

Contagem automática de colônias bacterianas com o uso das técnicas *template matching* e *hough circles*

Arthur Melo Pinheiro, Kathiani Elisa de Souza
Valguima Victoria Viana Aguiar Odakura, Willian Paraguassu Amorim

Universidade Federal da Grande Dourados
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologias
Dourados, Brasil

arthur.siufigd10@gmail.com, kathianielisa2@hotmail.com
valguima.odakura@gmail.com, paraguassuec@gmail.com

Resumo—A Urocultura é um exame importante para a detecção do nível de infecção urinária em seres humanos. O nível da infecção é determinado pela contagem de colônias na placa de Petri. As colônias aparecem em grandes quantidades e geralmente aglomeradas, portanto, um procedimento de contagem automática é uma tarefa difícil. Este artigo apresenta o estudo e a comparação das técnicas *Hough Circles* e *Template Matching* como técnicas para realizar a contagem automática de colônias de bactérias em placas de Petri, apresentando a avaliação de desempenho das duas técnicas para colônias em diferentes aspectos na imagem.

Abstract—The Uroculture is an important test to detect the level of urinary infections in humans. The level of infection is determined by counting colonies of in the Petri dish. The colonies appear in large quantities and usually agglomerated, so an automatic counting procedure is a difficult task. This paper presents the study and comparison of techniques *Hough Circles* and *Template Matching* as techniques to perform automatic counting of colonies of bacteria in Petri Dishes presenting the performance evaluation of two techniques for colonies with different aspects of the image.

Keywords—*Hough Circles*; *Template Matching*; Urocultura; contagem automática; colônias bacterianas;

I. INTRODUÇÃO

A infecção das vias urinárias caracteriza-se pela presença e multiplicação de microorganismos no aparelho urinário e é a segunda causa mais comum de infecção na população em geral. As infecções não complicadas, aquelas em que não existem alterações estruturais ou funcionais das vias urinárias, são causadas principalmente pela bactéria *Escherichia coli*. Essa infecção é definida pela presença de 100.000 unidades formadoras de colônias por mililitro de urina (ufc/mL) [1].

Uma das formas de diagnóstico da infecção das vias urinárias é a Urocultura, um exame realizado em laboratório, que isola o agente causador da infecção em uma placa de Petri¹

¹Um recipiente cilíndrico, achatado, de vidro ou plástico utilizado na cultura de microorganismos.

durante 48 horas, onde são fornecidas condições favoráveis ao crescimento das colônias bacterianas, para que posteriormente possam ser contadas e avaliadas pelo laboratorista [2]. A contagem das colônias, realizada manualmente pelo laboratorista, é fundamental para diagnosticar o nível de infecção do paciente, em que o resultado influenciará nas decisões médicas sobre o seu tratamento. Portanto, a precisão desta contagem deve ser a mais exata possível. A Figura 1 ilustra as colônias bacterianas após o período de cultivo.

De acordo com os trabalhos de Osowsky e Gamba [3], Alves [4] e Sovierzski [5] a contagem manual de colônias de bactérias apresenta várias desvantagens como:

- A fadiga do laboratorista que realiza a contagem que exige concentração e atenção;
- Quando há troca de técnicos pode haver um desvio significativo nos resultados;
- É necessário repetir a contagem para validação dos resultados;
- Limitação das análises laboratoriais devido as dificuldades de contagem que podem atrasar o término do processo e a liberação dos resultados.

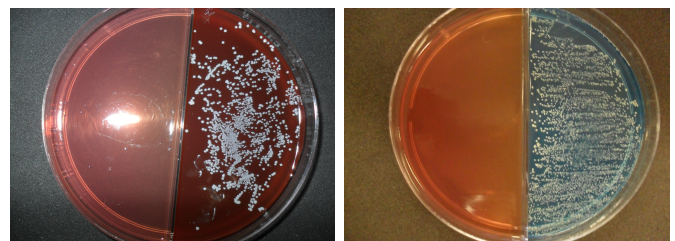


Figura 1. Imagens de colônias bacterianas cultivadas em placas de Petri.

Em muitos casos, as colônias se encontram em grande quantidade e aglomeradas, dificultando a contagem realizada pelo especialista, podendo causar imprecisão nos resultados. Para solucionar esses problemas decorrentes da contagem manual, foi proposta a utilização de duas técnicas tradicionais no reconhecimento de padrões: *Template Matching* e *Hough Circles* [4].

O trabalho está organizado da seguinte forma. As seções II e III apresentam o funcionamento das técnicas *Template Matching* e *Hough Circles*. A seção IV apresenta os métodos propostos de ambas as técnicas para a realização da contagem. A seção V apresenta os experimentos realizados em imagens com diferentes níveis de complexidade para testar parâmetros utilizados em algumas técnicas de pré-processamento. A seção VI apresenta os resultados dos experimentos. A seção VII apresenta a análise comparativa de ambas as técnicas para os diferentes níveis de complexidade das imagens. E a seção VIII apresenta a conclusão do trabalho.

II. Hough Circles

A técnica *Hough Circles* consiste em encontrar através de um raio (r), coordenadas de possíveis centros de circunferências (xc , yc). As coordenadas são encontradas através de um cálculo trigonométrico que serão utilizadas para gerar o *espaço de Hough*. O *espaço de Hough* é uma imagem com a mesma dimensão da imagem original em que inicialmente seus pixels terão valor 0 (valor que corresponde a cor preta em imagem binária). Estes pixels sofrerão alterações de seus valores conforme as coordenadas encontradas (localização do pixel), incrementando o seu valor em 1. O Algoritmo 1 apresenta o funcionamento para a criação do *espaço de Hough*.

O algoritmo realiza cálculos trigonométricos somente quando localiza o pixel representando a borda de algum objeto, ou seja, após o pré-processamento estes pixels serão representados com valor 255 (valor que corresponde a cor branca em imagem binária), obtendo um padrão para indentificá-las. Em uma imagem podem haver diversos objetos circulares de raios distintos ou até mesmo desconhecidos. Portanto, é inviável a utilização de um raio fixo para encontrar as coordenadas centrais. Para a criação do *espaço de Hough*, é utilizada uma matriz de três dimensões representadas pelas coordenadas (x , y) do pixel e o raio da circunferência, em que seu valor irá variar entre um intervalo de raio mínimo e máximo.

Formado o *espaço de Hough*, ilustrado na Figura 2, é possível detectar as possíveis regiões circulares. Para isso, cada pixel do *espaço de Hough* será comparado a fim de encontrar o pixel de maior valor, este possivelmente representará um centro de circunferência. Com os valores de raio conhecidos, é possível marcar essa circunferência a partir do pixel encontrado. O processo persiste caso seja necessário detectar outras circunferências. Mas para isso, primeiramente os pixels que correspondem a circunferência encontrada terão seus valores alterados para 0, fazendo com que aquela circunferência desapareça da imagem, evitando detectá-la novamente.

A técnica *Hough Circles* foi implementada por Pistori e Costa [6] em plug-in para o ImageJ² (desenvolvido na linguagem Java, de uso livre e que permite a criação de plugins e a expansão de suas funcionalidades). O plug-in³ é capaz de detectar e marcar em uma imagem digital a quantidade de regiões circulares fornecidas pelo usuário a partir de parâmetros pré

Algoritmo 1: Criação do Espaço de Hough

Entrada:

$I[x][y]$ - Matriz binarizada após o pré-processamento.
 m, n - Representam a largura e altura da imagem.
 x, y - Correspondem as coordenadas.
 θ - Ângulo.
 xc, yc - Coordenadas centrais.
 r - Raio.

Saída:

$H[x][y]$ - Matriz resultante que possuirá o espaço de Hough.

```

para  $x$  de 0 até  $n - 1$  faça
  para  $y$  de 0 até  $m - 1$  faça
    se  $I[x][y] = 255$  então
      para  $\theta$  de 0 até  $2 * \pi$  faça
         $xc = x - r * \cos(\text{ang})$ 
         $yc = y - r * \sin(\text{ang})$ 
         $H[xc][yc]++$ 
  retorna  $H$ 

```

definidos, como raio mínimo e máximo, incremento de raio, e quantidade de regiões circulares a serem encontradas.

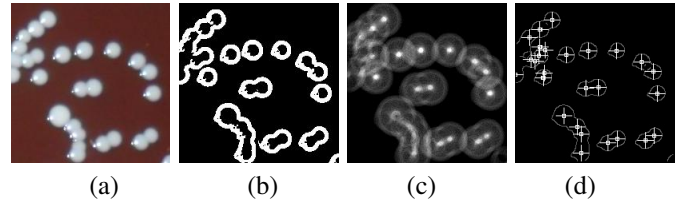


Figura 2. Processamento de imagens de colônias bacterianas. (a) Imagem Original, (b) Image pré-processada, (c) Espaço de Hough, (d) Colônias detectadas.

III. Template Matching

O algoritmo *Template Matching* baseado em Correlação Cruzada Normalizada é um algoritmo de reconhecimento de padrões que realiza a detecção de objetos similares em uma imagem tendo como entrada uma imagem e o objeto a ser detectado. Para tal detecção, o algoritmo utiliza como medida de similaridade o coeficiente de Correlação Cruzada Normalizada conforme a Equação 1. Esse coeficiente indica o grau de similaridade entre o *template* (objeto a ser detectado) e a imagem de pesquisa. Ele varia de -1 até 1. O valor 1 indica total correspondência entre o *template* e a imagem de pesquisa, 0 indica que não houve correspondência e -1 indica que houve correlação inversa, ou seja, total incorrespondência entre o *template* e a imagem de pesquisa [7].

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (1)$$

O algoritmo *Template Matching* baseia-se na correspondência entre um modelo T e uma imagem I , na qual este

²<http://rsbweb.nih.gov/ij/>

³<http://rsbweb.nih.gov/ij/plugins/hough-circles.html>

modelo possa ser detectado. Seja I a imagem de pesquisa de dimensão $m \times n$, e a imagem T o *template* de dimensão $p \times q$ tal que $p < m$ e $q < n$, então é realizado o cálculo do coeficiente de Correlação Cruzada Normalizada entre cada pixel da imagem I e os pixels da imagem T . A cada variação de pixel na imagem I , o valor do coeficiente é calculado e armazenado em uma imagem denominada imagem de Correlação, em que os pontos mais claros indicam o ponto em que houve a detecção do *template* como mostra a Figura 4. Os pixels das bordas da imagem I são desconsiderados, pois a imagem T tem sua posição inicial definida no centro da imagem, enquanto a imagem I possui a sua posição inicial definida no canto superior esquerdo. Desta forma, ao posicionar o centro da imagem T na posição inicial da imagem I , têm-se uma perda de informação.

IV. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Para a utilização da técnica *Hough Circles* na contagem de colônias, é necessário que a imagem seja pré-processada. Algumas técnicas como binarização de imagem e detecção de bordas são necessárias para a aplicação do algoritmo. As seguintes técnicas de pré-processamento são utilizadas consecutivamente antes da aplicação da técnica *Hough Circles*:

- **Enhance Contrast:** Técnica que ajusta o contraste da imagem.
- **Gaussian Blur:** Técnica que reduz os ruídos nas imagens, em que σ é um parâmetro utilizado nessa técnica e que é testado nesse trabalho.
- **Convert to grayscale:** Técnica que converte uma imagem RGB para uma imagem em escalas de cinza (8-bit).
- **Canny edge detector:** Técnica capaz de identificar arestas nas imagens (bordas de objetos nas imagens). α , um parâmetro utilizado nessa técnica, é testado nesse trabalho, pois com a variação dos valores de α , uma quantidade diferente de arestas são encontradas, o que influenciará na contagem de colônias ao utilizar a técnica *Hough Circles*.

Para a utilização do *Template Matching*, a imagem foi convertida do tipo RGB para escala de cinza antes da aplicação do algoritmo. Foi utilizado um *template* fixo para evitar a escolha de um *template* para cada imagem.

V. EXPERIMENTOS

Para a realização dos experimentos, foram coletadas imagens de colônias bacterianas cultivadas em placas de Petri. Para a captura das imagens foi utilizada a Câmera Digital 14MP 15x Zoom Óptico que fornece imagens com uma dimensão de 2560 x 1920 pixels no formato JPEG. Para uma melhor análise, foram geradas através das imagens originais, um banco de amostras de imagens com a dimensão de 200 x 200 pixels (dimensão estipulada pelo especialista), facilitando a comparação da contagem realizada pelo especialista com a contagem realizada pelas técnicas. No total foram analisadas 1.254 amostras correspondendo a 34 imagens com média de 1.489 colônias por imagem.

A intenção de gerar os resultados de contagem com as técnicas *Template Matching* e *Hough Circles*, foi testar os parâmetros utilizados nessas duas técnicas e em algumas técnicas de pré-processamento, como:

- **Threshold (*Hough Circles*):** Utilizado na condição de parada de contagem;
- **Sigma (σ):** Utilizado na técnica *Gaussian blur*;
- **Alpha (α):** Utilizado na técnica *Canny edge detector*;
- **Threshold (*Template Matching*):** Utilizado pelo método *Analyse* da classe *Analyse Particles* que detecta os pontos que estão no intervalo determinado para o *Threshold*.

Para uma melhor análise dos algoritmos para vários aspectos das imagens, foram selecionadas 30 amostras que não possuíam qualquer tipo de interferência da luz e reflexo da placa de Petri, divididas igualmente em três categorias. A Categoria 1 possui imagens com poucas colônias, com o formato circular bem definido e separadas uma das outras, considerado pelo especialista com complexidade baixa de avaliação. A Categoria 2, com complexidade média de avaliação, possui imagens com colônias localizadas muito próximas uma das outras e em alguns casos se encontram aglomeradas. E por fim a Categoria 3, com complexidade alta de avaliação, possui imagens em que as colônias normalmente se encontram aglomeradas. A Figura 3 ilustra um exemplo de imagem de cada categoria. Também foram utilizadas quatro métricas de avaliação para análise da contagem [8], que são:

- **Média de Erro (ME):** Consiste na média da diferença entre a quantidade de colônias contadas pelo especialista (ec) e a quantidade de colônias contadas pelas técnicas (hc), ilustrado na Equação 2.
- **Recall:** Consiste na divisão entre a quantidade de colônias contadas corretamente pelas técnicas (hr) e a quantidade de colônias contadas pelo especialista (ec), ilustrado na Equação 3.
- **Precision:** Consiste na divisão entre a quantidade de colônias contadas corretamente pelas técnicas (hr) e a quantidade de colônias contadas pelas técnicas (hc), ilustrado na Equação 4.
- **F-Score (F):** Uma equação que balanceia os valores de *Precision* e *Recall*, obtendo um valor mais significativo para a análise, ilustrado na Equação 5.

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n |ec_i - hc_i|}{n} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{hr}{ec} \quad (3)$$

$$Precision = \frac{hr}{hc} \quad (4)$$

$$F = 2 * \frac{precision * recall}{precision + recall} \quad (5)$$

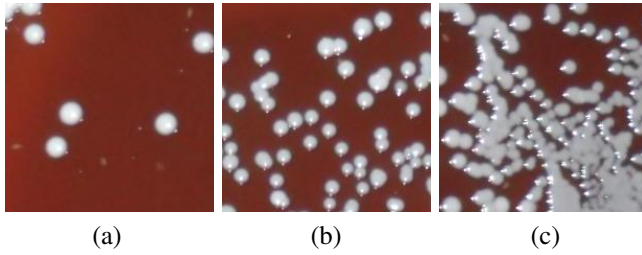


Figura 3. Representa exemplos de imagens selecionadas para a Categoria 1 (a), Categoria 2 (b), e Categoria 3 (c).

A. Experimentos com Template Matching

Para aplicação do algoritmo *Template Matching* na contagem de bactérias foi desenvolvido um plugin em Java que utiliza uma das classes do plugin *Create Template* do ImageJ, que contém a implementação desse algoritmo. Ele converte uma imagem de pesquisa do tipo RGB para escala de cinza, aplica o algoritmo *Template Matching*, variando o limiar inferior de 0,4 até 1 e mantendo o limiar superior igual a 1. Em seguida, é aplicado o método *Analyse* da classe *ParticlesAnalyse*⁴ que identifica os pontos que estão entre o limiar inferior e superior.

Os resultados dos experimentos com as imagens da Categoria 1 e as imagens de correlação mostraram que houve a detecção de todas as colônias que se encontravam separadas e íntegras. No ponto da imagem em que as colônias se encontravam aglomeradas e recortadas não houve a detecção da colônia, como mostra a Figura 4(a). Nos pontos de recorte não houve detecção, porque a colônia recortada é um objeto diferente do *template*. Dessa forma, o coeficiente de correlação não indica um ponto de correspondência.

Os resultados dos experimentos e as imagens de correlação da Categoria 2 mostraram que, assim como nas imagens da Categoria 1, nos pontos de aglomeração e recorte, algumas colônias não foram detectadas, como mostra a Figura 4(b).

As imagens da Categoria 3 apresentam maior índice de aglomeração e recorte de colônias que as imagens da Categoria 1 e 2, como mostra a Figura 4(c). Assim como nas outras Categorias, as colônias aglomeradas e recortadas não foram detectadas.

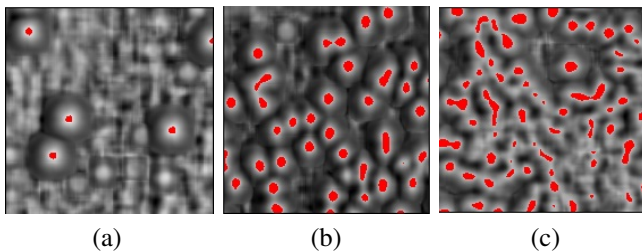


Figura 4. Imagens de Correlação, Categoria 1 (a); Categoria 2 (b); Categoria 3 (c).

B. Experimentos com Hough Circles

Para os parâmetros utilizados nas técnicas de pré-processamento *Gaussian blur* e *Canny edge detector* (σ e α) e na técnica *Hough Circles* (*Threshold*), foram analisados um intervalo de valores, a fim de encontrar os melhores valores para uma contagem de maior precisão. Para α , foram testados valores de 1,0 à 3,0. Para σ , foram testados valores de 1,0 à 2,0. E para *Threshold*, foram testados valores de 15 à 25.

Através dos valores testados, foi realizada pelo especialista uma breve análise dos resultados de contagem com base nos cálculos de ME, Equação 2. Através dessa análise, foram selecionados os melhores valores dos parâmetros, que serão testados e analisados com base nos cálculos de *Recall*, *Precision* e *F-Score*, Equações 3, 4 e 5 respectivamente.

VI. RESULTADOS

Percebe-se que o nível de complexidade apresentados nas imagens foi aumentando a cada categoria. As Tabelas I, II e III mostram a quantidade de colônias detectadas com o algoritmo *Template Matching* em cada limiar, e a quantidade de colônias quantificadas pelo laboratorista (L). A Tabela I mostra que o limiar em que houve melhor detecção para Categoria 1 foi 0,7, sendo que em todos os casos o resultado da contagem apresentou um número menor de colônias do que realmente existia. A Tabela II mostra que o melhor limiar para Categoria 2 foi entre 0,5 e 1. A Tabela III mostra que o melhor limiar para a Categoria 3 foi entre 0,4 e 1.

A Tabela IV mostra a média de erros de detecção do algoritmo *Template Matching*. A Tabela V apresenta a média do *F-score* para cada categoria em cada *Threshold* com o uso do *Template Matching*. Ela mostra que os *Thresholds* no qual o algoritmo *Template Matching* apresentou melhor desempenho foi de 0,7, 0,5 e 0,4 para as Categorias 1, 2 e 3 respectivamente, indicando que os resultados obtidos conforme as Tabelas I, II e III são realistas. A Tabela V mostra também que o melhor desempenho do algoritmo ocorreu com as imagens da Categoria 1 e o pior com as imagens da Categoria 3, mostrando a eficiência do algoritmo na contagem de colônias separadas e íntegras.

Ao realizar a primeira análise dos parâmetros utilizados para a contagem de colônias com a técnica *Hough Circles*, foram selecionados alguns valores para o teste de contagem, tais como:

- $\alpha\{1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5\}$;
- $\sigma\{1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7\}$;
- *Threshold* $\{18, 19, 20, 21, 22, 23\}$.

Com base nesses valores, foram calculados através das equações *ME*, *Recall*, *Precision* e *F-Score*, os resultados para cada categoria de imagem, utilizados para avaliar os melhores parâmetros. Foi priorizado os resultados da equação *F-Score* para selecionar os melhores parâmetros, pois é mais significativo para a análise.

Através do melhor valor de α para cada categoria de imagens, apresentado na Tabela VI, foram testados os valores para σ e *Threshold*. As Tabelas VII, VIII e IX apresentam os melhores resultados de contagem.

⁴<http://rsbweb.nih.gov/ij/developer/api/ij/plugin/filter/ParticleAnalyzer.html>

Tabela I

MELHORES RESULTADOS DO EXPERIMENTO COM A CATEGORIA 1, QUE MOSTRA OS VALORES ENCONTRADOS EM CADA LIMAR.

Imagem	L	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	7	31	14	8	6	4	1
2	6	50	21	7	5	5	2
3	10	17	10	10	9	1	0
4	13	29	10	10	9	9	3
5	5	17	11	5	5	0	0

Tabela II

MELHORES RESULTADOS DO EXPERIMENTO COM A CATEGORIA 2, QUE MOSTRA OS VALORES ENCONTRADOS EM CADA LIMAR.

Imagem	L	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	19	28	22	17	6	1	0
2	27	25	24	22	17	9	0
3	12	31	17	9	8	7	3
4	18	23	17	13	12	7	0
5	10	19	11	11	9	8	0

Tabela III

MELHORES RESULTADOS DO EXPERIMENTO COM A CATEGORIA 3, QUE MOSTRA OS VALORES ENCONTRADOS EM CADA LIMAR.

Imagem	L	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	48	33	34	31	17	10	0
2	62	43	36	28	15	10	0
3	55	35	35	30	27	17	10
4	62	42	36	31	23	15	6
5	40	30	34	29	18	5	0

Tabela IV

MÉDIA DE ERROS MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO PARA CADA CATEGORIA.

Categoria	erro mínimo	erro médio	erro máximo
1	1	2,3	5
2	2	9	20
3	59	80.1	122

Tabela V

CÁLCULO DA MÉDIA DO F-SCORE PARA CADA CATEGORIA EM CADA THRESHOLD.

Categoria	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	0,357	0,528	0,708	0,856	0,637	0,141
2	0,720	0,8264	0,8262	0,705	0,467	0,0897
3	0,590	0,510	0,323	0,134	0,066	0,001

Tabela VI

MELHORES RESULTADOS VARIANDO VALOR DE α PARA O CÁLCULO DAS EQUAÇÕES RECALL, PRECISION E F-SCORE, PARA CADA CATEGORIA DE IMAGENS.

Categoria	α	ME	Recall	Precision	F
1	1,1	1,1	0,839	0,917	0,868
1	1,2	1,2	0,839	0,906	0,862
2	1,0	4,0	0,737	0,713	0,719
2	1,3	4,4	0,729	0,734	0,725
3	1,2	28,6	0,759	0,744	0,741
3	1,3	29,7	0,736	0,753	0,734

VII. ANÁLISE

Analisando os resultados de contagem com a técnica *Hough Circles*, a Categoria 1 obteve melhores resultados com os valores $\alpha(1,1)$, $\sigma(1,5)$ e *Threshold*(22) com *F-Score*(0,868).

Tabela VII

MELHORES RESULTADOS PARA A CATEGORIA 1 DE IMAGENS COM α FIXO EM 1,1, VARIANDO VALOR DE σ E THRESHOLD PARA O CÁLCULO DAS EQUAÇÕES RECALL, PRECISION E F-SCORE.

σ	Threshold	ME	Recall	Precision	F
1,4	22	1,2	0,829	0,925	0,866
1,5	21	1,1	0,839	0,917	0,868
1,5	22	1,5	0,821	0,949	0,872

Tabela VIII

MELHORES RESULTADOS PARA A CATEGORIA 2 DE IMAGENS COM α FIXO EM 1,3, VARIANDO VALOR DE σ E THRESHOLD PARA O CÁLCULO DAS EQUAÇÕES RECALL, PRECISION E F-SCORE.

σ	Threshold	ME	Recall	Precision	F
1,4	21	4,2	0,720	0,717	0,718
1,4	22	8,5	0,666	0,779	0,718
1,5	21	4,3	0,723	0,724	0,723

Tabela IX

MELHORES RESULTADOS PARA A CATEGORIA 3 DE IMAGENS COM α FIXO EM 1,2, VARIANDO VALOR DE σ E THRESHOLD PARA O CÁLCULO DAS EQUAÇÕES RECALL, PRECISION E F-SCORE.

σ	Threshold	ME	Recall	Precision	F
1,4	21	31,1	0,756	0,719	0,727
1,4	22	32,1	0,699	0,806	0,736
1,5	21	28,6	0,778	0,764	0,761

Na Categoria 2 obteve melhores resultados com os valores $\alpha(1,3)$, $\sigma(1,5)$ e *Threshold*(21) com *F-Score*(0,723). Para a Categoria 3, os melhores valores foram $\alpha(1,2)$, $\sigma(1,5)$ e *Threshold*(21) com *F-Score*(0,761).

Observa-se através do *F-Score* que o desempenho da técnica *Hough Circles* é excelente quando aplicado em imagens com regiões circulares bem definidas, não aglomeradas, e com poucas interferências do ambiente, como no caso da Categoria 1. Porém, em casos mais críticos em que as colônias se encontram aglomeradas, as mesmas podem ser identificadas como um único objeto, dificultando consideravelmente a contagem pela técnica, como no caso da Categoria 3 e em alguns casos da Categoria 2.

Analisando as imagens de correlação e os resultados obtidos com o *Template Matching*, todas as colônias separadas e íntegras foram corretamente detectadas, sendo que, os valores de *Threshold* em que houve melhor detecção foi de 0,7, 0,5 e 0,4 para as Categorias 1, 2 e 3 respectivamente, como mostra o cálculo da média do *F-score* para cada *Threshold* em cada Categoria, apresentado na Tabela V. Porém, nos casos de aglomeração e recorte das colônias, houve problemas no reconhecimento das mesmas.

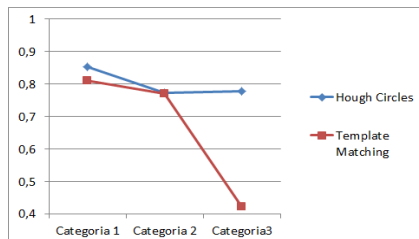
Observa-se através da Tabela IV, que a média de erros na contagem foi gradativa de acordo com o nível de complexidade da disposição das colônias na imagem. Isso mostra que o desempenho do algoritmo diminui a medida que aumenta a complexidade da disposição das colônias. Observa-se também, através da média do *F-score*, apresentada na Tabela V, que o algoritmo *Template Matching* obteve melhor desempenho

com as imagens da Categoria 1 e o pior com as imagens da Categoria 3.

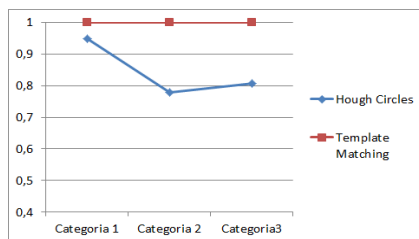
Comparando os melhores resultados de *Hough Circles* e *Template Matching*, observa-se pela Figura 5(a), que para o valor de *Recall*, a técnica *Hough Circles* apresenta melhor desempenho para a Categoria 1, sendo que para a Categoria 2, as duas técnicas possuem resultados muito semelhantes. No entanto para a Categoria 3, houve uma queda significativa do valor de *Recall* para a técnica *Template Matching*.

Comparando os melhores resultados de *Hough Circles* e *Template Matching*, observa-se através da Figura 5(b), que para o valor de *Precision*, o *Template Matching* apresenta o melhor desempenho em todas as categorias.

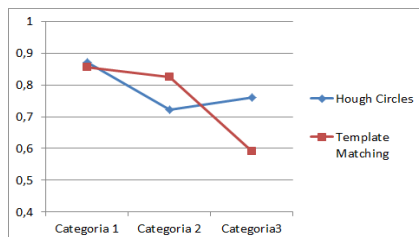
Comparando os melhores resultados de *Hough Circles* e *Template Matching*, observa-se pela Figura 5(c), que para o valor de *F-Score*, o *Hough Circles* apresenta um desempenho ligeiramente melhor na Categoria 1, sendo que para a Categoria 2, *Hough Circles* apresenta uma queda de desempenho. No entanto para a Categoria 3, *Hough Circles* apresenta melhor desempenho que o *Template Matching*, que apresenta uma queda de desempenho significativa para essa categoria. Contudo, ambas as técnicas não apresentam desempenho significativo para a Categoria 3.



(a)



(b)



(c)

Figura 5. Gráficos de Recall (a), Precision (b) e F-Score (c), comparando os melhores resultados obtidos pelas técnicas *Template Matching* (vermelho) e *Hough Circles* (azul) para cada categoria.

VIII. CONCLUSÃO

Através deste trabalho conclui-se que para a Categoria 1 a técnica *Hough Circles* obteve desempenho ligeiramente melhor do que o *Template Matching* que foi a melhor técnica para contagem de colônias das imagens da Categoria 2. Pode-se concluir também que os métodos propostos para a contagem foram satisfatórios nas Categorias 1 e 2 e que podemos utilizar os diferentes algoritmos em diferentes categorias.

Algumas dificuldades como reflexos na placa de Petri e regiões de colônias aglomeradas, tem interferido significativamente na contagem de colônias utilizando as técnicas *Hough Circles* e *Template Matching*. Para solucionar os problemas de iluminação, será necessário criar um ambiente padrão para a captura das imagens que elimine qualquer tipo de interferência externa. Os trabalhos futuros visarão o estudo de técnicas para o problema de aglomeração das colônias e para a remoção de ruídos, sendo que uma das técnicas propostas para resolver o problema de aglomeração é a Segmentação. Dessa forma, as técnicas *Hough Circles* e *Template Matching* em conjunto com outras técnicas, poderão realizar a contagem de colônias das imagens da Categoria 1, 2 e 3, aumentando a velocidade do processo de contagem, a confiabilidade e a exatidão dos resultados.

REFERÊNCIAS

- [1] J. S. Roriz-Filho, F. C. Vilar, L. M. Mota, C. L. Leal, and P. C. B. Pisi, "Infecção do trato urinário," *Revista da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto e do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto*, vol. 43, no. 2, Junho 2010.
- [2] O. Cunha, A. Garrido, M. Gonçalves, G. Ferreira, E. Marques, and A. Vilarinho, "Utilidade da urocultura de controlo na infecção urinária," *Acta Pediatr Port* 2010;41(2):51-3, 2010.
- [3] J. G. Osowsky and H. R. Gamba, "Sistema automático para contagem de colônias em placas de petri," *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, vol. 17, no. 3, pp. 131–139, Dezembro 2001.
- [4] G. M. Alves, "Método fundamentado em processamento digital de imagens para contagem automática de unidades formadoras de colônias," Master's thesis, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2006.
- [5] M. A. Sovierzoski, "Contagem automática de unidades formadoras de colônias em placas de petri com uso de processador digital de sinais e técnicas de processamento digital de imagem," Master's thesis, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, PR, 2003.
- [6] H. Pistori, J. Pistori, and E. R. Costa, "Hough-circles: Um módulo de detecção de circunferências para o imagej," *Workshop Software Livre, Porto Alegre. Anais do 6o Workshop de Software Livre*, 2005.
- [7] H. A. Al-Mamun, N. Jahangir, M. S. Islam, and A. M. Islam, "Eye detection in facial image by genetic algorithm driven deformable template matching," *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 9, no. 8, Agosto 2009.
- [8] C. Goutte and E. Gaussier, "A probabilistic interpretation of precision, recall and f-score, with implication for evaluation," *Proceedings of the 27th European Conference on Information Retrieval*, 2005.