

# Filtro de Imagem Baseado em Matriz RGB de Cores-Padrão para Futebol de Robôs

Eder A. Penharbel, Ricardo C. Destro, Flavio Tonidandel, Reinaldo A.C. Bianchi

Centro Universitário da FEI – UniFEI  
Av. Humberto de A. Castelo Branco, 3972  
09850-901 - São Bernardo do Campo - SP - Brazil

{fciepenharbel, destro, flaviot, rbianchi}@fei.edu.br

***Abstract.** This work presents a possible approach to color filtering applied to robot soccer images. This approach uses the HSI color space mapped into the RGB space through a tri-dimensional matrix, avoiding either the RGB to HSI conversion and color comparisons or parameter manipulation.*

***Resumo.** Este trabalho apresenta uma solução para a filtragem de cores em imagens capturadas por câmeras de vídeo para a competição de futebol de robôs, utilizando o espaço de cores HSI mapeado em RGB através de uma matriz de classificação, evitando a transformação entre RGB e HSI ou a manipulação dos parâmetros e comparação das cores durante o processo de filtragem da imagem.*

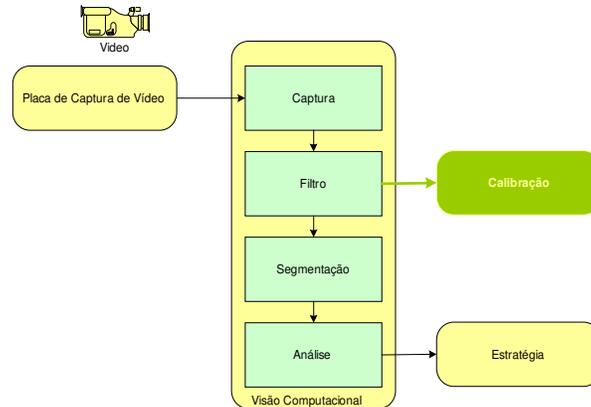
## 1. Introdução

A visão computacional para o futebol de robôs consiste em analisar uma imagem obtida através do dispositivo de captura de vídeo e extrair informações de alto nível, como por exemplo: posição da bola e posição e orientação dos robôs. A Figura 1 representa, esquematicamente, as etapas deste processo.

A visão computacional desempenha papel fundamental na eficiência de um time, influenciando diretamente nas decisões tomadas pelo sistema de inteligência e a estratégia da equipe. Neste sistema de visão, uma parte muito importante é o filtro de cores, que é usado na segmentação das imagens, permitindo localizar os objetos importantes para realizar o controle de um jogo.

A grande dificuldade em se implementar um filtro deste tipo é causada pela diferença de luminosidade que ocorre nas diferentes partes do campo, embora haja uma atenção dos organizadores de competições de futebol de robôs em manter a luminosidade do campo sempre constante.

Outro problema que alguns filtros simples apresentam é a dificuldade de separação correta de cores muito similares. Por vezes, cores muito próximas no espectro RGB podem ser confundidas, além do que o sinal de vídeo da câmera pode conter ruídos que, eventualmente, interferirão no sistema de visão, principalmente o filtro, prejudicando o seu desempenho.



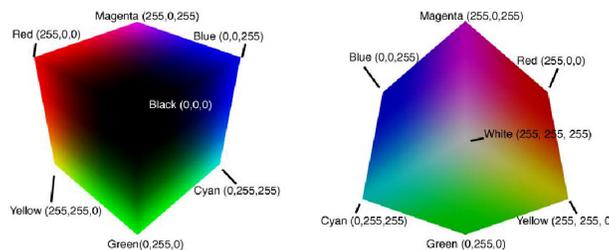
**Figura 1: Diagrama em blocos do sistema de visão computacional para o futebol de robôs**

Cores similares, muitas vezes, são dificilmente separadas no espaço de cores RGB, mas podem ser facilmente separadas no espaço de cores HSI (do inglês *Hue*, *Saturation* e *Intensity*). Algumas cores, como o amarelo e o azul podem ser separadas simplesmente com o parâmetro H, enquanto outras, como o laranja e o vermelho, deverão ser separadas também pela saturação e pela intensidade, pois o parâmetro H de cada uma delas é próximo.

Neste artigo, uma proposta de um filtro baseado em uma matriz RGB que aponta para cores-padrão é apresentada de forma a fornecer um sistema de filtragem mais robusto, computacionalmente eficiente e menos influenciado por ruídos ou variação de luminosidade. Essas cores-padrão são definidas como intervalos no espaço de cores HSI, evitando assim o cálculo de transformação RGB para HSI durante a filtragem que geralmente é computacionalmente ineficiente.

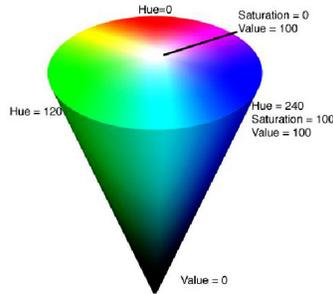
## 2. Espaço de cores RGB e HSI

Diversos programas de edição de imagens trabalham com espaços de cores diferentes, entre eles o RGB e o HSI [5]. O espaço de cores RGB se caracteriza por um cubo de lado R, comprimento G e altura B. A Figura 2 mostra a representação do formato RGB, na forma de um cubo. Nesta figura é possível observarmos que cores parecidas podem ser representada por diversos valores de RGB, o que dificulta a construção de um filtro baseado em limites para estes três parâmetros.



**Figura 2: Formato RGB: Representação do cubo RGB (figura de [5])**

O espaço de cores HSI particiona uma cor em Matiz, Saturação e Intensidade, sendo a Matiz a cor propriamente dita, a saturação identifica o quão forte é a cor e a Intensidade identifica a luminância da cor. A Figura 3 permite visualizar esta característica.



**Figura 3: Formato HSI: Representação do cone HSI (figura de [5])**

Esse espaço de cores, conforme [4], é propício para filtro que precisa separar cores independente da luminosidade. O grande problema de usar o espaço de cores HSI se dá pela necessidade de transformação de cada pixel da imagem, originalmente em RGB proveniente da câmera de vídeo, para o formato HSI, o que gasta tempo de processamento que pode tornar o filtro computacionalmente ineficiente. Essa ineficiência desestimula o uso do espaço de cores HSI e faz com que os pesquisadores mantenham o uso do RGB. O time de futebol de robôs GUARANÁ [1], por exemplo, utiliza-se das cores RGB em seu filtro, mas utiliza-se a relação G/B e R/G para torná-lo independente da luminosidade o máximo possível. Embora essa técnica de relação entre canais de cores tenha se mostrado eficiente nas competições realizadas pelo time Guaraná, ele ainda é susceptível a falhas e menos preciso que o espaço de cores HSI.

O espaço de cores HSI forma um cone, com H variando de 0 a 360 graus e S e I variando de 0 a 100 por cento. O formato é mostrado na Figura 3. As equações que transformam uma cor definida em RGB para HSI são dadas a seguir [5]:

$$H = \begin{cases} \Theta & B \leq G \\ 360 - \Theta & B > G \end{cases}$$

$$\Theta = \arccos \left( \frac{\frac{1}{2}((R - G) + (R - B))}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} \cdot (\min(R, G, B))$$

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

A transformação de HSI para RGB pode ser realizada com as equações seguintes:

$$R = I \left( 1 + \frac{S \cdot \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right)$$

$$G = 1 - (R + B)$$

$$B = I(1 - S)$$

Apesar da simplicidade das operações realizadas para as transformações citadas acima, a quantidade de pixels processada pelo módulo de filtro inviabiliza que esta transformação seja feita em tempo real, ou seja, durante o processamento de uma partida.

Como nem todas as placas de captura de vídeo são capazes de gerar imagens no formato HSI, optou-se por esta abordagem, que permite a aquisição em RGB, este sim um padrão em qualquer placa.

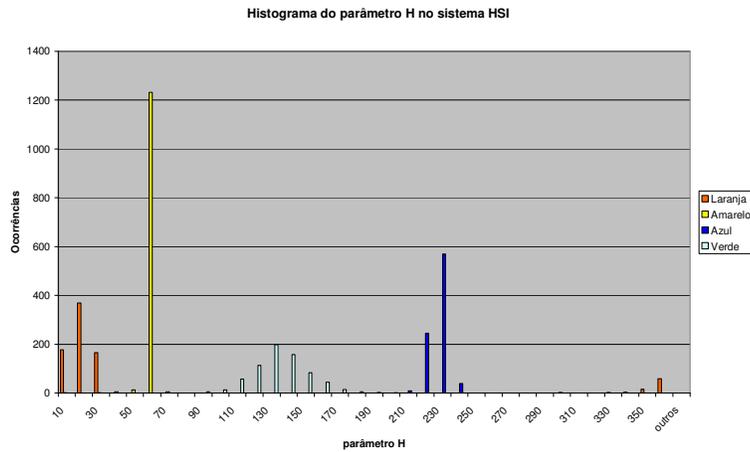
Baseado nestes dois argumentos construiu-se uma matriz tri-dimensional com 256x256x256 bytes, representando exatamente cada um dos parâmetros RGB e, como cada uma destas posições contém o código discretizado das cores-padrão definidas. Apesar da quantidade de memória alocada ser aparentemente grande – 16.8 MegaBytes – os sistemas computacionais atuais permitem o uso desta quantidade de memória sem grandes problemas. Assim, na construção deste sistema optou-se por otimizar a velocidade de processamento do filtro de cores, e não a quantidade de memória usada.

### **3. Análise de separabilidade das cores**

Para a verificação da separabilidade das cores durante uma partida de futebol de robôs foram realizados ensaios para a captura das cores em diversas situações de jogo. A captura nas diversas regiões de campo é necessária devido a não-uniformidade da iluminação do campo.

Estes ensaios comprovaram basicamente dois fatos importantes: o parâmetro H de uma cor representada varia muito pouco com as diferenças de luminosidade no campo e é possível realizar a separabilidade das cores baseado basicamente no parâmetro H, o que pode ser verificado na Figura 4.

H	Laranja	Amarelo	Azul	Verde
10	178	2	0	0
20	369	1	0	0
30	166	2	0	0
40	0	5	0	0
50	0	13	0	0
60	11	1231	0	0
70	0	6	0	0
80	0	0	0	0
90	0	0	0	6
100	0	0	0	13
110	0	0	0	58
120	0	0	0	114
130	0	0	0	199
140	0	0	0	159
150	0	0	0	84
160	0	0	0	45
170	0	0	0	15
180	0	0	0	15
190	0	0	0	3
200	0	0	0	2
210	0	0	9	0
220	0	0	246	0
230	0	0	570	0
240	0	0	39	0
250	0	0	0	0
260	0	0	0	0
270	0	0	0	0
280	0	0	0	0
290	0	0	0	0
300	0	3	0	0
310	0	0	0	0
320	0	0	0	0
330	3	0	0	0
340	4	1	0	0
350	16	0	0	0
360	59	0	0	0



**Figura 4: Tabela de ocorrências e histograma do parâmetro H para as cores utilizadas no futebol de robôs.**

Ainda da Figura 4 pode-se extrair parâmetros básicos, que serão refinados adiante durante a seção de calibração, para que o filtro funcione corretamente. Inicialmente, podem-se adotar os seguintes limiares para as cores testadas:

**Tabela 1 – Separação de cores em H**

	<i>Laranja</i>	<i>Laranja</i>	<i>Amarelo</i>	<i>Verde</i>	<i>Azul</i>
Mínimo	0	330	50	90	210
Máximo	30	360	80	170	240

Da tabela anterior, vale notar que a cor laranja, por se encontrar no extremo do cone HSI é representada por duas seqüências de limiares, o que foi facilmente contornado pelo sistema de calibração descrito a seguir.

#### 4. Caracterizando as cores-padrão

O sistema de filtro desenvolvido necessita da definição de cores-padrão, realizada na fase de calibração. Cada uma dessas cores-padrão deve ter a definição do intervalo de Matiz, Saturação e Luminância que identifica o objeto ou a cor na imagem de forma nítida e sem interferências. Um sistema GUI (*Graphical User Interface*) simples de calibração foi desenvolvido para ambiente LINUX permitindo a definição dessas cores-padrão – Figura 5.



**Figura 5: Ambiente de calibração**

Uma cor ou um conjunto de cores-padrão permite a definição de um objeto, como bola, cor primária ou cores secundárias do jogador adversário, bem como as cores primária e secundária de seu jogador. A matriz RGB dará a cor-padrão para os valores de R, G e B do pixel da imagem, basta o sistema de visão classificá-lo como o objeto definido.

A matriz RGB implementa o cubo RGB com conteúdo limitado ao das cores-padrão e não ao espectro de pouco mais de 16 milhões de cores. Isso significa, que a matriz classifica as possíveis 16 milhões de cores em no máximo 256 cores-padrão. Usualmente, menos de 10 cores-padrão são necessárias para identificar todos os objetos de um jogo de futebol de robôs do tipo Mirosot da FIRA [6] e, considerando o jogo de futebol de robôs com 11 jogadores cada time de cores secundárias diferentes, existiriam no máximo 25 cores. Assim, um cubo que identificaria 16 milhões de cores diferentes, passará a identificar menos de 25 cores, o que permitirá uma eficiência e precisão maior ao filtro de imagem.

Como um exemplo, suponha que seja possível definir 4 cores-padrão conforme a tabela 1. Cada uma dessas 4 cores-padrão englobariam um conjunto de cores RGB. Ao gerar a matriz com essas 4 cores-padrão, qualquer valor de RGB apontada para uma região da matriz que conterà ou o valor 0, quando não apontar para nenhuma das 4 cores-padrão, ou para valores entre 1 e 4, indicando que tal RGB corresponde a uma certa cor-padrão. Deste modo, é possível transformar rapidamente uma cor RGB em um objeto identificado por uma cor-padrão que foi definida usando as características do espaço de cores HSI.

Cabe ressaltar que as cores-padrão não são apenas cores, mas um conjunto de faixas de Matiz, de Saturação e de Luminância, que engloba todo espectro de uma cor

com suas possíveis variâncias de saturação (podendo inclusive ficar próximo a uma outra cor) e intensidade luminosa.

## 5. Experimentos

Foram realizados testes de filtro de imagem no ambiente de futebol de robôs. Neste ambiente, os robôs possuem etiquetas amarelas e azuis no topo, com um retângulo verde na frente identificando a frente do robô.

O teste realizado visa identificar a robustez do sistema de filtro baseado em matriz RGB de cores-padrão a variância de luminosidade.

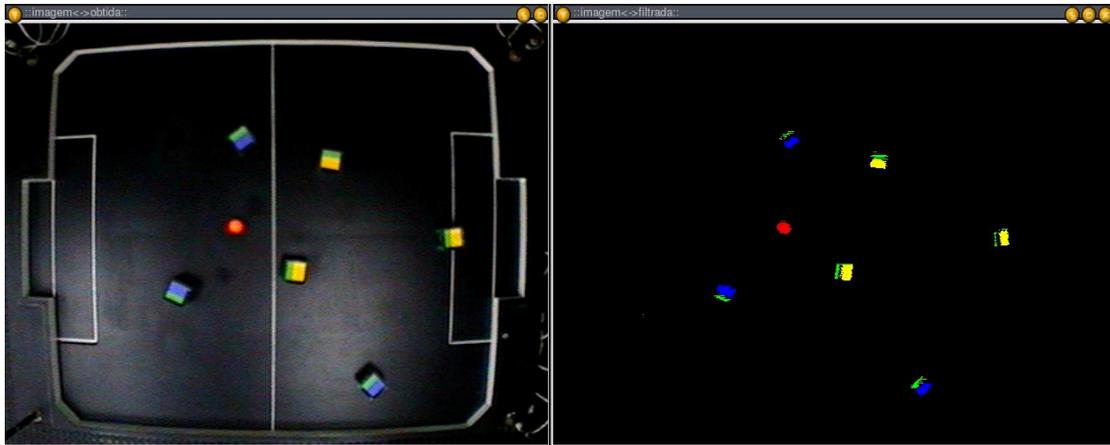
Foram espalhadas ao longo do campo etiquetas dos dois times de robôs e diversas bolinhas para que se pudesse identificar as variações de cores e tonalidades ao longo de um campo com iluminação não perfeitamente uniforme (condições geralmente encontradas nas competições).

A calibração e a definição de 4 cores-padrão, uma cor identificando a bolinha, outra identificando a cor primária dos adversários, e outras duas identificando as cores secundária e primária do nossos robôs, foi realizada, gerando a matriz RGB conforme especificação neste artigo.

A Figura 6 mostra o campo iluminado, no qual a calibração se baseou, e a respectiva imagem após o filtro. A Figura 7 mostra esse mesmo campo sem iluminação, e seu respectivo filtro com o uso da calibração e matriz do campo iluminado da Figura 6.



**Figura 6: Imagem capturada do campo com iluminação não-uniforme**



**Figura 7: Imagem capturada com pouca iluminação no campo**

Pelas figuras, pode-se concluir que o sistema de filtro é robusto o suficiente para continuar classificando as cores mesmo em uma brusca queda de iluminação ou mesmo em iluminação não-uniforme.

A velocidade de processamento na filtragem das cores que esta implementação atingiu foi de aproximadamente 5 milissegundos o que permite realizar a segmentação das imagens a uma taxa de 30 quadros por segundo. O processamento foi realizado em um microcomputador Pentium IV de 1.8 GHz, com 256 Mbytes de Memória RAM, utilizando sistema operacional Linux. Os programas foram escritos em C++ (compilador GNU gcc) e Kylix (compilador Borland). para a aquisição das imagens foi utilizada uma câmera colorida de 480 linhas de resolução horizontal conectada à entrada de vídeo composto de uma placa de aquisição de imagens padrão BT-878, comumente usada em kits de videoconferência como o fabricado pela PixelView. As imagens usadas te 640 x 480 pixels de resolução.

Ressalta-se ainda que é muito provável que uma câmera com saída RGB possa fornecer uma imagem melhor e sem ruídos do que a usada nos testes, fazendo com que o sistema se torne ainda mais preciso e robusto.

## **6. Conclusão**

O sistema de filtro apresentado possibilitou o desenvolvimento de uma padrão simples e robusto para a classificação das cores em imagens. Este sistema mostrou-se bastante robusto à variação de condições de iluminação nas situações de testes, o que é altamente desejável neste tipo de aplicação.

Além disso, o desenvolvimento utilizando apenas o padrão RGB para a classificação de cores permite que esta mesma solução seja utilizada em sistema de visão embarcada, como os utilizados em outras categorias do futebol de robôs.

Os próximos passos deste trabalho compreendem: o desenvolvimento de uma ferramenta de calibração totalmente integrada ao sistema de jogo, o que facilitará ainda mais a tarefa de calibração e também poderá evoluir para um sistema de calibração adaptativo e, como outro passo, a integração em um sistema de visão embarcado, onde os requisitos de desempenho e memória utilizados passam a ser ainda mais críticos.

Neste caso, pretende-se utilizar uma matriz esparsa alocada dinamicamente para armazenar a matriz de cores, o que reduz significativamente o uso de memória.

### **Referências Bibliográficas**

- [1] BIANCHI, A. C. R.; REALI-COSTA A. H. O Sistema de visão computacional do time FUTEPOLI. In: Congresso Brasileiro de Automática CBA, XIII, 2000. **Anais.** Florianópolis, UFSC / Sociedade Brasileira de Automática, 2000. P. 2156-2162.
- [2] FORSYTH, D.; PONCE, J. **Computer Vision – A Modern Approach.** Prentice Hall, Englewood Cliffs, 2003.
- [3] COLORSPACES. In: COULEUR.ORG. Disponível em: <http://www.couleur.org> (acessado em novembro/2003).
- [4] CARDANI, D. **Adventures in HSV Space.** Disponível em: <http://www.buena.com/articles/hsvspace.pdf> (acessado em abril/2004).
- [5] MCMAHAN, W; BUNTING, J.; MIDDLETON, R. **RoboCup Vision Processing Background.** Disponível em: <http://murray.newcastle.edu.au/users/students/2002/c3012299/bg.html> (acessado em abril/2004).
- [6] FIRA **Small League Mirosot Game Rules.** Disponível em: <http://www.fira.net/soccer/mirosot/overview.html>. (acessado em janeiro/2004).
- [7] SIMÕES, A. S.; COSTA, A. H. R. Classificação de cores por redes neurais artificiais: um estudo do uso de diferentes sistemas de representação de cores no futebol de robôs móveis autônomos. Encontro Nacional de Inteligência Artificial / XXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, vol. 1, p.182. **Anais.** SBC, Fortaleza. 2001.