

# Introdução ao Processamento de Imagem Digital

## Trabalho 2

RAYSA MASSON BENATTI

RA 176483

### I. ESPECIFICAÇÃO DO PROBLEMA

O presente relatório apresenta a descrição das conclusões e estratégias adotadas para a resolução do Trabalho 2 da disciplina Introdução ao Processamento de Imagem Digital (MC906/MO443), ministrada no primeiro semestre de 2019 na Unicamp pelo professor Hélio Pedrini.

O trabalho consistiu em aplicar técnicas de pontilhado (*halftoning*) em imagens monocromáticas. As técnicas de pontilhado têm o objetivo de reduzir a quantidade de cores (ou níveis de cinza) necessária para exibir uma imagem, tentando manter para o usuário, tanto quanto possível, a percepção que teria da imagem com sua profundidade original. Isso pode ser útil em situações nas quais a quantidade original de níveis de cinza não está disponível para exibição — por exemplo, se a imagem deve ser impressa em um dispositivo que só imprima em preto e branco.

No presente trabalho, foram aplicadas quatro técnicas de *halftoning*: duas de pontilhado ordenado e duas de pontilhado por difusão de erro (Floyd-Steinberg).

### II. ENTRADA DE DADOS

As imagens de entrada são imagens monocromáticas em tons de cinza, de tamanhos variados, retiradas de [1]. Todas as imagens de entrada estão no formato PGM (*Portable Gray Map*).

Para a leitura das imagens e aplicação das técnicas, foi utilizado o método `imread(filename)`, que faz parte da biblioteca **OpenCV**. As imagens são lidas em modo *grayscale* e armazenadas em uma variável sobre a qual são feitas, em seguida, as manipulações necessárias.

As matrizes a ser utilizadas sobre as imagens para aplicação das técnicas de pontilhado ordenado foram construídas manualmente no código, como *arrays* simples.

### III. ALGORITMOS E SOLUÇÕES ADOTADAS

#### A. Pontilhado ordenado

O pontilhado ordenado consiste em utilizar uma matriz como base para formar um conjunto de diferentes padrões de pontos pretos e brancos. A primeira das técnicas de pontilhado

ordenado utilizadas baseou-se na seguinte matriz 3 x 3:

6	8	4
1	0	3
5	2	7

Figura 1. Matriz 3x3 utilizada para a primeira técnica de pontilhado ordenado.

Os valores de cada uma das células da matriz são adotados para a construção de padrões. Um padrão  $i$  é representado, nesse caso, como uma matriz 3 x 3 em que todas as células cujo valor na matriz-base seja menor que  $i$  são preenchidas de preto. Assim, uma matriz-base de dimensão  $M \times N$  dará origem a  $MN + 1$  padrões. No caso da matriz 3 x 3, teremos dez padrões, isto é, dez níveis de cinza:

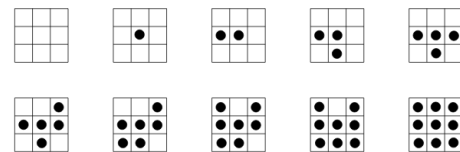


Figura 2. Padrões gerados a partir da matriz 3 x 3.

No código, os valores da matriz foram usados como limiares para a transformação da imagem original em uma imagem pontilhada. No método `halftoning_3(img)`, a imagem é varrida da esquerda para a direita, de cima para baixo; cada um dos valores de seus pixels é normalizado para o intervalo  $[0, 9]$  com auxílio de um método `norm3(a)`; em seguida, o valor normalizado é comparado com o valor da célula equivalente na matriz 3 x 3 apresentada na figura 1. Caso o valor na imagem seja maior ou igual ao valor na matriz, o pixel é substituído pelo valor 255 (branco); caso contrário, é substituído por 0 (preto).

A segunda técnica de pontilhado ordenado utilizada é similar à primeira. A diferença é a matriz-base utilizada, sendo agora uma matriz 4 x 4 conhecida como matriz do pontilhado ordenado de Bayer:

0	12	3	15
8	4	11	7
2	14	1	13
10	6	9	5

Figura 3. Matriz do pontilhado ordenado de Bayer.

Similarmente ao que foi feito na técnica anterior, a imagem original é varrida no método `half_toning_4(img)`, seus valores são normalizados com auxílio do método `norm4(a)` e a substituição de valores em cada pixel é feita.

#### B. Pontilhado por difusão de erro de Floyd-Steinberg

No método de Floyd-Steinberg, os pixels da imagem original também são substituídos por valores preto ou branco. Há, contudo, duas principais diferenças em relação às técnicas de pontilhado ordenado apresentadas:

- Os pixels não são substituídos a partir da comparação com uma matriz-base, mas sim com um determinado limiar, aqui definido como 128;
- Para cada pixel substituído, armazena-se o erro entre o valor original do pixel e seu valor aproximado. Esse erro é, em seguida, distribuído aos pixels adjacentes.

Ou seja, cada pixel é transformado em 255 (branco) se seu valor original for maior que 128, ou em 0 (preto) caso contrário. O erro é adicionado aos valores originais dos pixels adjacentes conforme os pesos especificados na matriz 3 x 3:

	$f(x,y)$	7/16
3/16	5/16	1/16

Figura 4. Matriz do pontilhado por difusão de erros de Floyd-Steinberg.

No código, esse algoritmo foi implementado tomando-se o cuidado de não deixar os pixels da imagem assumirem valores menores que 0 ou maiores que 255, o que é garantido utilizando-se a função auxiliar `add(a, b)` para realizar as somas de valores.

Além disso, foram aplicadas duas diferentes técnicas a partir do método de Floyd-Steinberg. A primeira, executada no método `floydsteinberg_A(img)`, varre a imagem da maneira tradicional: da esquerda para a direita, de cima para baixo. A segunda, implementada no método `floydsteinberg_B(img)`, varre a imagem alternando o sentido em cada linha: em linhas pares, varre-se da esquerda para a direita; em linhas ímpares, varre-se da direita para a

esquerda. A varredura em si é feita, nos dois casos, no método `varredura(img, i, j, N_img, M_img)`. A imagem a seguir ilustra essa diferença.

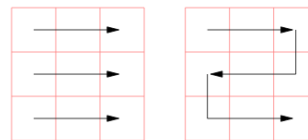


Figura 5. À esquerda, varredura tradicional; à direita, varredura alternada.

As duas técnicas foram aplicadas pois a ordem de processamento dos pixels pode alterar o resultado final: quando se realiza a varredura tradicional, a imagem resultante pode exibir padrões de direcionalidade indesejados, o que é mitigado utilizando-se a varredura alternada.

## IV. SAÍDA DE DADOS

Os resultados das operações são recuperados com o método `imwrite(filename, img)` da biblioteca OpenCV. As imagens de saída são gravadas no formato PBM (*Portable Bit Map*).

## V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os filtros foram testados tendo como referência a imagem "wedge.pgm".

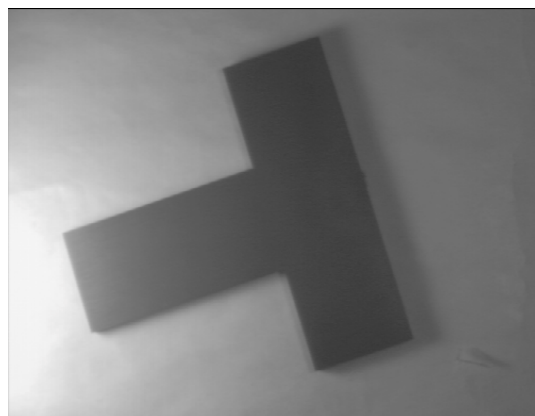


Figura 6. Imagem original utilizada para testes.

Cada uma das técnicas foi também aplicada em uma imagem diferente, além de "wedge.pgm", para comparação. As imagens resultantes da aplicação das técnicas encontram-se no anexo deste relatório, bem como na pasta .zip onde ele está contido.

#### *A. Pontilhado ordenado*

A aplicação da técnica de pontilhado ordenado gerou imagens onde os objetos ainda são identificáveis, mas seus detalhes, naturalmente, se perdem. As imagens resultantes exibem "faixas"(ou regiões) de tons de cinza bastante distinguíveis entre si.

A principal diferença observada entre a técnica que usa a matriz  $3 \times 3$  e a técnica que usa a matriz de Bayer foi que, no primeiro caso, o objeto apresentou maior perda de informação nas bordas (transição entre o objeto e o fundo). Com o uso da matriz  $4 \times 4$ , essa distorção foi menor, e a sombra do objeto manteve-se bem demarcada.

#### *B. Pontilhado por difusão de erro de Floyd-Steinberg*

As técnicas de pontilhado por difusão de erro resultam em imagens com menos perda de informação que as de pontilhado ordenado — embora algum grau de perda de informação seja inevitável. Ao aplicar a técnica de varredura tradicional em uma imagem de um soneto, por exemplo, as palavras tornam-se indistinguíveis. Contudo, detalhes menos finos mantêm-se sendo identificáveis, havendo menor distorção de bordas do que com a técnica anterior.

[1] Hélio Pedrini. Banco de imagens disponível em [http://www.ic.unicamp.br/~helio/imagens\\_pgm/](http://www.ic.unicamp.br/~helio/imagens_pgm/).



## ANEXO: IMAGENS RESULTANTES

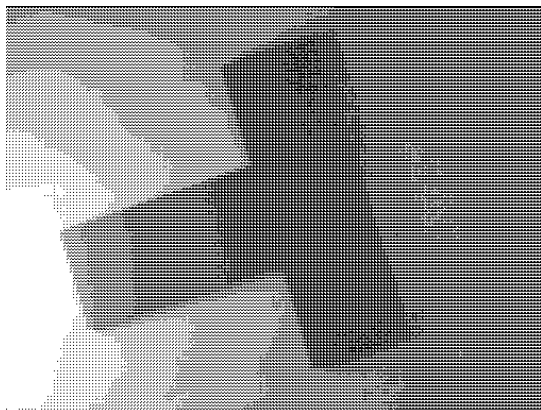


Figura 7. Imagem da cunha com pontilhado ordenado (matriz 3 x 3).

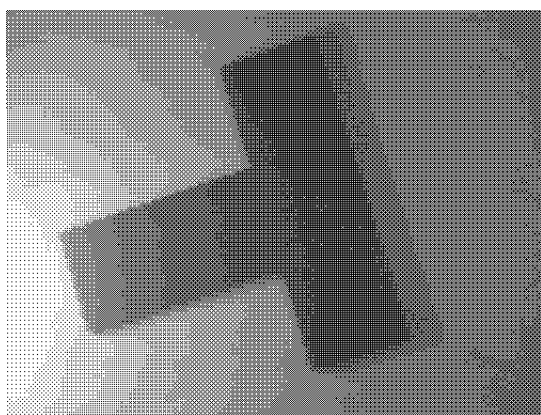


Figura 8. Imagem da cunha com pontilhado ordenado (matriz 4 x 4).

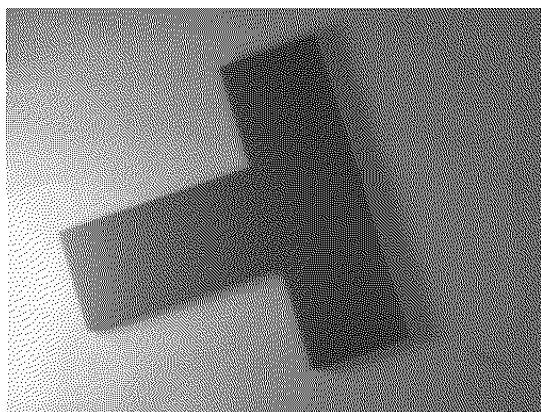


Figura 9. Imagem da cunha com pontilhado por difusão de erro (varredura comum).

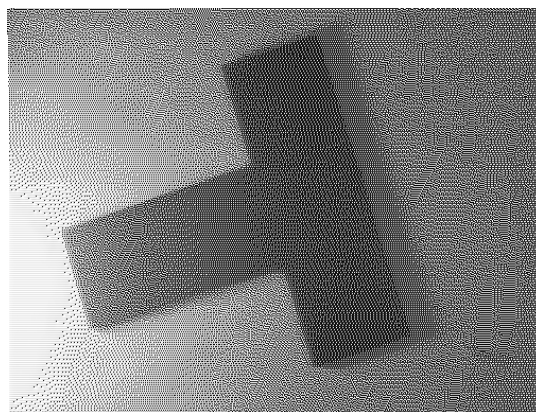


Figura 10. Imagem da cunha com pontilhado por difusão de erro (varredura alternada).

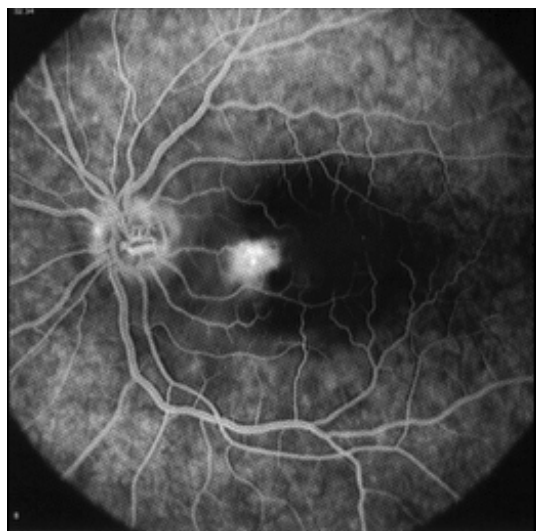


Figura 11. Imagem original de uma retina.

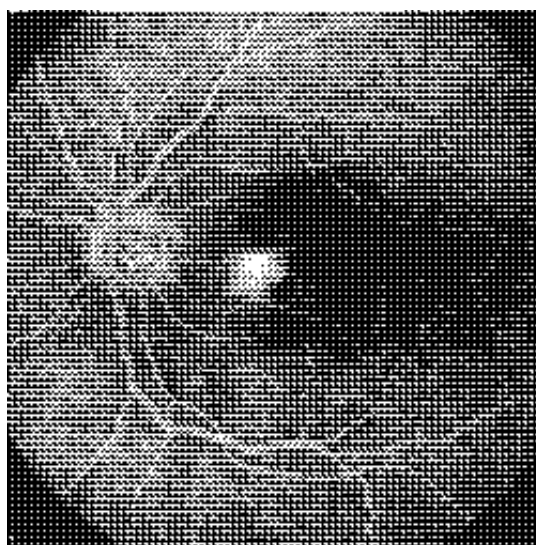


Figura 12. Imagem da retina após aplicação da técnica de pontilhado ordenado com matriz 3 x 3.



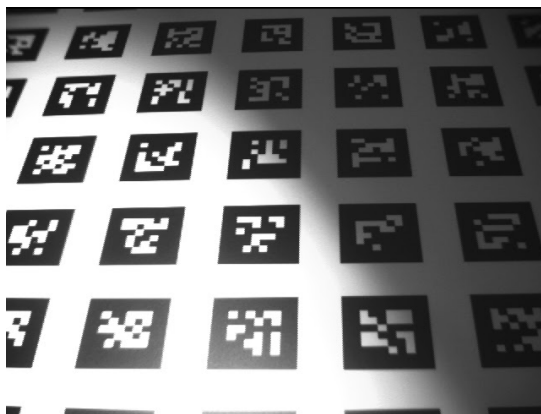


Figura 13. Imagem original de um conjunto de padrões.

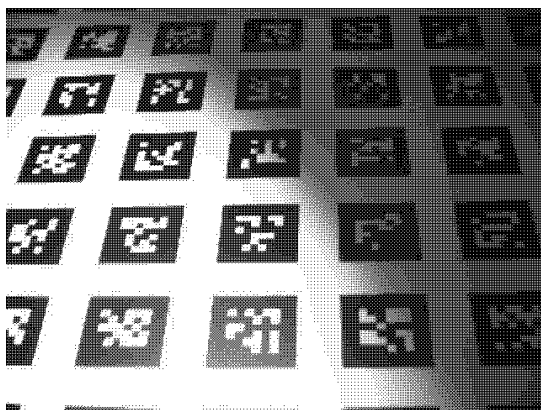


Figura 14. Imagem do conjunto de padrões após aplicação da técnica de pontilhado ordenado com matriz 4 x 4.

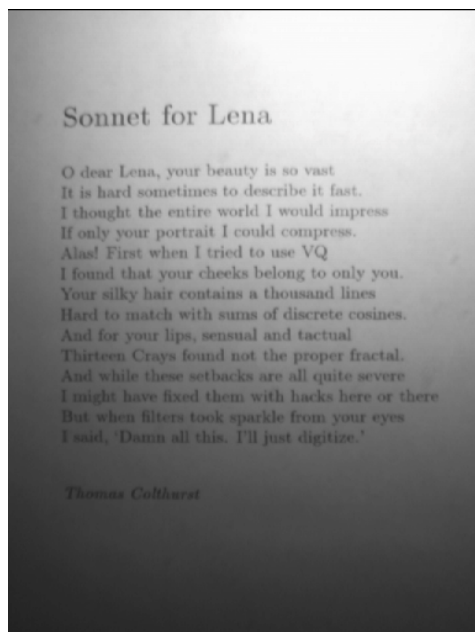


Figura 15. Imagem original de um soneto.

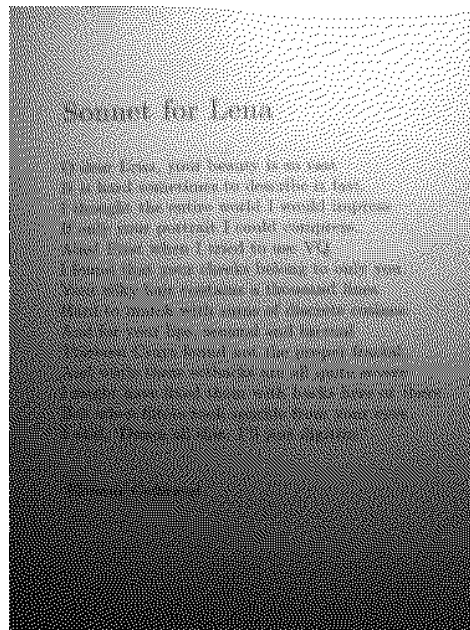


Figura 16. Imagem do soneto após aplicação da técnica de pontilhado por difusão de erro com varredura comum.



Figura 17. Imagem original de pimentões.

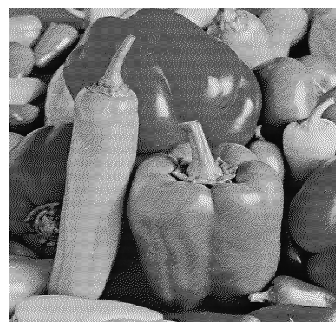


Figura 18. Imagem dos pimentões após aplicação da técnica de pontilhado por difusão de erro com varredura alternada.