

Uma Abordagem de Simplificação de Imagem Colorida Baseada na Árvore Geradora Mínima

Kleber J. F. Souza, Silvio J. F. Guimarães
Instituto de Ciências Exatas e Informática
PUC Minas
Belo Horizonte, MG, Brasil
kleberjfsouza@gmail.com, sjamil@pucminas.br

Resumo—A simplificação de imagem colorida é o processo de reduzir o número de cores reais presentes na imagem, preservando o máximo possível as formas e contornos dos objetos. Neste trabalho, é apresentada uma abordagem para a simplificação de imagem colorida baseada na Árvore Geradora Mínima, que possibilita controlar facilmente o número de cores representativas da imagem, além de possuir um filtro, baseado na frequência, para reduzir a influência de *outliers*. Resultados experimentais demonstram bons resultados para a abordagem proposta mesmo em imagens com grande quantidade de cores. Um estudo de caso, tratando a detecção automática de *pixels* associados a cor de fogo, é apresentado para exemplificar como a simplificação de imagem colorida pode auxiliar no processamento e análise de imagens digitais.

Palavras-chave—Simplificação de Imagem Colorida, Segmentação de Imagens, Árvore Geradora Mínima.

Abstract—The color image simplification is the process of reducing the number of real colors in the image preserving, as much as possible, the shapes and object contours. In this study, we present an approach to color image simplification based on Minimum Spanning Tree, which allows to easily control the number of colors representing image, also has a filter, based on the frequency, to reduce influence of outliers. Experimental results show good results for the proposed approach even in images with lots of colors. A case study, dealing with the automatic detection of pixel associated with the color of fire, is presented to exemplify how simplification of color image can assist in processing and analysis digital images.

Keywords—Color Image Simplification, Image Segmentation Minimum Spanning Tree.

I. INTRODUÇÃO

O processamento digital de imagens auxilia no processo de recuperação de informações com base no conteúdo visual das imagens. A maioria das técnicas desenvolvidas para o processamento de imagens eram baseadas em imagens monocromáticas que representam uma simplificação das cores reais de uma imagem em apenas um canal de cor, uma intensidade única, normalmente referenciada na literatura como escala de cinza, isto acontecia devido às limitações dos sensores da época e também pela facilidade em se trabalhar com apenas um canal de cor.

Atualmente a informação de cor está ganhando cada vez mais importância no processamento digital de imagens, prin-

cipalmente pela diminuição do preço dos sensores coloridos e *hardware* para processamento de imagens coloridas, com isso aumenta o interesse no estudo e criação de novas técnicas, utilizando as cores reais das imagens, para que seja possível expressar melhor a descrição e identificação dos objetos contidos em uma imagem, com base em sua característica de cor.

As imagens coloridas podem possuir milhares de cores diferentes, dificultando assim a análise e identificação dos objetos que ela contém. Muitas vezes a quantidade de cores utilizada para representar um mesmo objeto, ou região, pode dificultar ou, até mesmo, inviabilizar o processamento e a análise da imagem. Assim a simplificação de imagem colorida auxilia as técnicas de processamento digital de imagens, como a segmentação, ao diminuir o número de cores presentes em uma imagem, possibilitando uma melhor identificação e análise de seus objetos.

A principal contribuição deste trabalho é a aplicação de um método simples de agrupamento hierárquico, para a simplificação de imagens coloridas, que possibilita controlar facilmente o número de cores representativas da imagem preservando ao máximo a sua forma original, além de tratar a manipulação de várias cores, corrigindo *outliers* através de um filtro baseado na ocorrência da frequência das cores, uma vez que a simplificação de imagem colorida é um processo importante para o processamento e análise de imagens digitais coloridas.

A. Trabalhos Relacionados

Existem na literatura algumas abordagens de simplificação de imagem coloridas, porém a maioria delas falha ao lidar com um grande número de cores, pois não levam em consideração a ocorrência da frequência de cada cor produzindo assim *outliers*, que representa a simplificação das cores presentes na imagem para cores de baixa ocorrência de frequência que não sejam representativas para a imagem.

Em [1] vemos um método de simplificação de imagem colorida usando operadores morfológicos, semi-planos e métricas estatísticas, onde o objetivo é simplificar as cores da imagem, preservando as formas similares a um conjunto de referência pré-estabelecido. Na Figura 1, é ilustrado um exemplo do método de simplificação apresentado por [1], onde a Figura 1(a) representa a imagem original, a Figura 1(b) representa a seleção do conjunto de referência, indicado pela cor vermelha,

¹Dissertação de Mestrado

e a Figura 1(c) a imagem simplificada. A desvantagem deste método é a necessidade de um conjunto, pré-selecionado, para definir a simplificação da imagem, além de não reduzir de maneira expressiva a quantidade de cores presentes na imagem, conforme pode ser observado na Figura 1(c), que ainda possui um elevado número de cores a serem processadas.

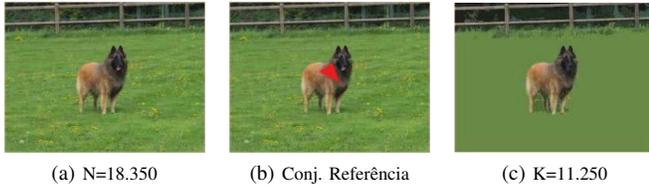


Figura 1. Simplificação, usando [1], onde N=total de cores e K=número reduzido de cores

Muitos trabalhos tratam o problema de simplificação de imagem colorida como um problema de quantização. O processo de quantização de cores em uma imagem corresponde à escolha de um conjunto de K cores que representem as N cores presentes em uma imagem, onde $K < N$, e que as K cores representem da melhor forma possível as N cores presentes na imagem. A Figura 2 apresenta o processo de quantização utilizando o algoritmo proposto por [2], que está disponível em [3].



Figura 2. Quantização usando [2]

É importante destacar que as aplicações de quantização de cor em uma imagem estão principalmente relacionadas às limitações de alguns dispositivos de visualização de imagens, aos quais permitem que apenas um número limitado de cores sejam exibidos simultaneamente, assim a quantização tenta “encaixar” as N cores de uma imagem, nas K cores possíveis de serem representadas por estes dispositivos [4], com isso a quantização não garante que a forma e os contornos dos objetos serão preservados.

O problema de simplificação da imagem colorida também pode ser abordado como um problema de agrupamento, onde o objetivo é agrupar cores similares em um mesmo grupo, assim a quantidade de grupos resultantes será igual a K, representando uma simplificação da quantidade total de cores da imagem (N). Técnicas de agrupamento de cores são muito utilizadas em algoritmos de segmentação de imagens

coloridas. As principais técnicas de segmentação de imagens coloridas podem ser encontradas em [5].

A escolha dos algoritmos e técnicas de segmentação de imagens coloridas estão fortemente ligadas ao propósito desejado com a subdivisão da imagem em regiões. Quando a quantidade de grupos desejadas, ou esperada, já é conhecida pode-se utilizar algoritmos de segmentação baseados em agrupamentos, como o clássico *K-means* [6]. Em [7] é apresentada a utilização do algoritmo *K-means* modificado para agrupar cores similares, realizando assim a redução do número de cores reais da imagem.

Neste trabalho, é apresentada uma abordagem de simplificação de imagem colorida, baseada na Árvore Geradora Mínima (*AGM*). Na literatura, também existem técnicas de segmentação de imagem colorida utilizando a *AGM*. Em [9] são apresentados dois algoritmos de segmentação de imagem colorida, utilizando a *AGM* onde as cores, no modelo de cor RGB, são usadas como os vértices do grafo.

O primeiro algoritmo apresentado foi o *HEMST* que dado o valor de K realiza a segmentação, ou seja, a redução das cores, baseado nos valores do modelo RGB, conforme ilustrado na Figura 3. O segundo, chamado de *MSDR*, já não precisava do valor de K para realizar a segmentação da imagem. Porém a abordagem proposta não apresenta bons resultados para imagens com grande quantidade de cores ou que apresentam textura, isto ocorre porque na abordagem descrita por [9], a escolha da aresta a ser removida é baseada no peso das arestas e no tamanho dos componentes, onde procura-se equilibrar o tamanho dos componentes gerados após a retirada de uma aresta, mas como não é realizada nenhuma análise sobre a frequência das cores nos componentes criados, pode-se gerar simplificação de cores com ruídos, ou seja, pouco representativas, conforme ilustrado na Figura 3, onde K é igual a 5, mas vemos claramente apenas 4 cores significativas.



Figura 3. Segmentação usando HEMST

Assim como em [9], este trabalho propõe uma abordagem de simplificação de imagem colorida baseada no modelo de cor, e não na matriz de *pixels*. Normalmente, os gradientes elevados e ruído são problemas na segmentação de imagens coloridas, principalmente, se este processo é feito pelo agrupamento da Árvore Geradora Mínima. A fim de resolver este problema, é proposta uma etapa de filtragem, que considera o número de ocorrências de uma cor. Além do processo de filtragem, outro diferencial da abordagem proposta é a utilização de algoritmos *KNN* para a criação dos grafos de cores, uma vez que a criação de um grafo completo tem alto custo computacional, conforme será detalhado na próxima seção.

II. SIMPLIFICAÇÃO DE IMAGEM COLORIDA

Neste trabalho o problema de simplificação de imagem colorida é tratado como um problema de agrupamento, em que se divide o espaço de cores em K grupos, que representam uma diminuição do número de cores da imagem, simplificando o conteúdo de cor da imagem de forma mais próxima à percepção do sistema visual humano. Para realizar o agrupamento das cores foi utilizado uma técnica de agrupamento hierárquico baseado na Árvore Geradora Mínima. Na Figura 4, é apresentado o esquema geral da abordagem proposta.

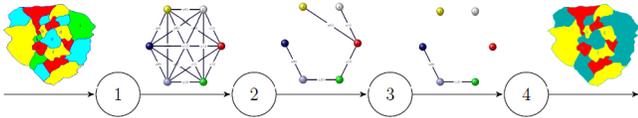


Figura 4. Abordagem Proposta

O primeiro passo do método proposto implica em modelar a imagem em um grafo, onde os vértices representam as cores da imagem, em um determinado modelo de cores, e as arestas são representadas pelas distâncias entre as cores (Passo 1). No passo 2, é executado o algoritmo de Árvore Geradora Mínima. Em seguida é realizado o processo de simplificação da cor, retirando arestas do grafo, sendo que cada componente conexo gerado representará um conjunto de cores da imagem (Passo 3). No passo 4, o grafo de cores é utilizado para recolorir a imagem, onde os componentes conexos são representados como uma única cor, gerada a partir da média de todas as cores presentes no mesmo componente. É importante salientar que o método proposto se refere a um modelo genérico de simplificação de cor, onde as técnicas e parâmetros utilizados podem ser alterados de acordo com a necessidade do processamento da imagem. Cada um destes passos é detalhado a seguir.

A. Grafo de Cores

A primeira etapa do método proposto consiste em mapear a imagem no domínio de um grafo, onde as cores distintas presentes na imagem representam os vértices e o valor do peso das arestas sejam as distâncias entre as cores. O valor atribuído a cada vértice dependerá do modelo de cor escolhido para o processamento das imagens, assim como os valores do peso das arestas dependerá da função de distância escolhida, conforme a seguinte definição:

Definição 1 (Grafo de Cores – G^δ) Dado uma imagem com N cores diferentes, um grafo de cor $G^\delta = (N, A^\delta)$ é um grafo não direcionado, onde cada vértice $v_{c_1} \in N$ representa uma cor distinta c_1 . E que possui uma aresta $a \in A^\delta$ com peso $D(c_1, c_2)$ entre dois vértices v_{c_1} e v_{c_2} e $c_2 \in N_n(c_1)$, ou seja:

$$A^\delta = \{ (v_{c_1}, v_{c_2}, D(c_1, c_2)) \mid v_{c_1} \in N, v_{c_2} \in N \} \quad (1)$$

Uma imagem pode possuir milhares de cores, dependendo de seu modelo de cor. No modelo de cor RGB, por exemplo, podemos ter até 16.777.216 cores distintas, combinando os canais R(Red), G(Green) e B(Blue), que variam de 0 até 255 cada um. Criar arestas entre todos os vértices da imagem, todos para todos, gerando um grafo completo é um processo muito lento e caro computacionalmente, assim é proposto a utilização de um algoritmo KNN para decidir quais vértices serão conectados por meio das arestas.

Algoritmos KNN são principalmente utilizados em problemas de classificação e seu objetivo é retornar os V vizinhos mais próximos de uma determinada consulta. Ao criar o grafo de cores, em vez de conectar todos os vértices uns aos outros, foi utilizado um algoritmo KNN para recuperar as V cores mais próximas de uma determinada cor, e assim conectá-las. Assim podemos diminuir o custo computacional sem perder a qualidade dos resultados, uma vez que as cores mais próximas, uma das outras, tendem a permanecer conectadas ao executar a AGM .

Na Figura 5, é ilustrado como poderá ficar o grafo de uma figura usando um algoritmo KNN , onde $V=3$.

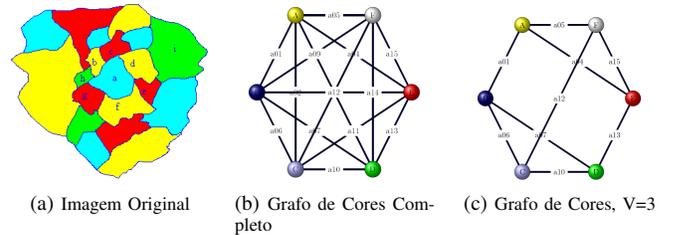


Figura 5. Grafo de Cores

B. Execução da AGM

Para realizar a simplificação das cores na imagem, é proposto a utilização de um algoritmo de agrupamento divisivo. Segundo [10], o mais conhecido algoritmo de agrupamento divisivo da teoria de grafos se baseia na construção da Árvore Geradora Mínima. Neste trabalho, é definida a AGM de um grafo que preserve as informações de cor e as relações entre todos os valores de cor, utilizando o grafo de cores construído no passo anterior, da seguinte forma:

Definição 2 (Árvore Geradora Mínima Cor – AGM_{G^δ}) Dado que $G^\delta = (N, A^\delta)$ é um grafo de cores. A AGM de Cores $AGM_{G^\delta} = (N, A_1^\delta)$ é um subgrafo conectado de G^δ tal que minimiza a soma dos pesos das arestas A^δ .

Para a execução da AGM utiliza-se o algoritmo *Kruskal*. Após a criação da AGM o grafo de cores resultante representa toda a imagem com apenas um componente conexo, assim o próximo passo a ser realizado é dividir o componente conexo até que uma determinada condição seja atendida, conforme detalhado na próxima seção. Dependendo do tamanho de K vizinhos informado no algoritmo de KNN pode ocorrer de gerar um grafo de cores desconexo, neste caso o grafo gerado nesta etapa terá mais de um componente conexo, o que já indicará grupos formados.

C. Simplificação da Cor

Para realizar a simplificação das cores, é aplicado um algoritmo k -clustering para remover $k - 1$ arestas da AGM , realizando assim a divisão do componente conexo gerado pela AGM , conforme a seguinte definição:

Definição 3 (Simplificação da Cor – $cSimp$) Dado que AGM_{G^s} é uma AGM . Temos que $C^{*,k}$ representa os k -ésimos componentes conexos denotados por $C_1^{*,k}, C_2^{*,k}, \dots, C_k^{*,k}$ formados pela remoção de $k - CC_0$ arestas de AGM_{G^s} , em que CC_0 representa a quantidade de componentes conexos presentes na AGM e $C_i^{*,k} = (N_i, A_i^\delta)$. A cor simplificada pode ser definida pela computação da cor representativa $cSimp(C_i^{*,k})$ para cada componente conexo $C_i^{*,k}$.

Normalmente, a operação de remover uma aresta está relacionada com a aresta de maior peso, e as cores do grafo são representadas pela média das cores do componente conexo ao qual ficaram associadas após a remoção de uma aresta. Uma estratégia comum para se obter k cores representativas é a eliminação das $k - 1$ arestas de maior peso a partir da AGM_{G^s} . No entanto, essa metodologia pode produzir algumas distorções, principalmente em imagens com alto número de cores e alguns ruídos [9]. Assim foi desenvolvido um novo algoritmo para realizar a simplificação da cor que trata a ocorrência de gradiente e ruído com base na frequência dos componentes, conforme apresentado a seguir.

1) *Algoritmo para filtragem de outlier*: Com o objetivo de lidar com *outliers*, é proposta uma nova abordagem para identificar qual aresta deve ser removida. Primeiro, identifica-se a aresta com o maior peso. Depois, é avaliado se esta remoção irá produzir componentes em que a soma das frequências sejam superiores ao limiar de *outlier*. Se a soma das frequências de ocorrências for inferior ou igual ao limiar de *outlier*, então o peso da aresta é reduzido para zero e reinicia a busca até encontrar a aresta viável a ser removida.

É importante salientar que o limiar de *outlier* está relacionado a porcentagem dos componentes conexos gerados e o tamanho total da imagem, por exemplo, se o limiar informado for 5% o algoritmo não eliminará arestas que irão gerar componentes conexos que tenham uma frequência menor que 5% da frequência total dos *pixels* na imagem. Com base nestas regras é realizada, a eliminação das arestas para produzir os K grupos desejados.

O filtro tem como base o tamanho total da imagem porque o objetivo é identificar, na imagem, objetos que tenham como característica uma determinada cor, assim o tamanho do filtro a ser utilizado representa o tamanho dos objetos procurados na imagem, conforme exemplificado na Figura 6 (em que F representa o filtro), onde podemos observar que a variação do filtro afeta o tamanho do componente conexo gerado.

D. Representação do Grafo de Cores na Imagem

Após retirar as arestas, de acordo com a quantidade de cores que deseja simplificar a imagem colorida, é necessário recolorir a imagem de acordo com as cores dos componentes

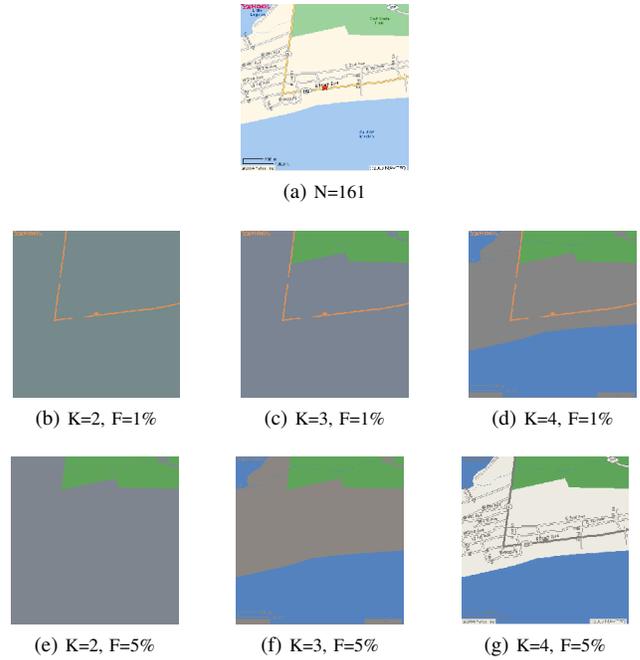


Figura 6. Exemplo de utilização do Filtro de outlier

conexos, ou grupos, gerados. Cada cor da imagem é substituída pela cor referente a média simples ou ponderada do componente conexo a qual faz parte.

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A abordagem proposta foi implementada na linguagem C# e foram executados experimentos em um computador simples com processador Intel Core 2 Duo e sistema operacional Windows 7. Para a criação do grafo de cores, foi utilizada, em todos os experimentos, a estrutura de dados KD -Tree que apresenta bons resultados para a busca KNN [11]. Também foram utilizados o modelo de cor RGB e a função distância Euclidean, que apesar de não termos na literatura uma concordância de qual modelo de cores ou função distância apresenta melhores resultados, segundo [12] os melhores resultados de segmentação de imagens coloridas geralmente são obtidos com estes parâmetros.



Figura 7. Comparação entre a abordagem proposta e o algoritmo HEMST

Foram realizados experimentos para comparar os resultados de algumas técnicas de simplificação de imagem colorida existentes na literatura e os resultados obtidos por meio da abordagem proposta. Na Figura 7, é apresentada uma comparação visual entre o resultado do algoritmo HEMST

apresentado por [9] e o método proposto. Apesar das duas abordagens serem similares na utilização da *AGM* para realizar a simplificação das cores, o resultado foi diferente, isto ocorreu principalmente devido a utilização do filtro de frequência aplicado em nossa abordagem.

Na abordagem descrita por [9] não é realizada nenhuma análise sobre a frequência das cores nos componentes criados, com isso sua abordagem pode gerar simplificação de cores com ruídos. Conforme pode ser visto na Figura 8(b) o mesmo não ocorre em nossa abordagem, devido ao filtro de frequência, a simplificação de cores é mais coerente com o tamanho dos objetos presentes na imagem.



Figura 8. Exemplo de aplicação da abordagem proposta

Tabela I
COMPARAÇÃO ENTRE ABORDAGENS DE SIMPLIFICAÇÃO DE IMAGEM COLORIDA

Abordagem	Imagem 1 - Pássaro			
	Original	K=2	K=3	K=4
Método Proposto, F=9%				
K-means				
Quantização Wu				
Abordagem	Imagem 2 - Carro com fogo			
	Original	K=2	K=3	K=4
Método Proposto, F=2%				
K-means				
Quantização Wu				

Na tabela I são apresentadas comparações entre a abordagem proposta e o algoritmo de segmentação de imagem colorida usando *K-means*, e o algoritmo de quantização apresentado por [2]. A escolha destes algoritmos ocorreu por serem similares a abordagem proposta, uma vez que se especifica o valor de *K* para realizar a redução do número de cores. Conforme podemos observar os resultados da abordagem

proposta preservou, de forma mais consistente, a cor predominante dos objetos, de acordo com a percepção do sistema visual humano, do que os resultados apresentados pelos outros algoritmos, conforme ilustrado na Tabela I, onde observamos que o método proposto preservou, de forma representativa, as folhas e o pássaro presente na imagem.

Através dos experimentos realizados pode-se observar que o método proposto apresenta bons resultados no processo de simplificação de imagem colorida, preservando na imagem resultante o conteúdo de cor de forma mais próxima à percepção do sistema visual humano. Para demonstrar uma aplicação prática da simplificação da imagem colorida foi realizado um estudo de caso sobre a utilização desta abordagem no processo de detecção de fogo baseado no conteúdo visual das imagens.

IV. DETECÇÃO DE FOGO: UM ESTUDO DE CASO

A fase mais importante na detecção de fogo, utilizando o conteúdo visual de uma imagem, é identificar nas imagens elas possuem *pixels* associados a cor de fogo. Nesta fase são utilizados os modelos de cores para representar os *pixels* das imagens e assim tentar identificar quais componentes desta representação podem ser classificados como fogo, de acordo com o sistema visual humano. Foi desenvolvido um Estudo de Caso, onde a abordagem proposta de simplificação de imagem colorida é utilizada para auxiliar na detecção automática de focos de incêndio por meio de imagens digitais.

Para tentar melhorar a precisão dos algoritmos de detecção de focos de incêndio, foi realizado um passo de pré-processamento usando a abordagem de simplificação de imagem colorida proposta. Conforme pode se observar na Tabela I com a simplificação da imagem do carro com fogo, a região correspondente a fogo ficou toda preenchida com apenas uma cor, facilitando assim a sua identificação e análise. Outra vantagem deste tipo de abordagem é o aumento da precisão no momento de estimar a área ocupada pelo fogo.

Foram realizados experimentos usando 60 imagens, contendo fogo, coletadas da Internet. Após realizar a simplificação da cor das imagens, os algoritmos de detecção de focos de incêndio foram executados. Neste experimento foram utilizados 3 algoritmos de detecção de foco de incêndio ao qual chamamos de: RGB [13], RGB Estatístico [14] e YCbCr [15]. Também foram realizados testes para comparar o comportamento dos algoritmos *K-means* e o algoritmo de quantização apresentado por [2]. Não foi utilizado o algoritmo *HEMST* proposto por [9], porque ele não utiliza dados da frequência das cores para realizar a simplificação da imagem, gerando ruídos em imagens com muitas cores.

Na Tabela II é apresentado um resultado visual dos experimentos realizados, onde a coluna *imagem* corresponde a imagem utilizada nos algoritmos de detecção de fogo, pré-processada ou não, e as três últimas colunas correspondem ao resultado dos algoritmos de detecção de fogo, onde os *pixels* que não estão com a cor preta correspondem aos que foram classificados como sendo fogo. Claramente podemos observar a quantidade de falsa detecção encontrada, principalmente

pelos objetos com cores similares a de fogo, e como a simplificação da cor auxiliou na diminuição desta falsa detecção.

Tabela II
EXPERIMENTOS DETECÇÃO DE FOGO

Abordagem	Imagem	RGB	RGB Estatístico	YCbCr
Normal				
Abordagem Proposta, K=2, Filtro=1%				
K-means, K=2				
Wu [2], K=2				

Na Tabela III é apresentado o resultado médio geral da combinação de todos os experimentos realizados. Conforme podemos observar na tabela, com a abordagem proposta de simplificação da imagem colorida obteve-se uma melhoria significativa tanto na Revocação quanto na Precisão dos algoritmos de detecção de fogo.

Melhores detalhes sobre os procedimentos executados neste Estudo de Caso pode ser encontrado em [16].

Tabela III
MÉDIA GERAL - MELHORES RESULTADOS

Abordagem	Detecção e Fogo	Revocação	Precisão	F1
Normal	RGB	0,804344	0,595672	0,638473
	RGB Estatístico	0,806335	0,457238	0,544772
	YCbCr	0,522354	0,782779	0,59612
Proposta	RGB	0,930655	0,882265	0,80996
	RGB Estatístico	0,976026	0,924	0,829073
	YCbCr	0,774473	0,885045	0,743272
Kmeans	RGB	0,796478	0,632023	0,623826
	RGB Estatístico	0,866564	0,559941	0,592144
	YCbCr	0,526647	0,602563	0,523062
Wu	RGB	0,773099	0,588426	0,595553
	RGB Estatístico	0,848371	0,557261	0,592657
	YCbCr	0,49988	0,604361	0,506663

V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Simplificação de imagem colorida é o processo de reduzir o número de cores presentes em uma imagem, que represente, o máximo possível, o conteúdo de cor da imagem de forma a aproximar da percepção do sistema visual humano. Neste trabalho, foi apresentada uma abordagem de simplificação de imagem colorida baseada na Árvore Geradora Mínima. Uma importante contribuição da abordagem proposta é o filtro de *outliers*, baseado na frequência de ocorrência das cores, que através de experimentos mostrou-se eficiente na redução de ruídos comparado com outras abordagens similares da literatura.

Um estudo de caso foi apresentado, onde o método de simplificação de imagem colorida foi utilizado como um passo

de pré-processamento no problema de detecção de focos de incêndio utilizando imagens digitais. Através dos experimentos realizados foi possível verificar uma melhoria na precisão dos *pixels* classificados como fogo pelos algoritmos de detecção de fogo em imagens.

Como trabalhos futuros, pretende-se estudar e implementar alterações que auxiliem na diminuição do custo e tempo computacional para a execução da abordagem proposta. Pretende-se também estudar formas de automatizar o número de cores desejáveis para uma imagem, sem que seja necessário inserir a quantidade de cores (K) que se deseja simplificar a imagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (FIP / PUC Minas), Microsoft Innovation Center de Belo Horizonte, CT-Info/MCT/CNPq (Project 551005/2007-6) e FAPEMIG (Project CEX PPM 126/08) pelo apoio financeiro deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Garcia and C. Vachier, "Simplification of color images using semi-flat morphological operators and statistical metrics," in *IEEE International Conference on Image Processing*, no. 16. Cairo: IEEE, 2009.
- [2] X. Wu, "Color quantization by dynamic programming and principal analysis," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 11, pp. 348–372, 1992.
- [3] W. Rasband, "Imagej," U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, Tech. Rep., 2011. [Online]. Available: <http://imagej.nih.gov/ij/>
- [4] M. Orchard and C. Bouman, "Color quantization of images," in *IEEE Transactions on Signal Processing*, no. 39. Princeton: IEEE, 1991.
- [5] A. Koschan and M. A. Abidi, *Digital Color Image Processing*. New York, NY, USA: Wiley-Interscience, 2008.
- [6] A. K. Jain, "Data clustering: 50 years beyond k-means," *Pattern Recognition Letters*, vol. 31, pp. 651–666, 2010.
- [7] T. Mikolov, "Color reduction using k-means clustering," in *Central European Seminar on Computer Graphics*, no. 11. Budmerice: CESC, 2007.
- [8] P. F. Felzenszwalb and D. P. Huttenlocher, "Efficient graph-based image segmentation," in *Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, no. 2. Hingham: ACM, 2004.
- [9] O. Grygorash, Y. Zhou, and Z. Jorgensen, "Minimum spanning tree based clustering algorithms," in *IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, no. 18. Washington: IEEE, 2006.
- [10] A. K. Jain, M. N. Murty, and P. J. Flynn, "Data clustering: A review," *ACM Computing Surveys*, vol. 31, no. 3, pp. 264–323, 1999.
- [11] S. S. Skiena, *The algorithm design manual*. New York, NY, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 2010.
- [12] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Processamento Digital de Imagens*, 3rd ed., Pearson, Ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- [13] T. Chen, P. Wu, and Y. Chiou, "An early fire-detection method based on image processing," in *International Conference on Image Processing*, no. 4. Singapore: IEEE, 2004.
- [14] T. Celik and H. Ozkaramanli, "Automatic fire detection in video sequences," in *European Signal Processing Conference*, no. 14. Florence: EURASIP, 2006.
- [15] T. Celik and H. Demirel, "Fire detection in video sequences using a generic color model," *Fire Safety Journal*, vol. 44, no. 2, pp. 147–158, 2009.
- [16] K. Souza, S. Guimaraes, Z. Patrocinio, A. de A Araujo, and J. Cousty, "A simple hierarchical clustering method for improving flame pixel classification," in *23rd IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, nov. 2011, pp. 110–117.