

# MC920 – Introdução ao Processamento Digital de Imagem

## Trabalho 2

Rafael Eiki Matheus Imamura - RA 176127<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)  
Caixa Postal 6176 – CEP 13083-970 – Campinas – SP – Brasil

ra176127@students.ic.unicamp.br

### 1. Introdução

Imagens digitais são compostas de pixels e suas respectivas posições. A coloração do pixel e de seus vizinhos nos fazem criar uma percepção visual de uma imagem, tanto pelas cores em si quanto por suas diferenças de valores em uma região. Imagens com mais cores ocupam maior espaço e exigem maior custo para impressão física.

Para conseguir lidar com imagens em uma profundidade menor, existe o processo de halftoning. É um processo que permite transformar uma imagem em escala de cinza em uma imagem binária (somente preto e branco), mantendo um aspecto visual semelhante. Como os valores de pixels são fixados em 0 ou 1, para ter a informação da imagem, é alterada a posição desses pixels. Técnicas diferentes podem ser usadas, avaliando-se a vizinhança ou remapear um nível de cinza em um conjunto de novos pixels.

Neste trabalho, foram implementadas algumas técnicas de pontilhamento ordenado e a técnica de difusão de erro de Floyd-Steinberg, a fim de avaliar seus impactos em uma imagem digital. Usando-se uma biblioteca de imagens no formato PGM (*Portable GrayMap*), foram geradas novas imagens PBM (*Portable BitMap*), que foram comparadas entre si e a imagem original.

### 2. Execução

A entrega deste trabalho inclui o presente PDF e um diretório de nome “projeto 2”. Nela se encontram o código, as dependências e as imagens de entrada usadas para os testes.

Para executar o código, deve-se ter instalado o OpenCV e o Numpy. Um *freeze* das dependências está presente no arquivo “requirements.txt”. Uma alternativa rápida para fazer a instalação é o comando:

```
pip install -r requirements.txt
```

Com este comando instalado, basta chamar o arquivo de script com o parâmetro desejado:

```
python main.py operação arquivo_de_entrada arquivo_de_saida *nome_base
```

O significado de cada parâmetro da entrada é:

1. *Operação*: define qual função será chamada para realizar a filtragem da imagem. As opções são:

- a. *ordered\_dithering*: transformação para imagem de pontilhado ordenado usando a matriz 3x3;
  - b. *bayer*: realiza a transformação da imagem usando a matriz de pontilhado ordenado de Bayer;
  - c. *floyd\_steinberg*: aplica a técnica de difusão de erro de Floyd-Steinberg, visitando-se cada linha da esquerda para a direita;
  - d. *floyd\_steinberg\_alternate*: aplica a técnica de difusão de erro de Floyd-Steinberg, visitando as linhas pares da esquerda para a direita, e as ímpares da direita para a esquerda;
  - e. *all*: gera imagens com todas as alternativas anteriores;
  - f. *example*: gera todas as imagens para os casos de exemplo (diretório “pictures”). Equivale a aplicar a opção *all* em todas as imagens de exemplo;
2. *Arquivo\_de\_entrada*: caminho para a imagem base. Este parâmetro não é usado para a opção *example*.
  3. *Arquivo\_de\_saida*: caminho para o arquivo de saída da imagem. Caso a opção seja *all*, esse parâmetro define o diretório de saída das imagens. A opção *example* não usa este parâmetro – as imagens são geradas no diretório “results”.

Alguns exemplos de uso são mostrados a seguir:

1. python main.py example
2. python main.py all ./pictures/baboon.pgm ./results/ baboon
3. python main.py bayer ./pictures/baboon.pgm ./teste.pbm
4. python main.py floyd\_steinberg ./pictures/baboon.pgm ./teste.pbm

## 2.1. Entrada

A entrada, em todos os casos, é dada por imagens PGM (Portable GrayMap). Para este relatório, foram usadas 9 imagens, 7 das quais fornecidas no enunciado do trabalho ([http://www.ic.unicamp.br/~helio/imagens\\_pgm/](http://www.ic.unicamp.br/~helio/imagens_pgm/)) e duas imagens do diretório PGMA (*beach.pgm*, *dragon.pgm*).

Todas as entradas usadas estão disponíveis dentro do zip, no diretório “pictures”.

## 2.2. Saída

A saída do programa são imagens no formato PBM binária (P4). 1 na imagem representa preto, enquanto 0 representa branco. Para a opção *all* do programa, o arquivo gerado tem como nome o valor passado para o parâmetro *nome\_base*. Para opção *example*, o nome original da imagem é adicionado de um sufixo indicando a operação adotada. Por exemplo, as imagens em que foram aplicadas a técnica de pontilhamento ordenado de Bayer terão o nome “imagem\_bayer.pbm”.

## 3. Solução

Os métodos escolhidos para comparação neste trabalho foram 3: pontilhado ordenado com matriz 3x3, pontilhado ordenado com matriz de Bayer (4x4) e pontilhado por difusão de erro de Floyd-Steinberg.

As duas primeiras técnicas foram implementadas da seguinte forma: foram definidas as matrizes que representam cada nível de intensidade (0 a 9 para 3x3 e 0 a 16 em 4x4). Depois, é criada uma imagem N vezes maior, sendo N a dimensão da matriz da técnica de pontilhado ordenado usada. Cada pixel da imagem é então normalizado no intervalo do nível de intensidade correspondente e a matriz de padrões ocupa o espaço daquele pixel na imagem final.

Para o pontilhado por difusão de erro de Floyd-Steinberg, o algoritmo aceita como parâmetro se a ordem a qual a imagem é percorrida deve ser padrão (esquerda para a direita) ou alternada (padrão para linhas pares, direita para a esquerda em ímpares). Uma nova imagem com uma borda de 1 pixel é gerada, copiando-se a imagem original no centro dela. Então, para cada pixel, é verificado se o valor está acima ou abaixo do limiar (no caso, a intensidade de cinza 128), sendo levado para 0 ou 255. O erro, calculado pela diferença do valor antigo do pixel para o novo, é então distribuído para os pixels adjacentes que ainda não foram visitados.

Na técnica com difusão de erro, a borda foi usada para evitar verificações para os casos das bordas. A alternância na forma de percorrer a matriz é uma forma de evitar padrões nas imagens (mais será visto na seção de resultados).

#### 4. Resultados

São apresentados a seguir comparações das imagens usando-se as diferentes opções. As imagens a seguir foram geradas usando a opção “example” do programa.

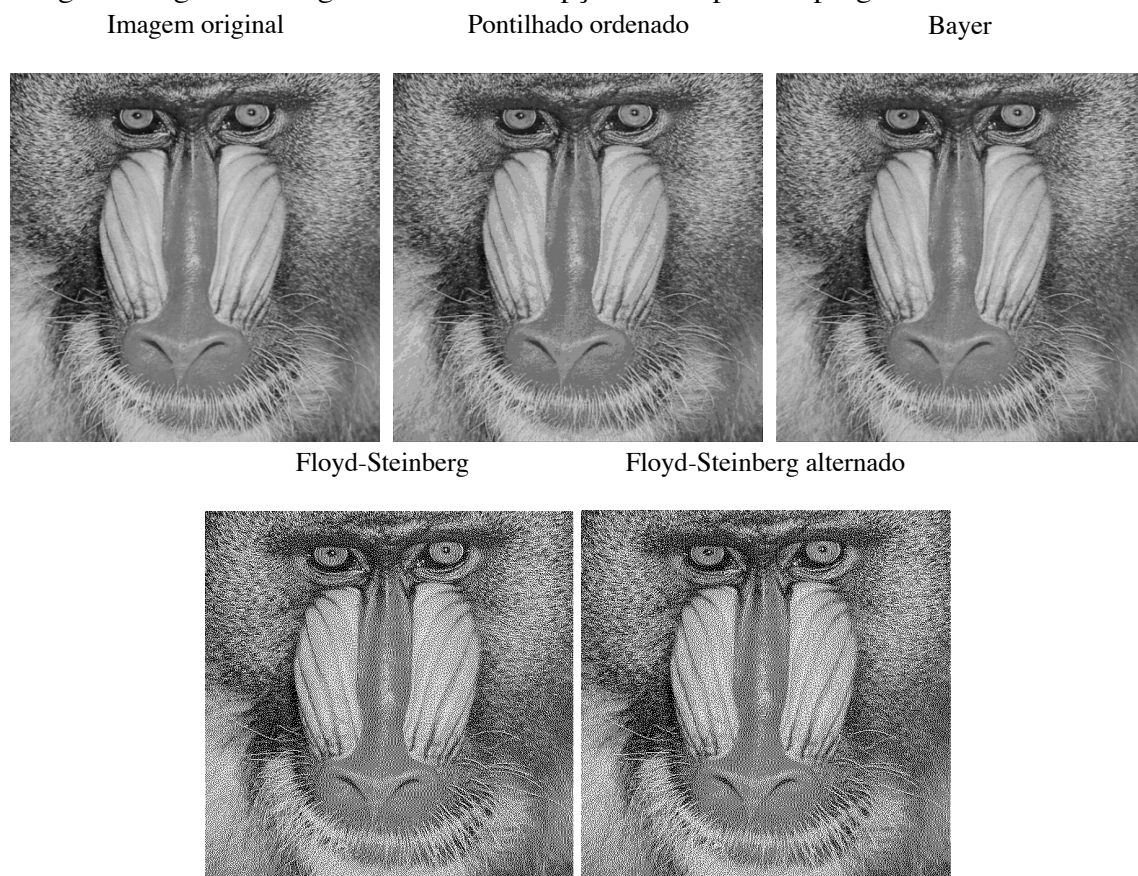
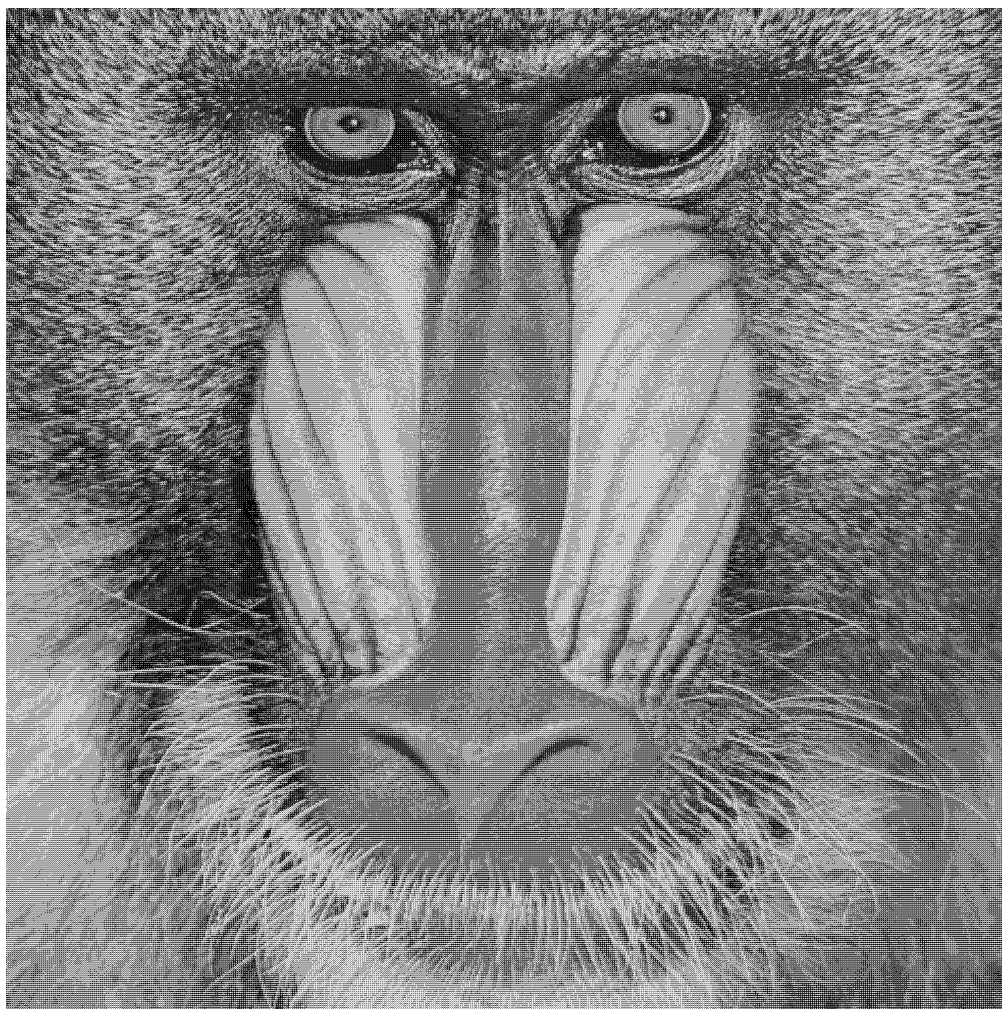


Figura 1. Comparação de “baboon.pgm” com técnicas de pontilhado ordenado.

Quando comparadas as imagens nesse tamanho, as diferenças são mínimas. Devido ao tamanho que o pontilhado ordenado deixa nas imagens (3 vezes maiores para a matriz 3x3 e 4 vezes maiores para Bayer), quando escalados para o tamanho original é difícil de compará-las. As diferenças são mais perceptíveis em escala maior, como pode ser visto na Figura 2.



**Figura 2. Imagem resultante da técnica de pontilhado ordenado em “baboon.pgm”.**

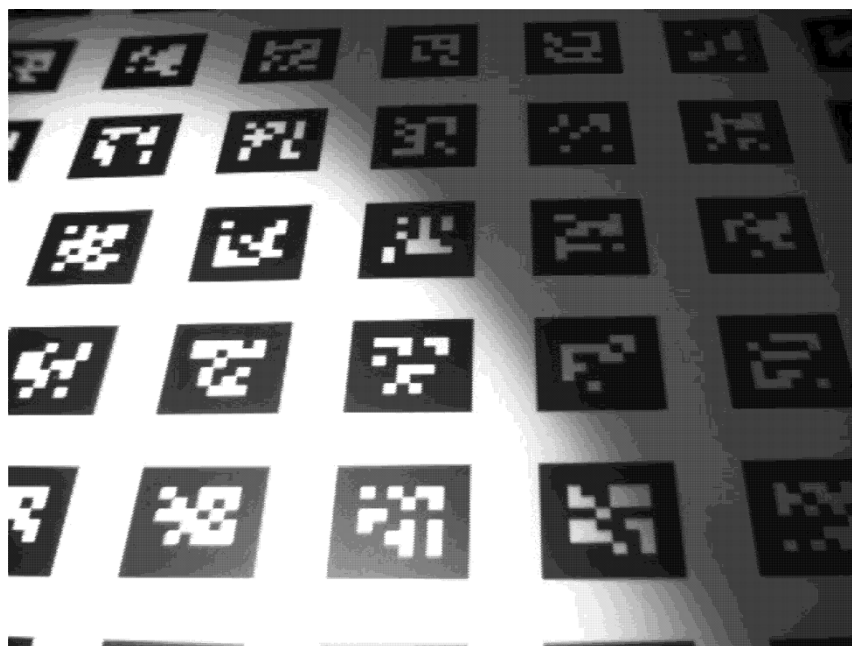
Na Figura 2, é possível perceber padrões horizontais, especialmente na região do nariz. A imagem parece ser uma representação bastante razoável da original, podendo ser uma boa aproximação para muitos casos.

Devido ao tipo da imagem, é difícil fazer maiores comparações com as Figuras 1 e 2. Todas as imagens, em escala próxima a original, são bastante semelhantes. Passamos agora para outro conjunto de imagens resultantes, geradas a partir da original, “fiducial.pgm”.

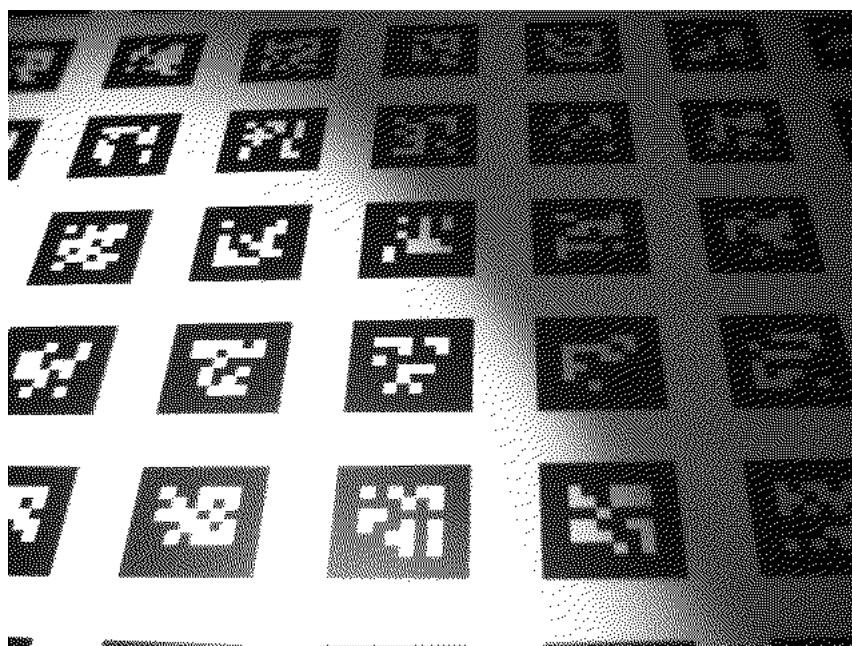


**Figura 3. Comparação da imagem “fiducial.pgm” com as técnicas de pontilhado ordenado sem difusão de erro.**

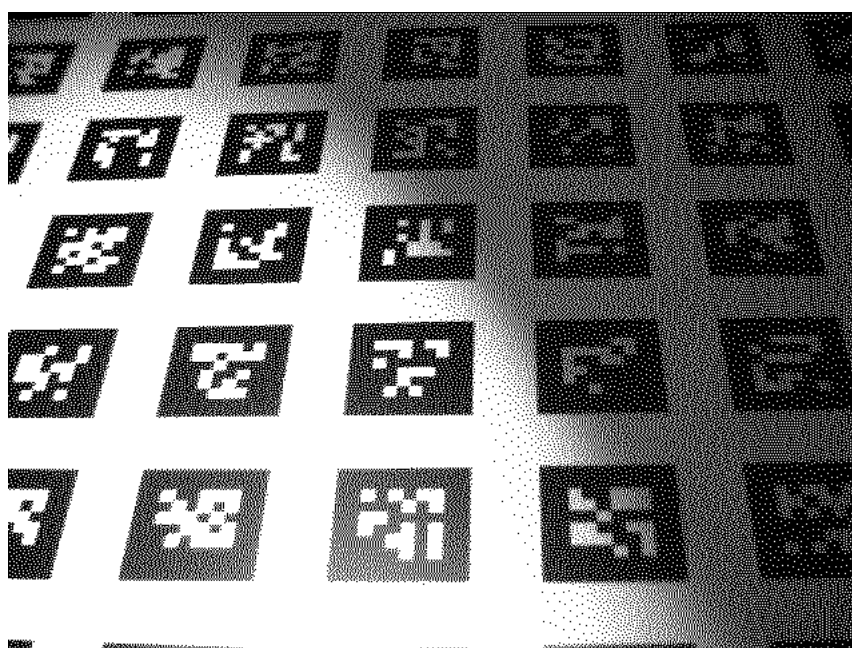
Na Figura 3, é possível perceber as diferenças dos pontilhados ordenados. Enquanto no 3x3 a transição da região branca para a escura ocorre em forma de degraus de percepção de cinza, a imagem com a matriz 4x4 possui transições mais suaves, dando a impressão de continuidade, sendo mais natural e próxima da imagem original. Vejamos agora a comparação com Floyd-Steinberg para esse caso.



**Figura 4. “fiducial.pgm” após ser processada pelo pontilhado ordenado de Bayer.**



**Figura 5. “fiducial.pgm” após ser processada pelo pontilhado ordenado com difusão de erro de Floyd-Steinberg.**

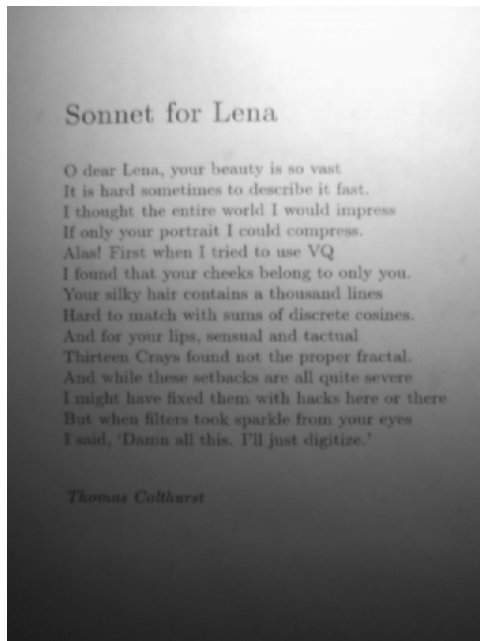


**Figura 6. “fiducial.pgm” após ser processada pelo pontilhado ordenado com difusão de erro de Floyd-Steinberg com ordem de passagem alternada na matriz.**

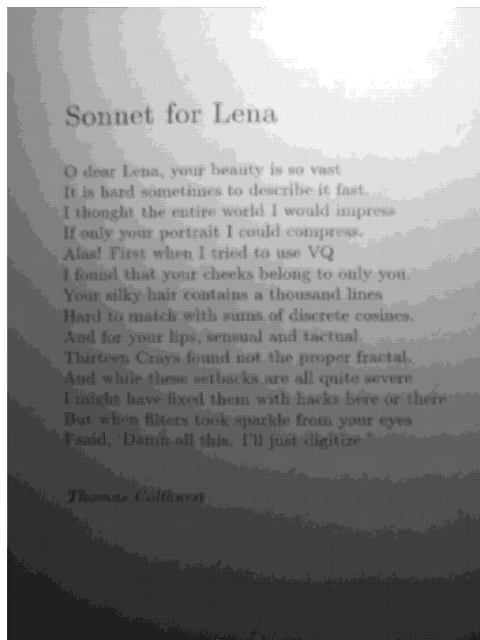
Ao serem comparadas nesse tamanho, entre as Figuras 4, 5 e 6, a Figura 4 parece estar mais próxima da original. Isso surpreende pelo fato de se esperar resultados melhores de técnicas que levam em consideração o erro de uma região. No entanto, as diferenças da Figura 4 são mais evidentes que as Figuras 5 e 6 quando a escala da imagem é menor.

Quanto às características das imagens, as Figuras 5 e 6 não apresentam grandes diferenças. No entanto, a Figura 5 possui a formação de segmentos de retas no início da divisão da região clara para a mais escura, o que não ocorre com a Figura 6.

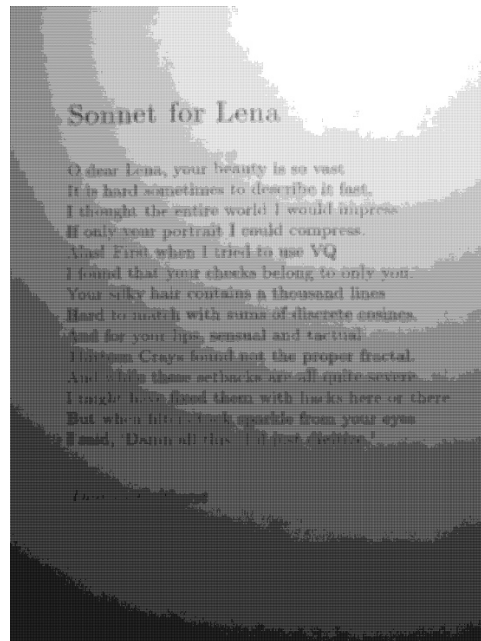
Imagem original



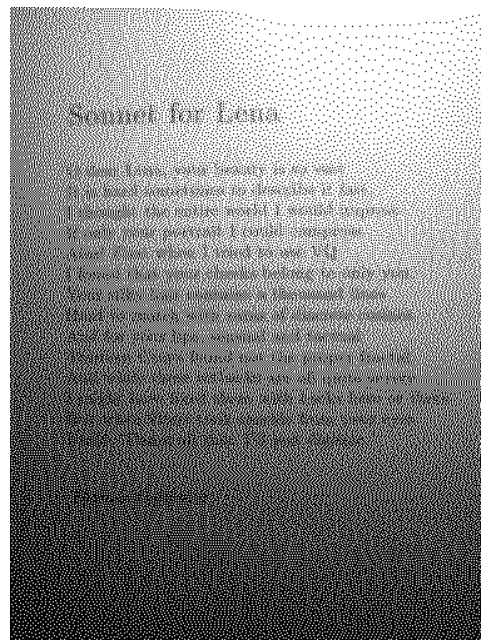
Bayer



Pontilhado ordenado



Floyd-Steinberg



**Figura 7. Comparação de versões de “fiducial.pgm” após aplicação de halftoning.**

A Figura 7 apresenta comparações para uma imagem que contém texto. Na dimensão apresentada, o texto é legível na imagem original e na versão com Bayer. Apesar da formação de degraus no fundo, Bayer é a imagem mais próxima da original. A formação de padrões quadriculados no pontilhado ordenado 3x3 dificulta a leitura, especialmente



no fundo mais escuro. A versão que usa Floyd-Steinberg torna o texto totalmente ilegível, pois a difusão de erro introduz ruído que impossibilita a leitura. A versão de Floyd-Steinber alternada não possui uma diferença notável com a versão apresentada na imagem.



**Figura 8. Imagem original “beach.pgm”.**



**Figura 9. Pontilhado ordenado 3x3 aplicado a “beach.pgm”.**





**Figura 10. Pontilhado ordenado com matriz de Bayer em “beach.pgm”.**



**Figura 11. Pontilhado com difusão de erro (passagem alternada) aplicado em “beach.pgm”.**

As Figuras 8, 9, 10 e 11 são versões de “beach.pgm”. Foi escolhido testar essa imagem por possuir figuras humanas e ambientes naturais. Dentre as imagens resultantes, a Figura 10 (Bayer) se aproxima muito da imagem original, com perda de apenas alguns detalhes

mais finos. O pontilhado ordenado 3x3 (Figura 9) apresentada quadriculado e perda nos detalhes das ondas. A Figura 11 perdeu bastante detalhes, especialmente na região mais clara (ondas), onde não é possível identificar a área tão bem.

Para um último caso de análise, foram aplicadas as técnicas em uma imagem de *cartoon*, “dragon.pgm”.

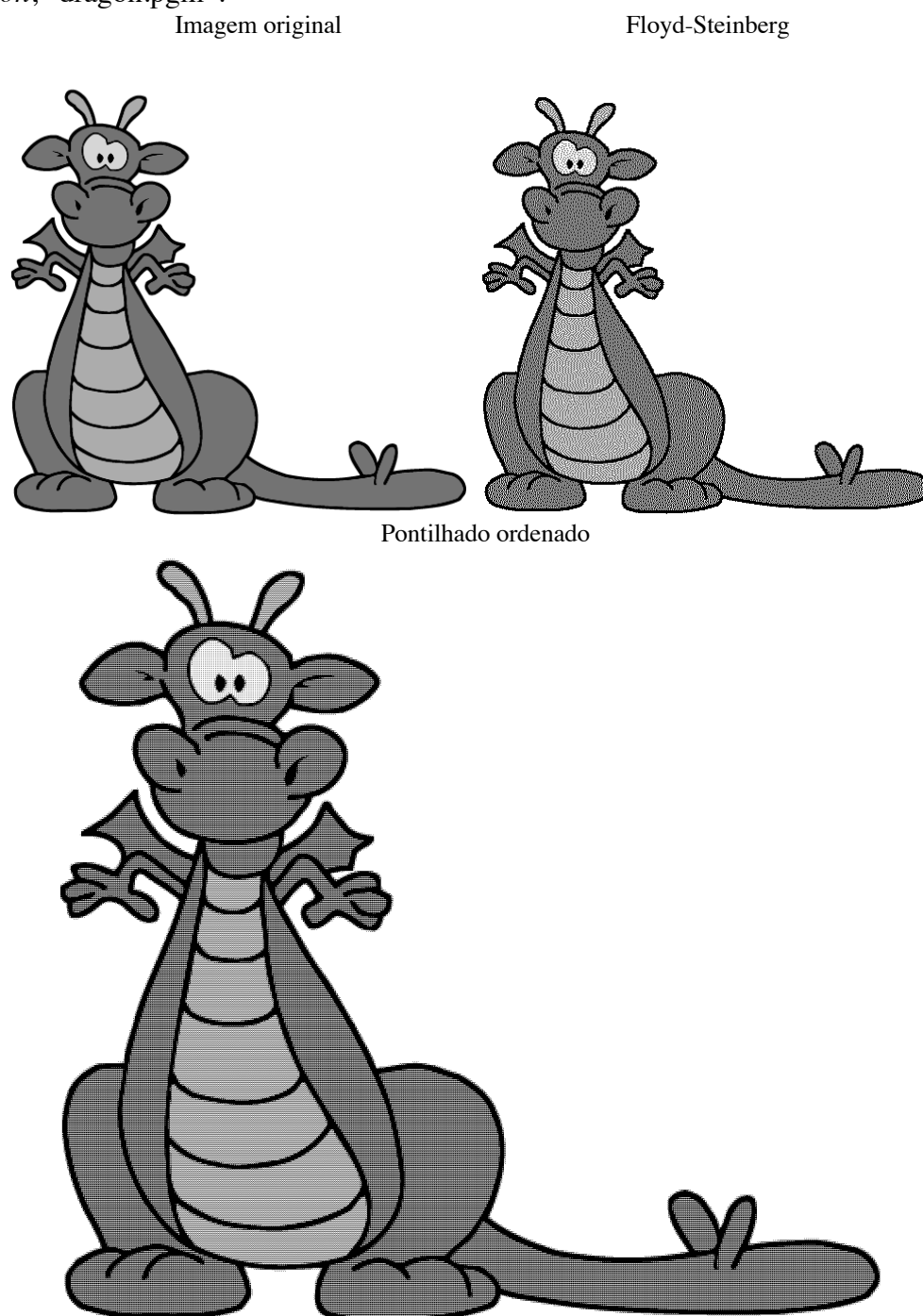
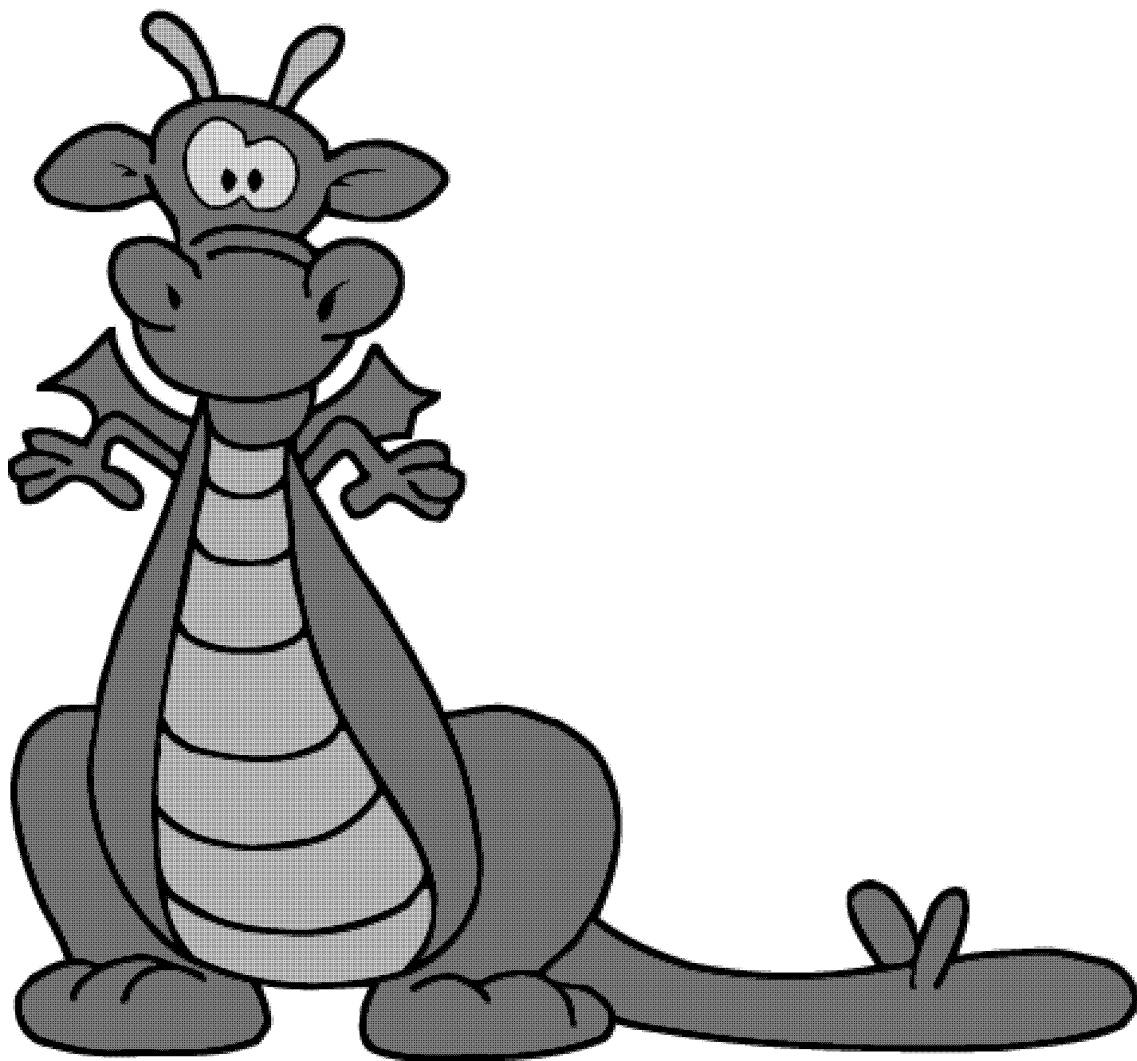


Figura 12. Comparações de versões da imagem “dragon.pgm”.



**Figura 13. “dragon.pgm” depois do pontilhamento com a matriz de Bayer.**

Na Figura 12, é possível perceber como a técnica de Floyd-Steinberg dá uma textura artificial para regiões contíguas e o pontilhamento ordenado com a matriz 3x3 cria pequenos quadros e faixas horizontais. Novamente, o resultado da imagem que usou a matriz de Bayer é melhor (Figura 13), com quadrados muito pequenos visíveis da imagem. Usando como parâmetro a percepção visual, a imagem resultante é bastante próxima da original.

## **5. Conclusões**

Este trabalho apresentou a implementação de 3 técnicas de pontilhamento ordenado e suas comparações com relação a uma base pequena de imagens PGM. Cada técnica apresenta seus pontos fortes e fracos, que foram avaliados do ponto de vista da percepção visual dos resultados obtidos.

As técnicas de pontilhamento ordenado sem difusão de erro, no geral, apresentaram resultados visualmente bastante semelhantes as imagens originais quando redimensionados. Uma característica importante é a expansão da imagem, sendo 9 vezes

maior na matriz 3x3 e 16 vezes na de Bayer. Em ambas, pode haver formação de padrões, especialmente em regiões uniformes maiores, sendo mais grave na matriz 3x3. Isso pode ser explicado pelo tamanho da matriz, havendo um resultado mais suave em matrizes maiores, em troca de custo mais elevado.

A técnica de difusão de erro de Floyd-Steinberg gera uma imagem do mesmo tamanho que a original. Seus resultados são bastante razoáveis para a representação das imagens, mas o pontilhado é mais nitidamente visível. As diferenças de iluminação são melhor vistas nesta técnica, apesar de apresentar muito ruído em determinados casos, como no uso em imagens com texto. Em imagens com muitos detalhes, como o “baboon.pgm”, os resultados foram bastante positivos. A passagem direta ou alternada, no geral, deu pouca diferença nas imagens, esta última evitando a criação de padrões indesejados como segmentos de retas nas imagens.

De forma geral, os resultados visualmente mais positivos são os que fazem uso da matriz de Bayer, com uma imagem mais suave que as demais (menos diferenças abruptas) e com semelhança à original. No entanto, para se obter uma imagem do tamanho original, é necessário realizar um redimensionamento depois do processo.

O projeto cumpre as especificações dadas e as observações foram condizentes com o conjunto de entrada usado. As implementações também tiveram resultados semelhantes aos encontrados em características presentes nos materiais de aula e literatura.

## **Referências**

OpenCV. (2015) “OpenCV Documentation”. Disponível em: <<https://docs.opencv.org/>>. Acesso em: mai. 2019.

PGMA. (2011) “PGMA data directory”. Disponível em: <<http://people.sc.fsu.edu/~jburkardt/data/pgma/pgma.html>>. Consulta em mai. 2019.

SciPy.org. (2019) “NumPy Reference”. Disponível em: <<https://docs.scipy.org/doc/numpy/reference/>>. Acesso em: mai. 2019.