Anotações sobre a Iniciação Científica

Aluno Heitor Barroso Cavalcante - 12566101

Professora Nina S. T. Hirata

21 de Abril de 2022

Conteúdo

1 Processamento de Imagens Digitais

1.1 Introdução

O processamento de imagens é uma subárea da disciplina de "Processamento de Sinais", e essa subárea pode ser dividida em processamento digital ou analógico de imagens.

- Processamento Analógico de Imagens:
  As imagens são manipuladas através da variação de sinais elétricos, o maior exemplo deste tipo de processamento é a imagem de televisão.

- Processamento Digital de Imagens:
  Consiste em desenvolver sistemas digitais para manipular imagens.

Nesse sentido, imagens podem ser compreendidas como um sinal bidimensional e pode ser definida como uma função $f(x, y)$ tal que (x, y) são as coordenadas de um pixel e $f(x, y$ é o valor deste pixel. Assim, figuras visualizadas em um computador, por exemplo são matrizes de inteiros que variam de 0 a 255. As dimensões da imagem são as dimensões da matriz.

Um sinal, pode ser definido como qualquer quantidade física medida através do tempo, do espaço ou qualquer outra dimensão. Logo, uma imagem digital pode ser caracterizada como um sinal de duas dimensões.

A formação de uma imagem digital parte de um processo físico. A luz refletida pelos objetos fotografados é medida por diversos sensores e uma tensão contínua é gerada de acordo com a quantidade de luz captada pelos sensores. Agora, esse sinal analógico deve ser convertido para um digital. Para isso, amostragem e quantização são utilizadas para gerar a matriz de números que forma a imagem digital.

Visão Computacional consiste no desenvolvimento de um sistema que consiga, a partir de uma imagem, gerar uma saída contendo informações sobre a imagem. Por exemplo, sistemas com reconhecimento facial.

Por fim, resumindo, o processamento de sinais é muito importante para o processamento de imagens. Sensores captam a luz do mundo físico, resultando em um sinal bidimensional que, após ser processado, forma uma imagem digital. Aí então esta imagem é manipulada através do processamento digital de imagens.

1.2 Introdução à Sinais e Sistemas

Primeiramente, definindo os termos chaves dessa seção:

1.2.1 Sinais

Em Engneharia elétrica, a medida fundamental para representação de informações é chamada sinal. Um sinal poderia ter quaisquer dimensões e ser de qualquer forma.

- Sinais Analógicos:
  Um sinal analógico, medido através do tempo é um sinal contínuo. Eles são difíceis de analizar. Para representá-los, precisariamos de memória infinita. Isso ocorre pois a amostra é "infinita". Um exemplo é a voz humana ou $y = \sin(x)$.

- Sinais Digitais:
  São a apropriação dos sinais analógicos de uma maneira descontínua, valores discretos são utilizados para representar informações. Logicamente são menos precisos que sinais analógicos.

1.2.2 Sistemas

Um sistema é definido através dos tipos de sinais de entrada e dos tipos de sinais de saída em relação aos quais o sistema funciona. Nesse caso, um sistema pode ser interpretado como o processo de conversão de um sinal analógico para um sinal digital.

Em tal tipo de conversão, há dois conceitos chave. Amostragem e Quantização. Amostragem pode ser definido como o ato de tirar amostras do sinal isso ocorre no domínio da função que representa o sinal analógico. Já Quantização pode ser definido como o ato de particionar os valores que a função pode assumir.

2 Aplicações do Processamento de Imagens Digitais

- Restauração de imagens.
- Análise de imagens médicas.
- Sensoriamento remoto.

- Visão computacional.
- Reconhecimento de padrões.
- Processamento de vídeos.
- Análise de imagens microscópicas.

3 Dimensões das Imagens

Primeiramente, o conceito de dimensão define o número mínimo de pontos necessários para saber a posição de um objeto particular no espaço. No caso das imagens, sabemos que são bidimensionais. Altura e Largura. No caso de vídeos, podemos considerar o tempo como uma terceira dimensão e, por isso, podemos classificar esse tipo de imagens (vídeos) como 3D. Desso modo, podemos definir a imagem como uma função de duas variaveis.

$$f(x,y) = Imagem$$

É interessante ressaltar que um filme pode ser considerado 3D. E, portanto, na realidade, um filme 3D seria 4D.

4 Formação de Imagens em Câmeras

Primeiro, é bom comentar sobre a formação de imagens no olho humano. A luz é refletida pelos objetos e é captada pelos olhos. Ao entrar no olho a imagem fica invertida na retina. Então, o cérebro interpreta a imagem invertida e a "desinverte".

4.1 Formação de Imagens em Câmeras Analógicas

Nesse tipo de câmera, o filme — uma tira plástica — é revestida com halogeneto de prata. Essa substância reage com os fótons e forma o negativo das imagens fotografadas.

4.2 Formação de Imagens em Câmeras Digitais

Nesse tipo de câmera, a formação das imagens se dá através do uso de um vetor de sensores CCD. CCD significa Charged Couple Devices. Ou seja, dispositivo de carga acoplada, que é um sensor semicondutor que é sensível à imagem e a converte em um sinal elétrico. Há uma matriz retangular desses sensores, em que cada um dos sensores corresponde à um pixel da imagem formada. Depois de cada sensor na matriz armazenar uma carga a partir da incidência de fótons, tal carga é transformada em uma tensão que é convertida em informação digital. Isso ocorre em um sensor por vez.

5 Mecanismos das Câmeras

5.1 Aperture - Abertura

Como o próprio nome diz, é um orifício que permite a passagem da luz para dentro da câmera. Há lâminas que regulam o tamanho da abertura fazendo com que mais ou menos luz tenha acesso ao interior da câmera. O efeito da abertura da câmera corresponde ao brilho da imagem fotografada

5.2 Shutter - Obturador

Podemos pensar no obturador como uma espécie de cortina que fica depois da abertura da câmera. Por trás do obturador está a matriz de dispositivos de carga acoplada. Assim que o obturador se abre a imagem é formada nessa matriz. Os efeitos do obturador dependem do tempo que a ele permanece aberto. Quanto mais tempo mais claridade haverá na imagem. Nesse sentido, dois conceitos chaves sobre esse mecanismo são o tempo e a velocidade. "Shutter speed" e "Shutter time". A velocidade representa quantas vezes o obturador se abriu ou se fechou, já o tempo representa o intervalo de tempo em que ele permanece aberto. É interessante ressaltar que há uma relação inversamente proporcional entre a velocidade e o tempo. Quanto mais velocidade, menor tempo e vice-versa. Uma aplicação importante da velocidade e do tempo do obturador é o ato de capturar imagens que se movimentam em alta velocidade. Assim, quanto menor for o tempo do obturador, melhor conseguiremos capturar imagens que se movem rapidamente.

5.3 ISO

O fator ISO representa a sensibilidade de uma câmera à luz. Quanto maior o número ISO de uma câmera, mais sensível ela é à luz. Contudo, há um sintoma colateral que se pronuncia quando o número ISO é elevado. Nesses casos, há mais ruído na imagem capturada.

5.4 Conceito de Pixel

O pixel é a unidade da imagem. Em uma imagem em gray-scale de 8 bits, cada pixel possui um valor de 0 a 255, que corresponde à intensidade da luz naquele ponto. Novamente, cada dispositivo de carga acoplada corresponde à um pixel.

5.4.1 Cálculo do número total de pixels

Para saber a quantidade de pixels em uma imagem, basta multiplicar as dimensões da matriz

$$\#pixels = \#colunas \cdot \#linhas$$

5.4.2 Valores de pixels

Sabemos que cada pixel possui somente um valor. Além disso, por definição, o valor 0 significa ausência de luz.

6 Transformação de Perspectiva

De modo geral, um exemplo claro do que é perspectiva, é o fato de, através dos olhos humanos, ao vizualizar objetos menos distantes, esses aparentam ser maiores. Nesse sentido, a transformação de perspectiva é sobre a conversão de uma realidade tridimensional (altura, largura e profundidade) em um uma imagem bidimensional (altura e largura).

6.1 Referencial - Frame of Reference

ACHEI ESSA PARTE CONFUSA

Para analisar o mundo/imagem/cena tridimensional, precisamos de 5 referenciais — “frame of references” — sendo esses:

- Objeto
- Mundo
- Camera
- Imagem
- Pixel

De qualquer maneira, essa transformação pode ser compreendida ao utilizarmos simpes conceitos de ótica e trigonometria. Observe: Podemos usar

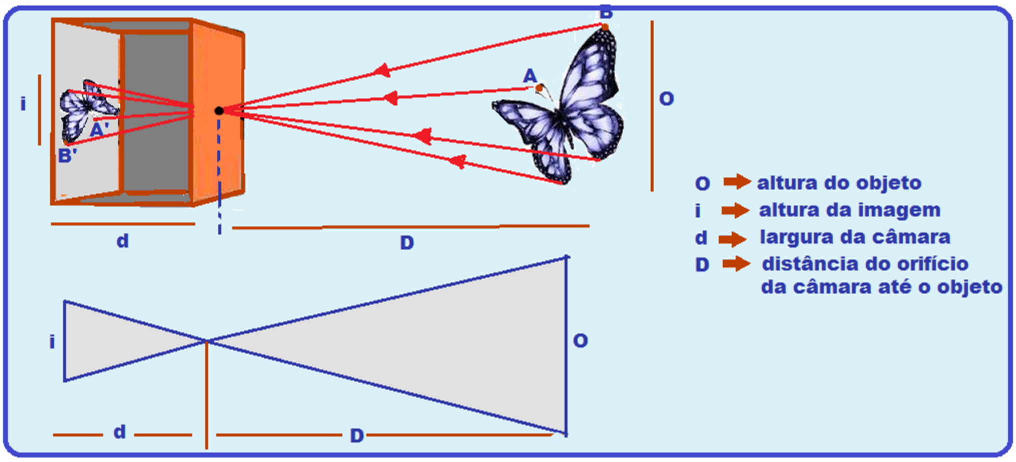

Figura 1: Imagem para exemplificar o uso da trigonometria na conversão do mundo 3D para o 2D

semelhança de triângulos para descobrir o tamanho da imagem formada i.

$$\frac{i}{d} = \frac{O}{D} \Rightarrow i = d\frac{O}{D}$$

7 Conceito de bits por pixel

O número de cores que podem ser representadas em uma imagem depende da quantidade de bits por pixel presente nessa imagem. De maneira geral, podemos dizer que a maioria das imagens em gray-scale consiste de 8 bits por pixel. Equanto as coloridas tem, geralemente 24 *bpp*. Isso pode ser compreendido ao imaginar que cada canal R, G, e B são possuem 8 bits.

Como dito anteriormente, o valor 0 é, por padrão, o valor que representa a cor preta, intensidade mínima em um canal de cor. Agora, o valor que representa o valor máximo não é padronizado, depende do *bbp* dessa imagem. Então, teremos que esse valor pode ser representado por $2^{bpp} - 1$.

7.1 Cálculo do tamanho (em memória) de uma imagem

Para saber o tamanho de uma imagem, devemos levar em consideração as suas dimensões bidimensionais e o número de *bpp*. Por exemplo, digamos que uma imagem possua 1024 linhas, 1024 colunas e 8*bpp*, teremos:

$$tamanho = 1024 \cdot 1024 \cdot 8 = 8388608\ bits \Rightarrow$$
$$\Rightarrow tamanho = \frac{8388608}{8} = 1048576\ bytes \Rightarrow$$
$$\Rightarrow tamanho = \frac{1048576}{1024} = 1024\ kb \Rightarrow tamanho = \frac{1024}{1024}\ Mb$$

8 Tipos de imagens

8.1 Imagem binária

Nesse caso, há somente 2 valores possíveis para os pixels dessa imagem 0 ou 1. Onde 0 representa o preto e 1 o branco.

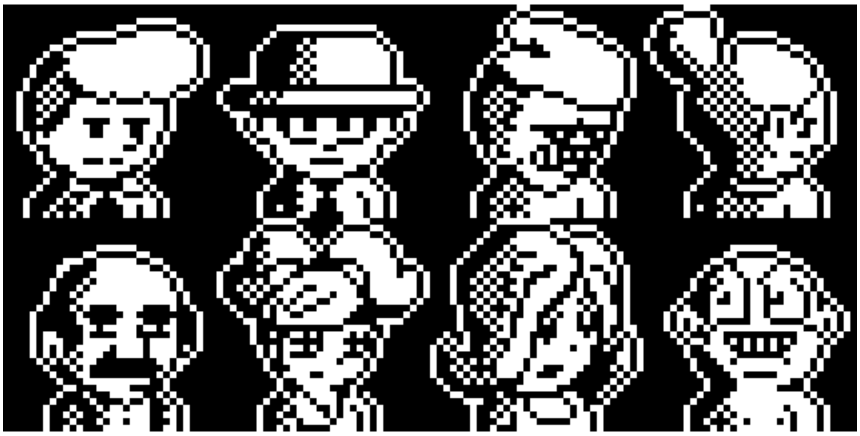

Figura 2: Imagem binária

8.2 Formato 8 bits de cor

Comumente conhecida como imagens Grayscale.

8.3 Formato 16 bits de cor

Aqui já temos imagens coloridas. Esses 16 bits são distribuídos nos 3 canais R, G e B. Da seguinte maneira:

- 5 bits para o vermelho (R).
- 6 bits para o azul (G).
- 5 bits para o verde (B).

Figura 3: Imagem Grayscale

8.4 Formato 24 bits de cor

Por fim, temos o formato de imagens mais comuns hoje em dia. Em que temos esses 24 bits distribuídos igualmente entre os canais R, G e B.

Figura 4: Exemplo de imagem de 24 bits

9 Códigos de cores

Consideramos aqui que todas as cores estão no formato de 24bits. ou seja, uma cor "C" é tal que $(R, G, B) = (C_R, C_G, C_B)$ Assim, no formato RGB, temos:

- Branco = (255, 255, 255)

- Preto = (0, 0, 0)
- Vermelho = (255, 0, 0)
- Verde = (0, 255, 0)
- Azul = (0, 0, 255)
- Cinza = (128, 128, 128)
  Nesse caso, a cor cinza é sempre o ponto médio entre a intensidade máxima e mínima. Logo, poderíamos escolher o valor de 127 ou de 128. Nesse caso, escolhemos 128 (em todos os canais).

9.1 Modelo CMYK

Agora, vale ressaltar o modelo de cores CMYK — comum em impressoras —, aqui, CMYK significa "cyan, magenta, yellow, black". No conceito de impressoras, geralmente há um cartucho de cores, (CMY) e outro preto. Assim, as cores ciano, magenta e amaerlo podem ser formadas ao se variar as porções de vermelho, verde e azul também. Os códigos RGB dessas cores são como segue.

- Magenta = (255, 0, 255)
  Combinação de vermelho e azul.
- Ciano = (0, 255, 255)
  Combinação de verde e azul.
- Amarelo = (255, 255, 0)
  Uma combinação de vermelho e verde.

Além disso, também há o formato hexadecimal para representação de cores. Logo, para converter de um formato para outro, de RGB para hexadecimal ou vice versa, fazemos:

9.2 Conversão RGB para Hexadecimal

O formato de uma cor em hexadecimal é tal que #FFFF00 (amarelo). para obter esses valores hexadecimais, deve-se, canal a canal RGB de uma dada cor, realizar a divisão do valor do canal por 16. Então, o quociente da divisão do canal R é o primeiro caracter do código, o segundo caracter é o resto dessa divisão. O terceiro valor é o quociente da divisão do valor do canal B por 16, o quarto é o resto dessa divisão. E assim por diante.

Observe:
Sabemos que o código do amarelo é (255, 255, 0). Então, sobre R: 255/16 tem quciente 15 e resto 15. FF. O mesmo ocorre com G. Agora, sobre B, teremos 00. Formando, assim o código #FFFF00.

9.3 Conversão Hexadecimal para RGB

Para fazer o caminho inverso, devemos dividir o código hexadecimal em três porções. Sobre o exemplo do amarelo, temos FF, FF, 00. Agora, em um desses pares por vez, convertemos cada um de seus caracteres para binário. Concatenamos os dois números binários obtidos, convertemos para decimal e, assim, obtemos os valores dos canais. Observe:
Primeiramente, tratando de FF. convertendo para binário, temos 1111 e 1111. Concatenando: 11111111. Convertendo para decimal: 255 (valor do canal R) Repetindo esses passos para os outros dois canais, obtemos o código da cor em (R, G, B).

10 Conversão de RGB para Grayscale

Primeiramente a maneira mais simples de se converter uma imagem para Grayscale é fazer a média entre os valores dos canais R, G e B. Observe que

Figura 5: Imagem original.

Figura 6: Imagem Grayscale feita com a média

essa figura não fica com um aspecto muito bom, fica "empretecida". Isso ocorre pois o olho humano não capta os níveis de vermelho, verde e azul na mesma proporção. Na realidade, o olho humano é muito mais sensível ao verde. Então, há o método de utilizar pesos para corrigir essas imperfeições. Então, se usarmos 30% para o vermelho, 59% para o verde e 11% para o azul, teremos:

Figura 7: Imagem original.

Figura 8: Imagem Grayscale feita utilizando pesos

11 Amostragem - Sampling

Como dito anteriormente, o conceito de amostragem se relaciona ao processo de conversão de um sinal analógico para o digital. Assim, tiramos amostras do domínio da função que queremos converter. Logo, podemos correlacionar esse conceito com os pixels da imagem que será formada. Imagine que queremos formar uma imagem de dimensões 5×5. Então, teremos que fazer uma amostragem da altura e largura do mundo que queremos representar em 5 valores diferentes cada. Ou seja, se a imagem é $f(x, y)$, x assumirá 5 valores e y assumirá 5 valores também. De maneira análoga, podemos relacionar esse conceito à matriz de dispositivos de carga acoplada "CCDs".

11.1 Diferenças entre Zoom Analógico e Digital

Apesar de ambos os conceitos se relacionarem ao fato de aumentarmos a amostragem do sinal, o zoom analógico aumenta essa amostragem através do movimento das lentes da câmera. Já o zoom digital funciona como se a imagem já houvesse sido capturada. Zoom analógico é feito nos sinais e o digital em uma imagem digital.

12 Resolução de pixels

De maneira simples, a resolução de uma imagem pode ser definida como a resolução a partir da qauntidade de pixels em uma imagem. Quando sabemos que a resolução de uma imagem é tal que $m \times n$ isso quer dizer que há m colunas de pixel (largura) e n linhas de pixel (altura). Nesse sentido, podemos calcular os MegaPixels de uma imagem fazendo $\dfrac{m \cdot n}{1\ mi}$ além disso, podemos saber o tamanho da imagem a partir de sua resolução também: $tamanho = pixelResolution \cdot bpp$

12.1 Proporção da Tela

Essa proporção nada mais é que a razão entre a largura da imagem e sua altura. Isso é extremamente útil ao mudar o tamnho das imagens, pois, se manetermos essa razão, então a imagem com tamanho modificado terá o mesmo aspecto que a imagem original.

13 Mais sobre Zoom

Como introduzimos os conceitos de zoom digital e analógico, podemos compará-los melhor. De fato, como o zoom analógico, ou óptico, nos proporciona um resultado melhor que o zoom digital. Isso ocorre pois, de fato estamos mudando a maneira como a fotografia será tirada, através do movimento das lentes. Agora, o zoom digital, é simplesmente, aumentar uma certa área de vizualização de uma imagem, fazendo os pixels ficarem "maiores". Por isso, a qualidade da imagem é comprometida. Para fazer isso, há alguns métodos possíveis. "Nearest neighbor interpolation", "Zero oeder hold method", "Zooming K times".

Um adendo interessante, é que o Exercício Programa 2 da disciplina de Laboratório de Métodos Numéricos, ministrada no primeiro semestre de 2022, tratou exatamente deste tópico. Podemos considerar o ato de dar zoom em uma imagem com uma maneira de interpolar pontos, formando novos pixels a partir de pixels dados. Nesse sentido, estudamos os métodos de interpolação polinomial bilinear e bicúbica. Agora, continuemos a tratar dessas outras maneiras de dar zoom, que são abordadas no material.

13.1 Nearest Neighbor - Pixel Replication

Para efetuar esse tipo de interpolação, devemos pensar, separadamente nas linhas e nas colunas da matriz que representa a imagem. Digamos que queremos aumentar a imagem por um fator de zoom x. Assim, assumindo que a imagem inicial tenha dimensões 3×3, por exemplo, e $x = 2$, a imagem final terá dimensões 6×6. Agora, seja essa imagem exmplificada pela matriz:

$$\begin{bmatrix} 10 & 4 & 22 \\ 2 & 18 & 7 \\ 9 & 14 & 25 \end{bmatrix}$$

Primeiramente, devemos normalizar a posição dos pixels da nova imagem em relação à imagem antiga, fazemos isso sobre as linhas e sobre as colunas, obtendo uma razão entre o número de linhas da imagem original e o número de linhas da nova imagem. Análogo, para colunas. Então, obtemos duas proporções sobre as dimensões das duas imagens. Agora, múltiplicamos os índices de cada elemento da nova imagem por essa proporção. Desse modo, atribuiremos o valor do elemento (na imagem original) que possua índice mais próximo ao que foi calculado. Observe no exemplo, onde queremos interpolar os pontos P_1 e P_2.

$$\begin{bmatrix} 10 & 4 & 22 \\ 2 & 18 & 7 \\ 9 & 14 & 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} P_1 & x & x & x & x & x \\ x & x & x & P_2 & x & x \\ x & x & x & x & x & x \\ x & x & x & x & x & x \\ x & x & x & x & x & x \\ x & x & x & x & x & x \\ x & x & x & x & x & x \end{bmatrix}$$

Sabemos que a razão entre as linhas é: $\dfrac{3}{6} = \dfrac{1}{2}$ e as colunas a mesma. Então, o ponto P_1 tem coordenadas $(0,0)$. Fazendo um produto escalar de $(0,0)$ por $\left(\dfrac{1}{2}, \dfrac{1}{2}\right)$ teremos $(0,0)$. O ponto P_1 tem "vizinho mais próximo" o pixel de coordenadas $(0,0)$ na imagem original. $P_1 = 10$. Já em relação à P_2, teremos: $(1,3) \cdot \left(\dfrac{1}{2}, \dfrac{1}{2}\right) = (0.5, 1.5)$. Tomando o teto: $(1,2)$. O elemento P_2 tem vizinho mais próximo na imagem original o elemento de índice $(1,2)$ e recebe seu valor. $P_2 = 7$. Fazendo o mesmo processo para todos os elementos, teremos a imagem com "zoom", ou seja, a imagem interpolada.

- Vantagem:
  É um processo extremamente simples.

- Desvantagem:
  A imagem fica com um aspecto borrado.

Além disso, a imagem final terá tamanho tal que
$tamanhoFinal = \#linhasDaImagemOriginal \cdot fatorZoom \times \#colunasDaImagemOriginal \cdot fatorZoom$

13.2 Zero-Order Hold - Bloqueio de Ordem Zero

Esse algoritmo de zoom funciona de maneir muito simples. Para obter a imagem com zoom, devemos, colocar, entre os pixels da matriz da imagem

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 3 \\ 3 & 3 & 4 \end{bmatrix}$$

original, pixels que tenham valores correspondentes à média dos seus vizinhos. Tome o exemplo:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{bmatrix}$$

Inserindo uma linha entre as linhas dessa matriz, teremos:

Observe que os valores insridos são o piso das médias obtidas. Agora, inserindo linhas entre as linhas:

Note que ocorreu o mesmo processo. A interpolação, "zoom" está feita.

- Vantagem:
  A imagem não fica com um aspecto borrado.

- Desvantagem:
  Teremos que efeturar zoom nos baseando em potências de 2.

13.3 K-times Zooming

Esse algoritmo sana problemas dos que foram discutidos anteriormente. K significa o fator de zoom. Para explicar esse algoritmo, usaremos um exemplo. Tome a seguinte matriz como representação de uma imagem. Pri-

$$\begin{bmatrix} 15 & 30 & 15 \\ 30 & 15 & 30 \end{bmatrix}$$

meiramente, supohemos $K = 3$. O número de valores que devem ser inseridos entre cada coluna e cada linha é $K - 1 = 3 - 1 = 2$. Assim, iniciando pelas linhas (inserindo elementos entre as colunas) da matriz, temos que tomar os dois primeiros pixels adjacentes. (15 e 30). Subtraímos 15 de 30 (15). Dividimos o resultado da subtração por K $(15/3 = 5)$. Esse resultado é chamado de OP. Agora devemos adicionar OP ao menor dos dois pixels escolhidos inicialmente $(5 + 15 = 20)$ esse será o primeiro valor a ser inserido na matriz. Somamos OP a esse último resultado $(OP + 20 = 5 + 20 = 25)$ e esse será o segundo elemento a ser inserido na matriz, note que é o elemento de número

$k-1=2$ que foi inserido entre os dois primeiros elementos da primeira linha da matriz. Devemos fazer isso para todas as colunas. Ao fim desse processo, teremos a matriz:

$$\begin{bmatrix} 15 & 20 & 25 & 30 & 20 & 25 & 15 \\ 30 & 20 & 25 & 15 & 20 & 25 & 30 \end{bmatrix}$$

Depois de fazer isso, devemos ordenar os pixels inseridos de acordo com a ordem estaelecida na matriz. Por exemplo, no trecho: $\begin{bmatrix} 30 & 20 & 25 & 15 \end{bmatrix}$ Tivemos os elementos em azul inseridos. Note que a ordem da matriz era decrescente, da esquerda para a direita, indo de 30 indo até 15. Então, ordenaremos 20 e 25 em ordem decrescente também. Desse modo, Obteremos a seguinte matriz:

$$\begin{bmatrix} 15 & 20 & 25 & 30 & 25 & 20 & 15 \\ 30 & 25 & 20 & 15 & 20 & 25 & 30 \end{bmatrix}$$

Agora, precisamos efetuar o mesmo processo entre as linhas da matriz. Teremos: Observe que usamos o piso da divisão de 5 por 3, e obtemos OP

$$\begin{bmatrix} 15 & 20 & 25 & 30 & 25 & 20 & 15 \\ 20 & 21 & 21 & 20 & 21 & 21 & 20 \\ 25 & 22 & 22 & 25 & 22 & 22 & 25 \\ 30 & 25 & 20 & 15 & 20 & 25 & 30 \end{bmatrix}$$

igual a 1.

FIQUEI CONFUSO AQUI. O TUTORIAL DIZ QUE A IMAGEM FINAL FICA ASSIM, MAS EU NÃO TERIA QUE ORDENAR OS ELEMENTOS QUE FORAM INSERIDOS NOVAMENTE?

As dimensões da imagem final serão: $(K(\#linhas-1)+1) \times (K(\#colunas-1)+1)$

- Vantagens:
  Esse algoritmo combina as qualidades dos dois msotrados anteriormente. Não temos restrições quanto às dimensões da imagem final e a imagem não fica muito borrada.

- Desvantagens:
  Devido à necessidade de ordenação, esse algoritmo fica computacionamente mais custoso que os demais.

14 Resolução Espacial - Spatial Resolution

Esse tipo de resolução se relaciona ao menor detalhe que pode ser identificado em uma imagem. Podemos definir essa resolução também como o número de pixels independentes por polegada. Em suma, esse conceito se refere à comparação de imagens de uma mesma resolução (mesmas dimensões) para saber qual possui mais nitidez. Observe: Podemos medir esse tipo de resolução

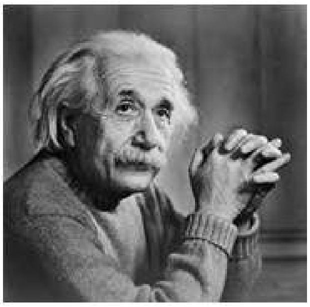

Figura 9: Imagem com maior resolução espacial

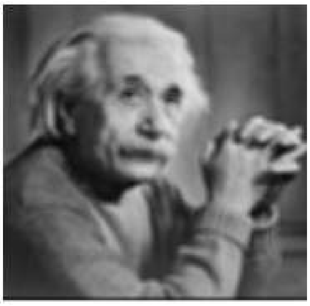

Figura 10: Imagem com menor resolução espacial

das seguintes maneiras:

- Pontos por Polegada.
- Pixels por Polegada.

14.1 Pixels por Polegada

Geralmente usada para medir qualidade de telas, sabemos que, para obter essa unidade, devemos, primeiramente, obter a diagonal em pixels do visor calculada, a partir de sua resolução em pixels. $c = \sqrt{altura^2 + largura^2}$ Depois disso, dividiremos essa diagonal em pixels pelo tamanho da diagonal. $PPi = c/diagonalPolegadas$.

14.2 Pontos por Polegada

Essa unidade é, geralmente, utilizada para representar a qualidade de impressoras. Isto é, mede quantos pontos de tinta são impressos por polegada.

15 Resolução Grayscale

Resgatando conceitos já tratados anteriormente, a resolução em Grayscale tem íntima relação com a medida de *bpp* (bits por pixel). Ou seja, quanto mais nuances de cinza puderem ser representadas, maior a resolução dessa imagem em termos de grayscale. Ainda, o total de nuances de cinza que podem ser exibidas nessa imagem com $bpp = k$ é tal que 2^k, mas podemos também representar essa resolução puramente pelo número de *bpp* e não pela quantidade de nuances de cinza que esse número produz.

16 Conceito de Quantização