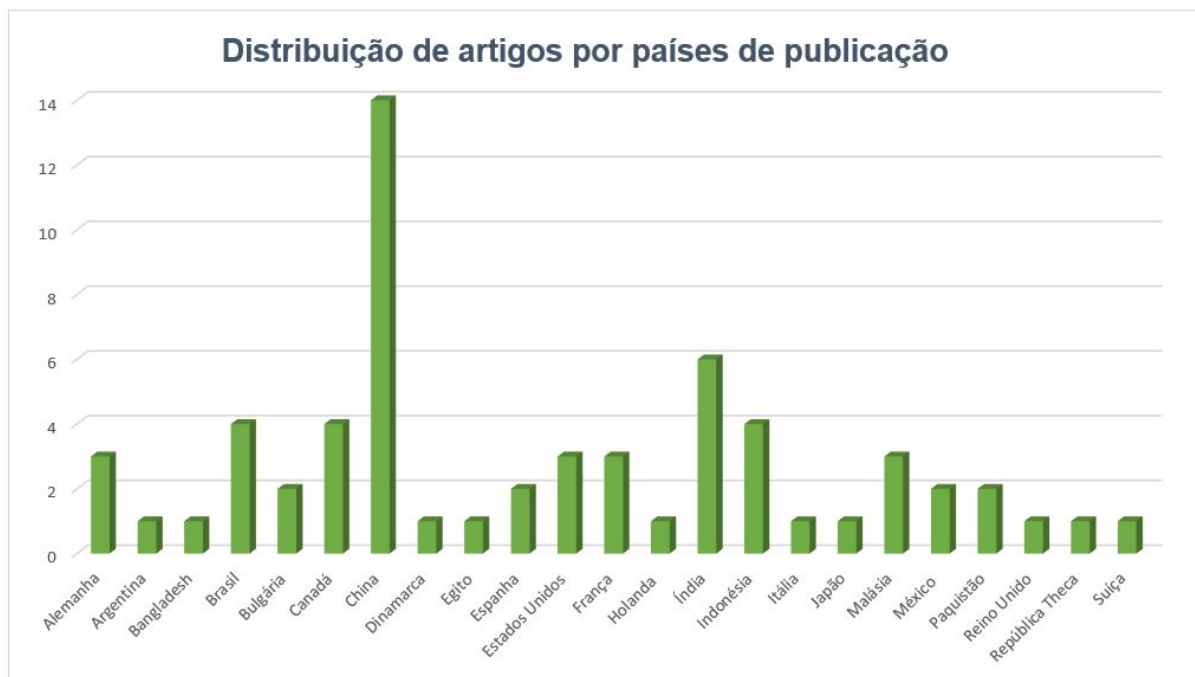
explicam de forma detalhada o processo desenvolvido.

Outro método apresentado por Mohamed et al. (2014), utiliza descritores de Clifford Fourier para reconhecimento de imagens coloridas. Um dos pontos relevantes apontados pelos autores é o tamanho da imagem em pixels que interfere na robustez dos descritores. De outra forma, Nian and Xiuyuan (2009) fazem o reconhecimento de imagens em escalas de cinza e apresentam como benefício o uso do algoritmo *multi-scale retinex*. Por outro lado, Sinha et al. (2012) apresentam um novo conjunto de descritores de cores (GLP e FC-GLP) para classificação de imagens de objetos e cenas.

Aksoy et al. (2017) apresentam um novo método para decomposição de imagens em segmentação de cores

Tabela 4: Artigos analisados e áreas de aplicações identificadas na RSL

Referência	Aplicação
Casacuberta et al. (2016), Relli et al. (2017), Solana–Altabella et al. (2018), Andersen et al. (2013), Kumar (2016), Akram and Tariq (2009), Căliman et al. (2011), Fu et al. (2011), Zheng et al. (2014), Pramkeaw (2017), Rahman et al. (2017), Kim and Lee (2019), Severino and Gonzaga (2013), Tsumura (2019), Korzynska et al. (2016)	Saúde
Mahmud et al. (2019), Dammer et al. (2011), Clément et al. (2015), Lv et al. (2009), Blok et al. (2016), Makky (2016), dos Santos Ferreira et al. (2017), Pablo (2017), Sarkate et al. (2013), Rukunudin (2018), Pearson et al. (2008), Mladenov et al. (2011)	Agricultura
Sikandar et al. (2017), Sun et al. (2014), Chen et al. (2014)	Reconhecimento facial
Vidal et al. (2018), Azeem et al. (2019), Andrade et al. (2013), Nashat et al. (2011);	Alimentos e Água
Chávez et al. (2015), Ali and Malik (2010), González–Rufino et al. (2013), Dubey and Grewal (2009), Firdaus et al. (2014), Sinha et al. (2012), Li et al. (2016), Zhao et al. (2018), Lin and Hanrahan (2013), Agrawal and Batra (2016), Aksoy et al. (2017), Wilkie and Holota (2013), Rahman et al. (2018), Nian and Xiuyuan (2009), Ivanova and Peter (2009), Chen and Zhou (2015), Cho et al. (2017), Mahalingam (2010), Sahu (2017), Mahamuni and Wagh (2017), Lagiewka et al. (2017), Mohamed et al. (2014), Wang et al. (2018), Guo and Sengur (2013), Xiong et al. (2018), Chen et al. (2014);	Outros

**Figura 4:** Quantidade dos artigos analisados em relação ao país das instituições dos autores.

RGB com facilidade de entendimento e aplicação. O objetivo da segmentação de cores suaves é decompor uma imagem em um conjunto de camadas com canais alfa. Neste estudo, o algoritmo para computação de segmentos de cores suaves de alta qualidade é descrito por três etapas: mistura não colorida, regularização mate,

refinamento de cores. Mahalingam (2010) utilizaram a segmentação de imagens e histogramas de cores para implementar um sistema de detecção de movimento de objetos ou pessoas. Uma das informações relevantes é sobre a descrição de como subtrair o fundo da imagem através da segmentação de imagens comparando com

alguns modelos já existentes. Neste estudo, o espaço de cor utilizado foi o RGB e a saturação da imagem foi baseado na escala HSV. O programa é composto por diversas etapas e desenvolvido com MATLAB. O artigo também traz a importância de ajustes no *hardware* antes de iniciar as operações e que as lentes utilizadas para a obtenção das imagens precisam ser calibradas.

Outro método encontrado nesta revisão foi o de Sahu (2017), que fazem a segmentação de imagens e correção de cor em imagens tridimensionais utilizando o espaço RGB-Depth de cores. O espaço RGB-Depth fornece dados de profundidade, além dos dados normais de cores para auxiliar no processamento de imagens tridimensionais. Esse estudo utilizou o MATLAB para realizar os testes e simulações. Guo and Sengur (2013) utilizaram o algoritmo direcional α -fuzzy-c-means para melhorar algoritmo Neutrosophic set (NS) de segmentação de imagens coloridas. Esse procedimento pode segmentar imagens com os objetos simples e distintos e as imagens com objetos complexos. Fuzzy c-means (FCM) é um método de agrupamento difuso que permite que um elemento pertença a dois ou mais agrupamentos. Relli et al. (2017) desenvolveram um *software* que utiliza o Fuzzy em uma das quatro etapas: remoção de fundo complexa, segmentação por classificação não supervisionada (Fuzzy Clustering), processo de limiar e filtragem por tamanho.

O estudo de Li et al. (2016), propõe o uso do modelo regressivo bidimensional para estimar o espaço de cor da imagem e analisa o problema da identificação das cores com o RGB utilizando somente uma imagem. O espaço de cor RGB é um modelo de cor específico baseado na percepção humana das cores. O espaço colorido refere-se à organização das cores, que permite representação reproduzível em cores. Com o objetivo de comparar os espaços de cores, os autores avaliaram três programas de cores que utilizam RGB: sRGB, adobeRGB e pro PhotoRGB, mostrando que tem diferença entre eles apesar de basear-se no mesmo espaço de cor.

Chen and Zhou (2015) utilizaram o método Laplaciano para melhorar a imagem e facilitar a utilização do método de identificação de cores. Neste estudo foi utilizado uma escala de cinza e o processamento binário, depois foram extraídas as cores da imagem utilizando o espaço RGB e HSV para gerar o histograma de cores. Dammer et al. (2011) desenvolveram um *software* de análise de imagem em escala de cinza e em tempo real por SYMACON GmbH (Barleben, Germany) e processado por uma computador industrial. Cho et al. (2017) apresentaram uma rede neural profunda, conhecida como PaletteNet, que recolora uma imagem automaticamente de acordo com uma cor alvo de paleta que é útil para expressar o conceito de cor de uma imagem. Algumas imagens são mais fáceis para recolorir, como o céu, outras são mais complexas, como as flores, devido a quantidade de cores contidas na imagem.

A pesquisa de Chen et al. (2014) apresenta o uso de álgebra *quaternion* (generalizações de números complexos), os momentos convencionais do tipo complexo (CTMs) para imagens em escala de cinza são generalizados para imagens coloridas como momentos tipo *quaternion* (QTM) de uma maneira holística.

Por fim, Wilkie and Holota (2013) mostraram a utilização da rede trixel n-tuple (NT) de nodos lógicos ou nós Mín / Máx que são utilizados para reconhecer imagens monocromáticas e coloridas com nível de confiança de 100%. Cada discriminador consiste em três redes separadas; um treinado no componente vermelho, um no componente verde e um no componente azul da imagem de entrada. O trabalho de dos Santos Ferreira et al. (2017) utilizou redes neurais convolucionais (ConvNets ou CNNs) para realizar a detecção de ervas daninhas a partir do reconhecimento de imagens de culturas de soja e classificá-las entre grama e folha larga, com o objetivo de aplicar o herbicida apropriado. Para o treinamento da Rede Neural foi utilizada a arquitetura CaffeNet e 218 imagens.

3.2 Q2: Qual é o propósito do método?

Os propósitos dos métodos desta RSL são: comparação de cor, segmentação de imagem, identificação de imagem, compactação de imagem, quantificação de cores e medição de cores. A extração de dados realizada nos artigos selecionados indicam que é necessário utilizar mais de um método para realizar todas as etapas do desenvolvimento do *software* e também que existem vários métodos que apresentam a mesma função. Assim, a escolha dos métodos ideais depende da aplicação e da finalidade do uso.

3.3 Q3: Qual é o benefício do método?

O benefício de cada método desenvolvido para fazer a avaliação de cores é medido pela acuracidade do resultado. Alguns artigos comparam os métodos com a visão humana (Lin and Hanrahan, 2013, Chávez et al., 2015, Makky, 2016, Relli et al., 2017, Clément et al., 2015), outros comparam com outros métodos (Andrade et al., 2013, Solana-Altabella et al., 2018, Azeem et al., 2019, Ali and Malik, 2010, Firdaus et al., 2014) ou até desenvolveram mais de um método para realizarem as comparações entre eles. Um exemplo é o estudo de Sikandar et al. (2017), que avalia mais de um espaço de cor e verifica que o sucesso na aplicação depende da finalidade do resultado.

3.4 Q4: O método é voltado para alguma aplicação específica?

Os artigos analisados pela RSL foram divididos em duas partes, uma parte dos artigos estavam relacionados ao processamento de imagens generalizando a aplicação e, outra parte, apresentou aplicações específicas para resolução ou melhoria de um problema.

Ao todo, 42,2% dos artigos analisados estão direcionados para aplicações nas áreas da saúde e da agricultura. Sendo que outros setores que mais se destacaram foram reconhecimento facial, alimentos e água. As referências de cada categoria identificada são apresentadas na Tabela 4.

3.5 Q4.1: Se sim, para que área e qual aplicação?

O processamento de imagens é aplicado em diversas áreas. Na indústria automotiva a classificação de pastilhas de freios de carro com aparências diferentes, antes realizada pela visão humana, passou pela automação no ano de 2018. [Zhao et al. \(2018\)](#) criaram um algoritmo que faz uma classificação inteligente baseada em uma máquina de visão tecnológica. Essa máquina é composta por uma câmara fotográfica de alta resolução e pela limiarização do sistema de conversão de cor no espaço HSV. O algoritmo possuiu uma acuracidade de 81,7%.

A segurança também é uma área que faz muito uso da tecnologia de processamento de imagens e identificação de cores. O reconhecimento facial é uma das mais importantes tecnologias de identificação biométrica utilizada para controle de segurança pública, segurança da informação e vigilância ([Sun et al., 2014](#)). Uma das formas de detectar a face humana é a partir da cor da pele. Porém, essa dificuldade é aumentada quando tem-se partes do rosto coberto por *hijab* e *niqab* (burcas), por exemplo, pois a cor do tecido pode influenciar na cor da pele. Com isso, [Sikandar et al. \(2017\)](#) utilizaram o processo de limiarização de componentes de cor. Neste contexto foi utilizado duas classificações de *pixels* da cor da pele usando RGB e espaço de cor YCbCr. Os resultados do experimento mostram que o espaço de cor YCbCr é melhor, se comparado ao RGB, para *hijab* e *niqab* com cor de tecido diferente do tom da pele e o RGB é superior ao YCbCr quando a cor do tecido está próxima do tom da pele. Com o mesmo objetivo, o estudo de [Sun et al. \(2014\)](#) apresenta o método CICS (Color Image Correlation Similarity Discriminant) que unifica a representação e o reconhecimento da imagem da face colorida em estrutura a partir do uso do espaço RGB. A pesquisa validou o método desenvolvido com 3 bases de faces diferentes: AR ([Martínez and Benavente, 1998](#)), FERET ([Phillips et al., 2000](#)) e FRGC ([Phillips et al., 2005](#)), resultando em um grande número de testes com faces masculinas e femininas.

[Wang et al. \(2018\)](#) propuseram uma nova técnica para a detecção de falsificação, quando uma ou mais regiões são copiadas e coladas dentro da mesma imagem. A técnica é baseada no modelo de invariância de cor e detector de SURF (características robustas aceleradas) e Transformada Exponencial do Complexo Polar de Quatérnio.

Na medicina a detecção de cores tem sido utilizada para aumentar a precisão da identificação de microaneurismas e exsudatos na progressão da retinopatia diabética que causam perda de visão. Uma combinação de algoritmos foi utilizada para a realização desse processo: algoritmo binário seletivo e a regularizado de filtragem de Gauss (SBGFRLS) na imagem pré-processada do fundo de olho; força de pressão assinada (SPF) para parar os contornos em bordas fracas ou borradas. A exatidão e especificidade médias dos exsudatos de detecção foram de 93,41% ([Kumar, 2016](#)). Com o mesmo objetivo do estudo anterior, outro estudo propôs um sistema automatizado para localização e detecção de

discos ópticos. A técnica localiza o disco óptico usando filtro e limite médio, extrai a região de interesse (ROI) e detecta o limite do disco óptico usando a transformada de *Hough*. O método proposto atingiu uma precisão média de 96,7% ([Akram and Tariq, 2009](#)).

Ainda, na medicina foi desenvolvido uma técnica para classificar a lesão da pele como melanoma, carcinoma basocelular, ceratoacantoma e células escamosas carcinoma a partir da avaliação de cores de imagens digitais melhorando a qualidade e a precisão sistema de diagnóstico de pele existente. O primeiro passo foi realizar um aumento de contraste entre a pele sem e com lesão através do *Color Thresholding in Lab*. O segundo passo foi realizar a segmentação da imagem com o *software* de código aberto (*Software Interactive Segmentation Tool*) a partir da limiarização no espaço RGB, depois extrair as características da imagem e compará-las a uma base que possui características dos quatro tipo de lesões propostas para detecção ([Rahman et al., 2017](#)). O estudo de [Căliman et al. \(2011\)](#) também traz soluções para auxiliar na avaliação do dermatologista de doenças de pele em relação a gravidade da lesão cutânea e escolha do tratamento, como a psoríase. O sistema é composto por uma câmara digital e um computador. O objetivo foi avaliar a área, eritema, endurecimento e escamação da lesão através do score PASI. Para isso, foi necessário a implementação de um sistema com segmentação de cores. No desenvolvimento do *software* foi utilizado o MATLAB e códigos escritos em C / C ++, incluindo a biblioteca OpenCV. [Tsumura \(2019\)](#) propõe uma análise de cor para detectar a alteração da umidade em várias áreas da palma da mão através do uso do MATLAB para a conversão de RGB e HS.

[Severino and Gonzaga \(2013\)](#) propõem uma nova técnica de processamento de imagens, baseada na mistura de cor e na experiência de pintura dos pintores. O método de distribuição de cores em RGB expressa a mistura das cores para segmentar a região da pele humana em imagens digitais: preta, verde, ciano, vermelha, magenta, amarelo e branco. [Kim and Lee \(2019\)](#) analisa o quanto a luz da tela de celular atrapalha o sono a partir da análise a temperatura de cada cor da imagem.

A medicina tem avançado com a técnica de processamento de imagens para avaliar o ângulo do joelho de pessoas com paralisias ou outro tipo de lesões do joelho a partir da detecção das cores ([Pramkeaw, 2017](#)). O desenvolvimento desse método auxilia no planejamento do tratamento e encurta o tempo de diagnóstico. Essa técnica traz o diferencial da detecção de cor em tempo real e foi desenvolvida utilizando a biblioteca OpenCV. O método desenvolvido apresentou acuracidade de 96% ([Rahman et al., 2017](#)).

A medicina atua na descoberta de novas soluções para auxiliar na detecção de sangue no trato intestinal através do processamento de imagens no espaço de cor RGB. Um local difícil do corpo humano para verificação de doenças, justificando a importância do estudo, auxiliando médicos no diagnóstico. [Fu et al. \(2011\)](#) utilizaram uma Rede Neural Perceptron Multicamadas (MLP) para fazer detecção dos *pixels* com e sem sangue de imagens WCE.

A pesquisa de [Zheng et al. \(2014\)](#) apresenta o desenvolvimento de uma *hardware* e um *software* para a avaliação de cor na medicina tradicional chinesa. O *hardware* possui especificação de iluminação padrão de uma lâmpada xenônio 5500K e temperatura de 25 °C, uma esfera para difundir a luz e uma câmara de alta resolução. O *software* é composto por três partes, sendo uma delas a identificação da pele através da limiarização de cor no espaço RGB. [Sarkate et al. \(2013\)](#) também desenvolveram um *hardware* e um *software* para a avaliação de cor, porém aplicada a agricultura de precisão para *Marketing* e *Gestão*. Neste estudo foi utilizado a limiarização para fazer a extração de flores e folhas verdes para facilitar a obtenção do histograma no espaço de cor HSV. O MATLAB foi utilizado para fazer o processamento da imagem e análise da imagem ressaltando importância dos filtros como parte da preparação da imagem para avaliação. A distância entre a câmara e as flores também foram previamente definidas.

A avaliação por imagens por escaneamento da imagem obtida no microscópio é muito utilizado na Biologia para o estudo de manifestações de doenças. Com isso, o trabalho de [Vahadane et al. \(2016\)](#) utilizou o processamento de imagens para auxiliar na avaliação do tecido humano por meio da decomposição de partes da imagem e análise da densidade através da cor. Neste estudo, foi utilizado o espaço de cor RGB e o histograma estatístico de cor. Os autores apresentaram dois métodos principais: *Sparse non-negative matrix factorization* (SNMF) e *Structure-preserving color normalization* (SPCN) para o desenvolvimento do *software*. Ainda na Biologia, o *Software Govocitos* estimam automaticamente a fecundidade a partir de imagens histológicas de peixes ovário. O novo algoritmo de otimização da polinização de flores (FPOA) proposto por [Deepa and Rasi \(2019\)](#) visa melhorar as características objetivas da abordagem básica do FPOA. O desempenho do *Global biotic cross-pollination algorithm* GBCPA é testado em um conjunto de dados de segmentação Gould composto por 715 imagens, tanto urbanas quanto rurais.

A área da Comunicação também utiliza o processamento de imagens para auxiliar as pessoas com dificuldades motoras ou de fala. A pesquisa de [Saraswati et al. \(2017\)](#) mostra que desenvolvimentos de escrita em um teclado virtual pode ser realizado pelo olhar. O método HaarCascade é usado para detectar característica da face e o método *Integral Projection* é usado para obter a posição do olho. Neste estudo o processo de limiarização foi utilizado para remover as cores com exceção da cor preta para ficar evidente o movimento da parte preta do olho. Neste estudo, também é utilizada uma câmara de filmagem conectada com o *software*. O trabalho também ressalta a importância da luminosidade para o processamento de imagens.

Na área de segurança, a pesquisa de [Xiong et al. \(2018\)](#) desenvolveu um *software* para segmentação de imagens e detecção de fogo em vídeo a partir das imagens e sensores de cor e temperatura em tempo real, baseado no espaço de cor em RGB. Utilizou-se as tintas térmicas que mudam em tempo real à medida que a temperatura é alterada. Foi utilizado o *Development Kit of Visual C++* e *OpenCV's CVCAM* para coletar os vídeos,

processamento e transferência de arquivos. O objetivo da segmentação de imagens do vídeo é extrair somente o objeto a ser analisado do fundo da imagem com a limiarização da imagem para detectar as cores. Após esse processo foi realizado a correção das cores. A precisão da segmentação e extração da chama é pré-requisito para melhorar a precisão e a robustez de todo o sistema de detecção, assim o alarme é acionado somente quando realmente existir fogo.

Na indústria da arte, o processamento de imagens tem sido utilizado para automatizar a extração de cores de uma imagem através de um modelo de regressão treinado em temas criados por pessoas ([Lin and Hanrahan, 2013](#)). Com objetivos similares, o trabalho de [Ivanova and Peter \(2009\)](#) apresenta para os estudantes um *software* experimental para a classificação completa de cores em harmonia e contrastes utilizando o descritor MPEG-7. Baseado no espaço RGB, o cálculo das cores é realizado a partir do sistema Milos. Esse trabalho agrega muito conhecimento científico, uma vez que traz explicações relevantes da percepção da visão humana em relação a um sistema de cor.

Na indústria de sistemas, a avaliação das cores é utilizada para a recuperar imagens em bancos de dados relacionais em um ambiente distribuído. O conteúdo da imagem de consulta e imagens no banco de dados são comparados usando informações sobre cores e pontos-chave da imagem local ([Lagiewka et al., 2017](#)). Com o mesmo objetivo de recuperar imagens, [Mahamuni and Wagh \(2017\)](#) buscaram a recuperação de imagem baseada em conteúdo através de ferramentas para anotação automática de imagens. No desenvolvimento do *software* foram utilizados a extração de cores a partir da segmentação de imagens para extrair objetos, a conversão de RBG para HSV e o cálculo da distância quadrática. Na extração da textura foi utilizado uma aproximação estatística, isso foi possível pois uma imagem é composta por múltiplos *pixels* e cada um tem uma diferença de intensidade e isso pode ser quantificado usando essa aproximação. O trabalho de [Himamunanto and Setyowati \(2019\)](#) propõe a digitalização de textos através de operações de inclinação da imagem a partir de *Hough Transform*.

Na indústria de alimentos, a avaliação de cores foi utilizada para detecção de falhas nos biscoitos por meio da distribuição de cores e textura da imagem. Neste estudo foi desenvolvido uma nova técnica de segmentação de imagens, utilizando a transformada de Hough para detecção e extração de características da imagem. O estudo também mostra o *hardware* usado para a máquina de visão, câmara digital, a distância da câmara e das luzes da câmara e ressalta a importância da calibração do *software* antes do uso do equipamento ([Nashat et al., 2011](#)). A calibração foi apresentada por [Dubey and Grewal \(2009\)](#), pois o método *three-fringe photoelasticity* (TFP), também conhecida como calibração RGB, é uma técnica simples de fornecer informações isocromáticas.

A pesquisa de [Pearson et al. \(2008\)](#) apresenta uma aplicação na área agrícola para inspecionar e classificar grãos de trigo. Por meio de um conjunto de câmara que utiliza o espaço de cor RGB como filtro e espelhos foi possível obter imagens dos grãos. A aquisição e o

processamento de imagens em tempo real foram ativados em um computador comum usando o protocolo de transferência de dados IEEE 1394, o DirectX e um processador *dual-core*. Após a imagem ser processada e o grão classificado foi ativado uma válvula de expulsão que fez a separação dos grãos duros vermelhos e brancos. [Mladenov et al. \(2011\)](#) também desenvolveram um *software* para avaliar a qualidade dos grãos de milho a partir da cor da imagem. O projeto chamado INTECHN criado com o objetivo de para garantir a qualidade e segurança dos produtos agrícolas possui um *hardware* com sistema de iluminação e com duas câmaras para fotografar em dois planos: horizontal e vertical. O *software* utiliza o espaço de cor RGB, MATLAB e sistemas de visão computacional. O mesmo foi usado para avaliar as características dos elementos da amostra de grãos. O *software Vision Builder* foi usado na medição da cor do arroz parboilizado e trouxe mais versatilidade do que equipamentos específicos para medir cor (*Hunterlab Labscan spectro colorimeter*). O *software LabVIEW* foi utilizado para medição dos dimensionais do arroz ([Rukunudin, 2018](#)).

Na indústria, a automatização dos processos é constante. O estudo de [Rahman et al. \(2018\)](#) mostra o desenvolvimento de um robô conectado a uma linha de produção que por meio do processamento de imagens, faz a detecção de cores diferentes para retirada de produtos inconsistentes. No desenvolvimento foi utilizada a tecnologia Pixy cam, capaz de rastrear objetos de sete cores diferentes e variar o brilho da imagem. A biblioteca Pixy foi usada para o processamento de imagens no microcontrolador Arduino.

Diversos métodos computacionais foram apresentados nesta RSL com o objetivo de entender quais métodos são melhores aplicados para a avaliação de cor. As diferentes aplicações foram importantes para enriquecer o estudo, pois todos eles convergem para o mesmo tema.

Os artigos em sua maioria utiliza como espaço de cor o modelo RGB, porém alguns utilizam uma combinação com os modelos o HSV e o YCbCr.

Nesta RSL observa-se que muitos artigos usam o MATLAB para fazer as simulações dos programas e desenvolvem nele o projeto de pesquisa ([Mahalingam, 2010](#), [Cäliman et al., 2011](#), [Sarkate et al., 2013](#), [Chen and Zhou, 2015](#), [Mahamuni and Wagh, 2017](#), [Sahu, 2017](#)). A pesquisa de [Rahman et al. \(2018\)](#) apresenta a tecnologia Pixycam capaz de fazer o rastreo de até 7 cores, facilitando uma parte do desenvolvimento do *software* de processamento de imagens.

O conjunto dos artigos analisados é relevante para o estudo em questão, pois todos trazem em sua composição modelos de processamento de imagens em escala de cinza ou em cores.

4 Conclusão

Analisar as cores é um procedimento desafiador. Existem vários programas desenvolvidos para essa finalidade, porém, muitos deles, não fizeram um estudo comparativo entre os resultados gerados pela tecnologia e especialistas treinados em avaliação de cor, gerando

possíveis dúvidas e questionamentos sobre a tecnologia resultante. Esse é um ponto primordial para a indústria, pois sempre é recomendado uma comparação entre tecnologias ou novos procedimentos. O desafio é desenvolver programas com o mesmo racional técnico e testá-los direcionando para a aplicação industrial e assim verificar a eficácia do *software*.

A RSL realizada mostrou a necessidade de uma combinação de métodos para cada etapa do processamento do *software*: identificação de cores, processamento da imagem, comparação entre as cores da imagem, e resultado da avaliação.

Os artigos analisados foram considerados relevantes para o estudo em questão, agregando conhecimento técnico sobre os métodos e a combinação destes para o desenvolvimento de um *software* de avaliação de cor. Acredita-se que novos estudos devem ser realizados propondo a melhoria ou a construção de métodos para facilitar a identificação das cores e facilitar a resolução de problemas em diversas áreas do conhecimento.

Agradecimentos

O último autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio recebido: grant#2018/20358-0, FAPESP.

Referências

- Agrawal, K. and Batra, S. (2016). Encoding of Color Images in DWT domain using FrFT, *Proceedings of the International Conference on Advances in Information Communication Technology & Computing - AICTC '16* pp. 1–6. <https://doi.org/10.1145/2979779.2979834>.
- Akram, M. U. and Tariq, A. (2009). Automated optic disk localization and detection in colored retinal images, *Proceedings of the 6th International Conference on Frontiers of Information Technology - FIT '09* p. 1. <https://doi.org/10.1145/1838002.1838042>.
- Aksoy, Y., Aydin, T. O., Smoli, A. and Pollefeys, M. (2017). Unmixing-based soft color segmentation for image manipulation, *ACM Transactions on Graphics* 36(4): 1. <https://doi.org/10.1145/3072959.3126800>.
- Ali, U. and Malik, M. B. (2010). Hardware/software co-design of a real-time kernel based tracking system, *Journal of Systems Architecture, Volume 56, Issue 8* pp. 317–326. <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2010.04.00>.
- Andersen, J. D., Johansen, P., Harder, S., Christoffersen, S. R., Delgado, M. C., Henriksen, S. T., Nielsen, M. M., Sørensen, E., Ullum, H., Hansen, T., Dahl, A. L., Paulsen, R. R., Børsting, C. and Morling, N. (2013). Genetic analyses of the human eye colours using a novel objective method for eye colour classification, *Forensic Science International: Genetics* 7(5): 508 – 515. <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2013.05.003>.
- Andrade, S. I. E., Lima, M. B., Barreto, I. S., Lyra, W. S., Almeida, L. F., Araújo, M. C. and Silva, E. C.

- (2013). A digital image-based flow-batch analyzer for determining Al(III) and Cr(VI) in water, *Microchemical Journal* **109**: 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.03.029>.
- Azeem, S. M. A., Madbouly, M. D. and El-Shahat, M. F. (2019). Determination of nitrite in processed meat using digital image method and powdered reagent, *Journal of Food Composition and Analysis* **81**: 28 – 36. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.05.003>.
- Blok, P. M., Barth, R. and van den Berg, W. (2016). Machine vision for a selective broccoli harvesting robot, *IFAC-PapersOnLine* **49**(16): 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.013>.
- Casacuberta, M., Kinunghi, S., Vennervald, B. J. and Olsen, A. (2016). Evaluation and optimization of the circulating cathodic antigen (poc-cca) cassette test for detecting schistosoma mansoni infection by using image analysis in school children in mwanza region, tanzania, *Parasite Epidemiology and Control* **1**(2): 105 – 115. <https://doi.org/10.1016/j.parepi.2016.04.002>.
- Chen, B., Shu, H., Coatrieux, G., Chen, G., Sun, X. and Coatrieux, J. L. (2014). Color Image Analysis by Quaternion-Type Moments, *Journal of Mathematical Imaging and Vision* **51**(1): 124–144. <https://doi.org/10.1007/s10851-014-0511-6>.
- Chen, F. Q. and Zhou, Y. P. (2015). Color feature extraction of Hainan Li brocade image based on RGB and HSV, *2015 12th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing, ICCWAMTIP 2015* pp. 214–219. <https://doi.org/10.1109/ICCWAMTIP.2015.7493978>.
- Cho, J., Yun, S., Lee, K. and Choi, J. Y. (2017). Palette-Net: Image Recolorization with Given Color Palette, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops 2017–July*: 1058–1066. <https://doi.org/10.1109/CVPRW.2017.143>.
- Chávez, G. M., Sarocchi, D., Santana, E. A. and Borselli, L. (2015). Optical granulometric analysis of sedimentary deposits by color segmentation-based software: OPTGRAN-CS, *Computers & Geosciences* **85**: 248 – 257. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.09.007>.
- Căliman, A., Ivanovici, M. and Richard, N. (2011). Fractal feature-based color image segmentation for a healthcare application in dermatology, *2011 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*, pp. 1–4.
- Clément, A., Verfaillie, T., Lormel, C. and Jaloux, B. (2015). A new colour vision system to quantify automatically foliar discoloration caused by insect pests feeding on leaf cells, *Biosystems Engineering* **133**: 128 – 140. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.03.007>.
- Dammer, K.-H., Möller, B., Rodemann, B. and Heppner, D. (2011). Detection of head blight (fusarium ssp.) in winter wheat by color and multispectral image analyses, *Crop Protection* **30**(4): 420 – 428. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.12.015>.
- Deepa, S. N. and Rasi, D. (2019). Global biotic cross-pollination algorithm enhanced with evolutionary strategies for color image segmentation, *Soft Comput.* **23**(8): 2545–2559. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-03720-7>.
- dos Santos Ferreira, A., Freitas, D. M., da Silva, G. G., Pistori, H. and Folhes, M. T. (2017). Weed detection in soybean crops using convnets, *Computers and Electronics in Agriculture* **143**: 314 – 324. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.10.027>.
- Dubey, V. N. and Grewal, G. S. (2009). ENoise removal in three-fringe photoelasticity by median filtering, *Optics and Lasers in Engineering, Volume 47, Issue 11* pp. 1226–1230. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2009.05>.
- Firdaus, M. L., Alwi, W., Trinoveldi, F., Rahayu, I., Rahmidar, L. and Warsito, K. (2014). Determination of chromium and iron using digital image-based colorimetry, *Procedia Environmental Sciences* **20**: 298–304. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.037>.
- Fu, Y., Mandal, M. and Guo, G. (2011). Bleeding region detection in WCE images based on color features and neural network, *Midwest Symposium on Circuits and Systems* pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/MWSCAS.2011.6026527>.
- González-Rufino, E., Carrión, P., Cernadas, E., Fernández-Delgado, M. and Domínguez-Petit, R. (2013). Exhaustive comparison of colour texture features and classification methods to discriminate cells categories in histological images of fish ovary, *Pattern Recognition, Volume 46, Issue 9* pp. 2391–2407. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2013.02.009>.
- Guo, Y. and Sengur, A. (2013). A novel color image segmentation approach based on neutrosophic set and modified fuzzy c-means, *Circuits, Systems, and Signal Processing* **32**(4): 1699–1723. <https://doi.org/10.1007/s00034-012-9531-x>.
- Himamunanto, A. R. and Setyowati, E. (2019). Comparison of skewness normalization methods on javanese script documents input, *2019 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)*, pp. 236–240. <https://doi.org/10.1109/ISEMANTIC.2019.8884254>.
- Ivanova, K. and Peter, S. (2009). Color harmonies and contrasts search in art image collections, *Proceedings - 2009 1st International Conference on Advances in Multimedia, MMEDIA 2009* pp. 180–187. <https://doi.org/10.1109/MMEDIA.2009.41>.
- Kim, H. and Lee, Y. H. (2019). Correlation analysis of image reproduction and display color temperature change to prevent sleep disorder, *IEEE Access* **7**: 59091–59099. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2914768>.
- Korzynska, A., Zak, J., Roszkowiak, L., Pijanowska, D. and Markiewicz, T. (2016). Color standardization for the immunohistochemically stained tissue section

- images, *2016 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST)*, pp. 48–53. <https://doi.org/10.1109/IST.2016.7738196>.
- Kumar, Manoj e Manikandan e Nath, M. K. (2016). Detection of Microaneurysms and Exudates from Color Fundus Images by using SGBFRLS Algorithm, *Proceedings of the International Conference on Informatics and Analytics - ICIA-16* pp. 1–6. <https://doi.org/10.1145/2980258.2980337>.
- Lagiewka, M., Korytkowski, M. and Scherer, R. (2017). Distributed image retrieval with color and keypoint features, *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications, INISTA 2017* pp. 45–50. <https://doi.org/10.1109/INISTA.2017.8001130>.
- Li, H., Kot, A. C. and Li, L. (2016). Color space identification from single images, *Proceedings - IEEE International Symposium on Circuits and Systems 2016-July(1)*: 1774–1777. <https://doi.org/10.1109/ISCAS.2016.7538912>.
- Lin, S. and Hanrahan, P. (2013). Modeling how people extract color themes from images, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '13* p. 3101. <https://doi.org/10.1145/2470654.2466424>.
- Lv, B., Li, B., Chen, S., Chen, J. and Zhu, B. (2009). Comparison of color techniques to measure the color of parboiled rice, *Journal of Cereal Science* **50(2)**: 262–265. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.06.004>.
- Mahalingam, T. e Mahalakshmi, M. (2010). Vision based moving object tracking through enhanced color image segmentation using haar classifiers, *Proceedings of the 2nd International Conference on Trendz in Information Sciences and Computing, TISC-2010* pp. 253–260. <https://doi.org/10.1109/TISC.2010.5714650>.
- Mahamuni, C. V. and Wagh, N. B. (2017). Study of CBIR methods for retrieval of digital images based on colour and texture extraction, *2017 International Conference on Computer Communication and Informatics, ICCCI 2017* pp. 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICCCI.2017.8117784>.
- Mahmud, M. S., Zaman, Q. U., Esau, T. J., Price, G. W. and Prithiviraj, B. (2019). Development of an artificial cloud lighting condition system using machine vision for strawberry powdery mildew disease detection, *Computers and Electronics in Agriculture* **158**: 219 – 225. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.02.007>.
- Makky, M. (2016). Portable Low-cost Non-destructive Ripeness Inspection for Oil Palm FFB, *Agriculture and Agricultural Science Procedia, Volume 9* pp. 230–240. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.139>.
- Martínez, A. and Benavente, R. (1998). The ar face database, *Technical Report 24*, Computer Vision Center, Bellatera. Disponível em <http://www.cat.cvc.uab.es/Public/Publications/1998/MaB1998>.
- Martins, Luiz Eduardo G. e Gorschek, T. (2016). Requirements engineering for safety-critical systems: A systematic literature review, *Information and Software Technology* **75**: 71–89. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2016.04.002>.
- Mendeley (2019). Mendeley – reference management software & researcher network. Disponível em <https://www.mendeley.com/>.
- Mladenov, M. I., Penchev, S. M., Dejanov, M. P. and Mustafa, M. S. (2011). Quality assessment of corn grain sample using color image analysis, *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety* **5(3–4)**: 111–127. <https://doi.org/10.1007/s11694-011-9118-4>.
- Mohamed, H., Mohamed, A. and Smach, F. (2014). Hardware implementation of gdfd for color images recognition, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/WCCAIS.2014.6916576>.
- Nashat, S., Abdullah, A. and Abdullah, M. Z. (2011). A robust crack detection method for non-uniform distributions of coloured and textured image, *2011 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques, IST 2011 - Proceedings* pp. 98–103. <https://doi.org/10.1109/IST.2011.5962232>.
- Nian, L. and Xiuyuan, P. (2009). Multiscale retinex color image recovery enhancement algorithm, *2009 Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2009* **3976**: 3976–3979. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2009.5192094>.
- Pablo, L.; Jose, L. (2017). Detección de árboles dañados por plaga en bosques de Abies religiosa en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, mediante fotografías aéreas infrarroja, *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Volume 2017, Issue 92* pp. 116–127. <https://doi.org/10.14350/ig.52339>.
- Pearson, T., Brabec, D. and Scott, H. (2008). Color image based sorter for separating red and white wheat, *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety* **2(4)**: 280–288. <https://doi.org/10.1007/s11694-008-9062-0>.
- Phillips, P. J., Flynn, P. J., Scruggs, T., Bowyer, K. W., Chang, J., Hoffman, K., Marques, J., Min, J. and Worek, W. (2005). Overview of the face recognition grand challenge, *Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05) - Volume 1 - Volume 01, CVPR '05*, IEEE Computer Society, USA, p. 947–954. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2005.268>.
- Phillips, P. J., Hyeonjoon Moon, Rizvi, S. A. and Rauss, P. J. (2000). The feret evaluation methodology for face-recognition algorithms, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **22(10)**: 1090–1104. <https://doi.org/10.1109/34.879790>.
- Pramkeaw, P. (2017). The Study Analysis Knee Angle of Color Set Detection Using Image Processing Technique, *Proceedings - 12th International Conference on Signal Image Technology and Internet-Based Systems*,

- SITIS 2016 pp. 657–660. <https://doi.org/10.1109/SITIS.2016.109>.
- Rahman, M. A., Haque, M. T., Shahnaz, C., Fattah, S. A., Zhu, W. P. and Ahmed, M. O. (2017). Skin lesions classification based on color plane-histogram-image quality analysis features extracted from digital images, *2017 IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, pp. 1356–1359. <https://doi.org/10.1109/MWSCAS.2017.8053183>.
- Rahman, M. J., Prosad Das, D., Islam, O. and Zaman, H. U. (2018). A Novel Design of a Robotic Object Sorter Based on Color Differences using Image Processing Techniques, *International Conference on Computer, Communication, Chemical, Material and Electronic Engineering, IC4ME2 2018* pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/IC4ME2.2018.8465620>.
- Relli, C. S., Facon, J., Ayala, H. L. and Britto, A. S. (2017). Automatic counting of trypanosomatid amastigotes in infected human cells, *Computers in Biology and Medicine, Volume 89* 89: 222–235. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2017.08.010>.
- Rukunudin, R. R. M. F. I. S. K.–B. A. A. A. I. H. (2018). Effect of Background Color on Rice Seed Image Segmentation Using Machine Vision, *2018 International Conference on Computational Approach in Smart Systems Design and Applications (ICASSDA)* p. 4. <https://doi.org/10.1109/ICASSDA.2018.8477614>.
- Sahu, Arvind e Barse, K. (2017). Superpixel segmentation based a novel approach for colour correction of depth 3-D image in RGB-D systems, *1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, ICPEICES 2016* pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICPEICES.2016.7853303>.
- Saraswati, V. I., Sigit, R. and Harsono, T. (2017). Eye gaze system to operate virtual keyboard, *Proceedings - 2016 International Electronics Symposium, IES 2016* pp. 175–179. <https://doi.org/10.1109/ELECSYM.2016.7860997>.
- Sarkate, R. S., Kalyankar, N. V. and Khanale, P. B. (2013). Application of computer vision and color image segmentation for yield prediction precision, *Proceedings of the 2013 International Conference on Information Systems and Computer Networks, ISCON 2013* pp. 9–13. <https://doi.org/10.1109/ICISCON.2013.6524164>.
- Severino, O. and Gonzaga, A. (2013). A new approach for color image segmentation based on color mixture, *Machine Vision and Applications* 24(3): 607–618. <https://doi.org/10.1007/s00138-011-0395-z>.
- Sikandar, T., Ghazali, K. H., Mohd, I. I. and Rabbi, M. F. (2017). Skin color pixel classification for face detection with hijab and niqab, p. 1–4. <https://doi.org/10.1145/3132300.3132308>.
- Sinha, A., Banerji, S. and Liu, C. (2012). Novel color Gabor-LBP-PHOG (GLP) descriptors for object and scene image classification, *Proceedings of the Eighth Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing - ICVGIP '12* pp. 1–8. <https://doi.org/10.1145/2425333.2425391>.
- Solana-Altabella, A., Sánchez-Iranzo, M., Bueso-Bordils, J., Lahuerta-Zamora, L. and Mellado-Romero, A. (2018). Computer vision-based analytical chemistry applied to determining iron in commercial pharmaceutical formulations, *Talanta* 188: 349–35. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.06.008>.
- Sun, Y., Jia, H., Hu, Y. and Yin, B. (2014). Color face recognition based on color image correlation similarity discriminant model, *Multimedia Tools and Applications* 73(3): 2063–2079. <https://doi.org/10.1007/s11042-013-1638-y>.
- Tsumura, M. U. (2019). Skin color image analysis for evaluating wetness on palm with reducing influence of sharp highlights, p. 7. <https://doi.org/10.1007/s10015-019-00543-z>.
- Vahadane, A., Peng, T., Sethi, A., Albarqouni, S., Wang, L., Baust, M., Steiger, K., Schlitter, A. M., Esposito, I. and Navab, N. (2016). Structure-Preserving Color Normalization and Sparse Stain Separation for Histological Images, *IEEE Transactions on Medical Imaging* 35(8): 1962–1971. <https://doi.org/10.1109/TMI.2016.2529665>.
- Vidal, E., Lorenzetti, A. S., Lista, A. G. and Domini, C. E. (2018). Micropaper-based analytical device (μ PAD) for the simultaneous determination of nitrite and fluoride using a smartphone, *Microchemical Journal* 143: 467–473. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.08.042>.
- Wang, X. Y., Jiao, L. X., Wang, X. B., Yang, H. Y. and Niu, P. P. (2018). A new keypoint-based copy-move forgery detection for color image, *Applied Intelligence* 48(10): 3630–3652. <https://doi.org/10.1007/s10489-018-1168-4>.
- Wilkie, B. and Holota, R. (2013). The comparative recognition of monochrome and color images using networks of n-tuple and Min/Max nodes utilizing 'grouped nodes', *International Conference on Applied Electronics* pp. 1–6.
- Xiong, N. N., Shen, Y., Yang, K., Lee, C. and Wu, C. (2018). Color sensors and their applications based on real-time color image segmentation for cyber physical systems, *Eurasip Journal on Image and Video Processing* 2018(1): 1–16. <https://doi.org/10.1186/s13640-018-0258-x>.
- Zhao, L., Huang, W. and Sun, Z. (2018). A Color Segmentation and Feature Matching Algorithm for Car Brake Pad Image Classification, pp. 8–12. <https://doi.org/10.1145/3220511.3220517>.
- Zheng, D., Song, W., Dai, Z. and Wang, H. (2014). The objectifying system using for color inspection of traditional chinese medicine based on the digital image technology, pp. 21–25. <https://doi.org/10.1109/ICMB.2014.11>.