Análise Forense de Documentos Digitais

Prof. Dr. Anderson Rocha

anderson.rocha@ic.unicamp.br

http://www.ic.unicamp.br/~rocha

Reasoning for Complex Data (RECOD) Lab.
Institute of Computing, Unicamp

Av. Albert Einstein, 1251 – Cidade Universitária
CEP 13083-970 • Campinas/SP – Brasil

Organização

Organização

- Conceitos de Imagem Digital
- Operações com Imagens
- Aprendizado de Máquina

Organização

- Aprendizado de Máquina
  - Supervisionado
  - Não-Supervisionado
  - Semi-Supervisionado
- Avaliação e Comparação de Métodos

Imagem

Imagem

- De acordo com [Gomes & Velho 1996], para trabalharmos com imagens, devemos estabelecer um universo matemático no qual seja possível definir diversos modelos abstratos destas
- Em seguida, precisamos criar um universo de representação onde procuramos esquemas que permitam uma representação discreta desses modelos

Imagem

- O objetivo da representação discreta desses modelos é codificar a imagem no computador
- Quando observamos uma fotografia, ou uma cena no mundo real, recebemos de cada ponto do espaço um impulso luminoso que associa uma informação de cor a esse ponto

Imagem

- Nesse sentido, podemos definir uma imagem contínua (não discreta) como a aplicação

$$\mathcal{I} : \mathcal{U} \rightarrow \mathcal{C}$$

onde $\mathcal{U} \subset \mathbb{R}^3$ é uma superfície e $\mathcal{C}$ é um espaço vetorial

- Na maioria das aplicações, $\mathcal{U}$ é um subconjunto plano e $\mathcal{C}$ é um espaço de cor

Imagem

- A função $\mathcal{I}$ na definição é chamada de função imagem
- O conjunto $\mathcal{U}$ é chamado suporte da imagem
- O conjunto de valores de $\mathcal{I}$, que é um subconjunto de $\mathcal{C}$, é chamado de conjunto de valores da imagem

Imagem

- Quando $\mathcal{C}$ é um espaço de cor de dimensão 1, dizemos que a imagem é monocromática ou em tons de cinza
- A representação mais comum de uma imagem espacial consiste em tomar um subconjunto discreto $\mathcal{U}' \subset \mathcal{U}$ do domínio da imagem, uma espaço de cor $\mathcal{C}$ associado a um dispositivo gráfico e representar a imagem pela amostragem da função imagem $\mathcal{I} \rightarrow \mathcal{U}'$

Imagem

- Cada ponto (x_i, y_i) do subconjunto discreto $\mathcal{U}'$ é chamado de elemento da imagem ou pixel
- Para a representação em computador, devemos também trabalhar com modelos onde a função imagem $\mathcal{I}$ toma valores em um subconjunto discreto do espaço de cor $\mathcal{C}$
- Esse processo de discretização é chamado de quantização

Imagem

- O caso mais utilizado de discretização espacial de uma imagem consiste em tomar o domínio como sendo um retângulo e discretizar esse retângulo usando os pontos de um reticulado bidimensional
- Dessa forma a imagem pode ser representada de forma matricial por uma matriz

$$A^{(m \times n)} = (a_{ij} = (\mathcal{I}(x_i, y_j))$$

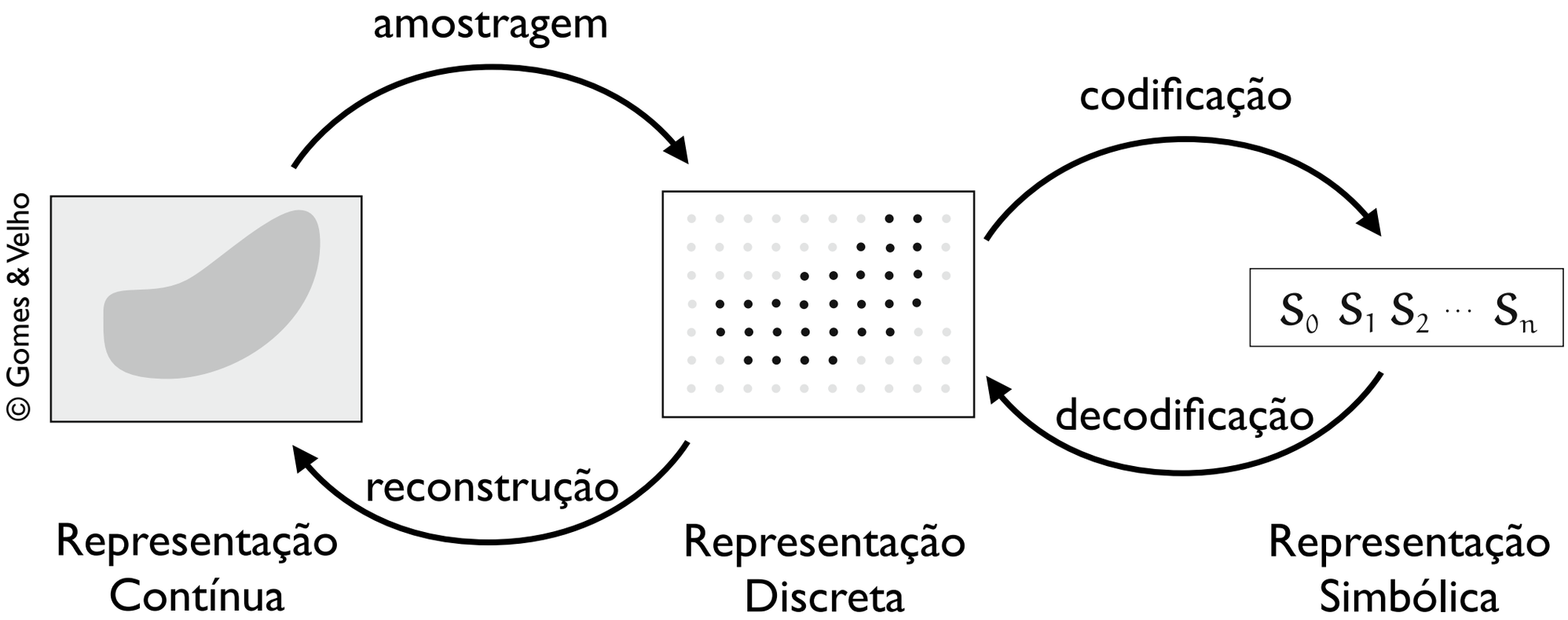
Imagem

- Cada elemento $a_{ij}, i = 1, \ldots, m$ e $j = 1, \ldots n$ da matriz representa o valor da função imagem $\mathcal{I}$ no ponto de coordenadas (x_i, y_j) do reticulado
- Dessa forma, cada ponto a_{ij} é um vetor do espaço de cor representando a cor do *pixel* na coordenada (i, j) da imagem

Imagem

- Se cada ponto possui três valores associados e cada valor precisa de oito *bits* para ser representado, então cada *pixel* dessa imagem pode ser representado com 24 *bits*
- A imagem é dita de 24 *bits*
- Se cada *pixel* também codifica transparência, a imagem tem um quarto canal, chamado alfa, tornando-se uma imagem de 32 *bits*

Imagem

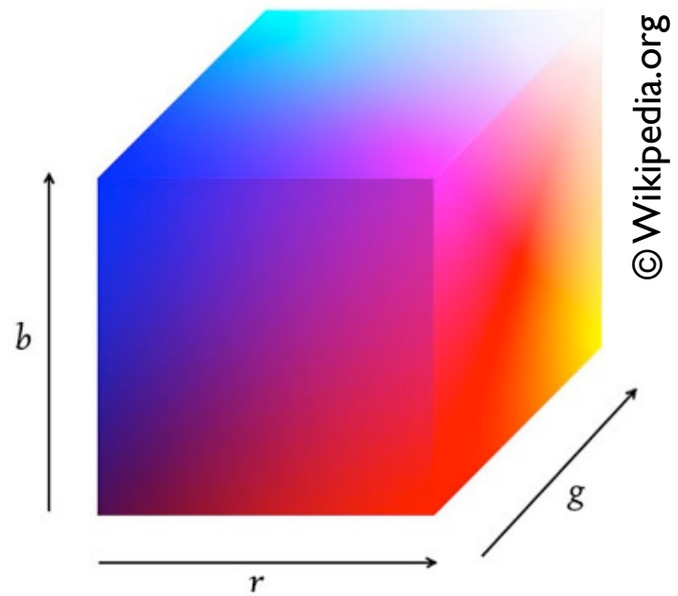

amostragem
codificação
© Gomes & Velho
S_0 S_1 S_2 ⋯ S_n
decodificação
reconstrução
Representação Contínua
Representação Discreta
Representação Simbólica

Espaços de Cor

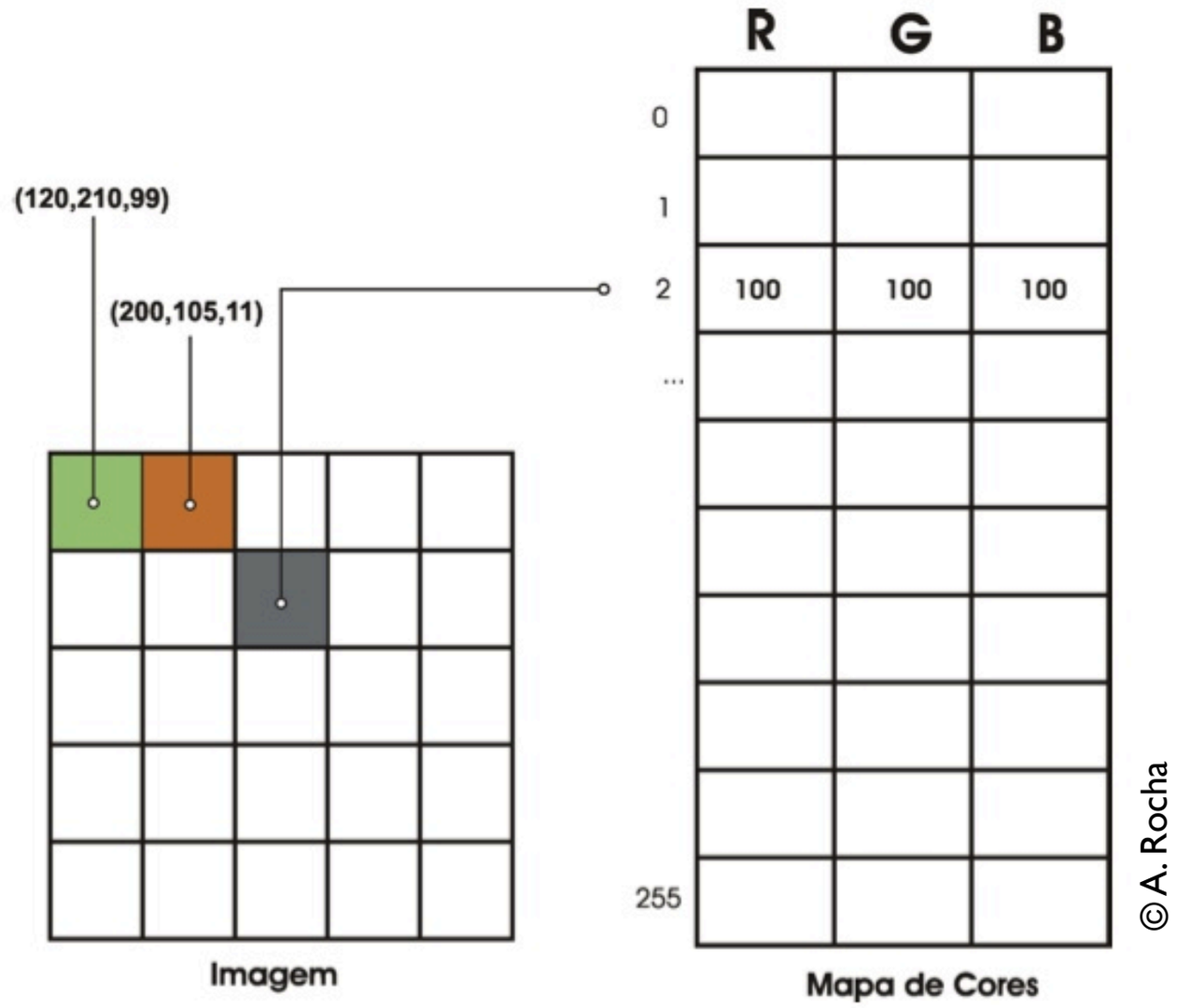
- O espaço de cor pode variar de acordo com o dispositivo de exibição (e.g., monitor, impressora)
- Espaços de cor
  - RGB (Vermelho, Verde, Azul)
  - CMYK (Ciano, Magenta, Amarelo, Preto)
  - HSV (Matiz, Saturação e Brilho)
  - etc.

Espaço de cor RGB

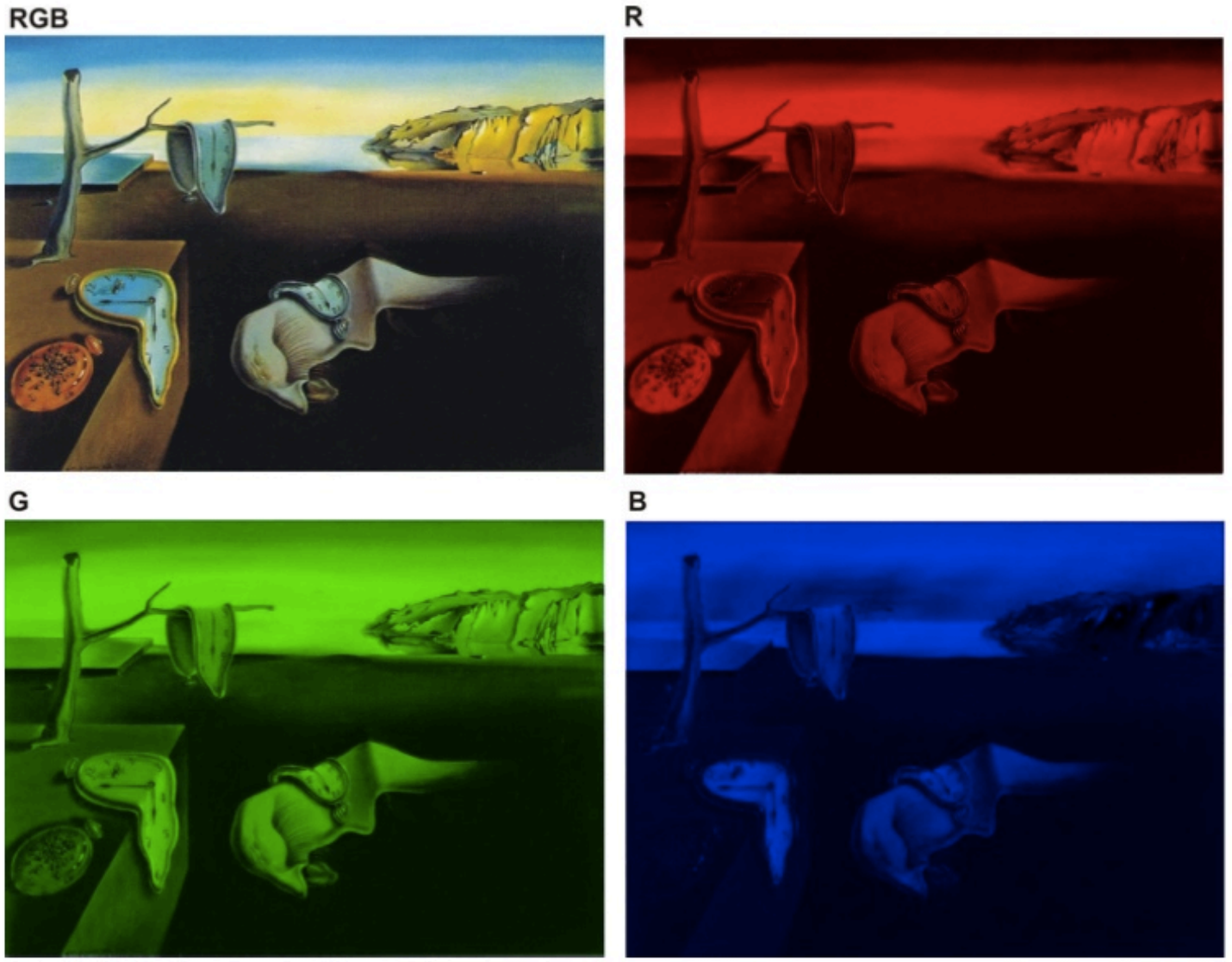
- O propósito principal do sistema RGB é a reprodução de cores em dispositivos eletrônicos
  - monitores de TV e computador
  - *datashows*
  - *scanners*
  - câmeras digitais
  - fotografia tradicional



Imagem


R
G
B
0
1
2
...
255
100
100
100
(120,210,99)
(200,105,11)
Imagem
Mapa de Cores
©A. Rocha

Imagem

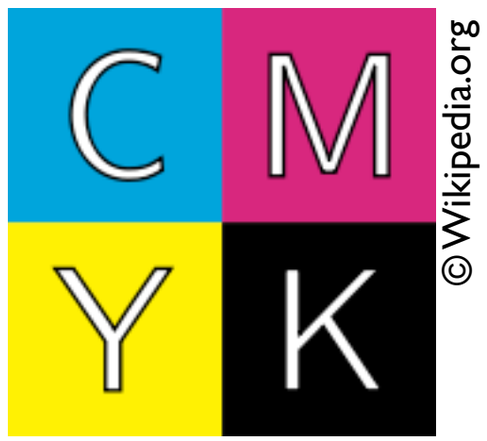


*The Persistence of Memory by Salvador Dali

©A. Rocha (Montagem)

Espaço de cor CMYK

- Modelo de cores subtrativas
- Contraposição ao RGB
- Apropriado para impressoras



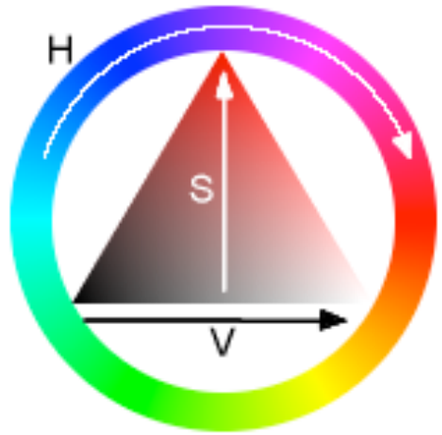
©Wikipedia.org

- *K* vem de *keyed* (alinhamento) da placa de impressão de cor preta com as outras


©Wikipedia.org

Espaço de cor HSV

- Matiz (tonalidade): verifica o tipo da cor (abrange todas as cores do espectro)
- Saturação (pureza): valores baixos são próximos do cinza. Valores altos são próximos da cor pura
- Brilho: define o brilho (intensidade) da cor



©Wikipedia.org

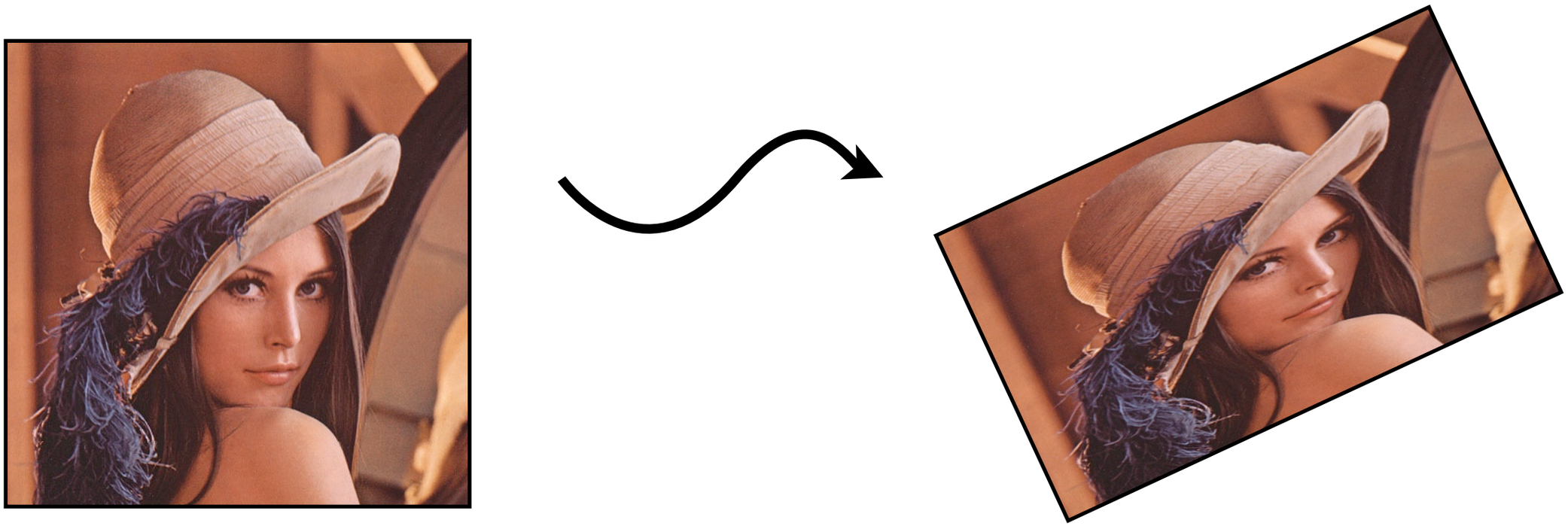
Operações com Imagens

Quantização

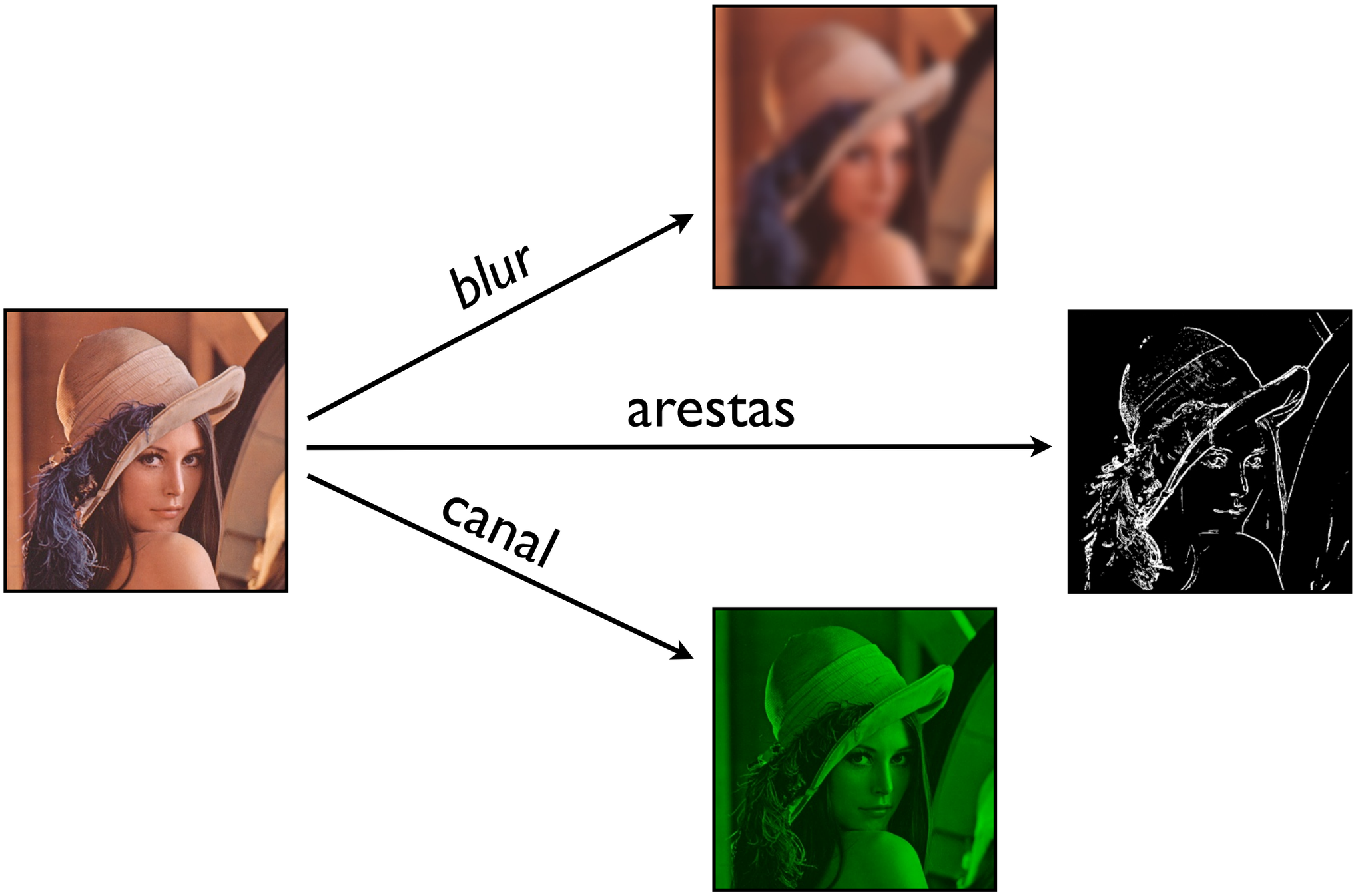
- Mapeamento dos números reais em valores discretos
- Tipicamente utiliza-se *bytes* (256 valores) ou inteiros curtos (65536 valores)

Warping

- Modifica o "domínio" da função de imagem.



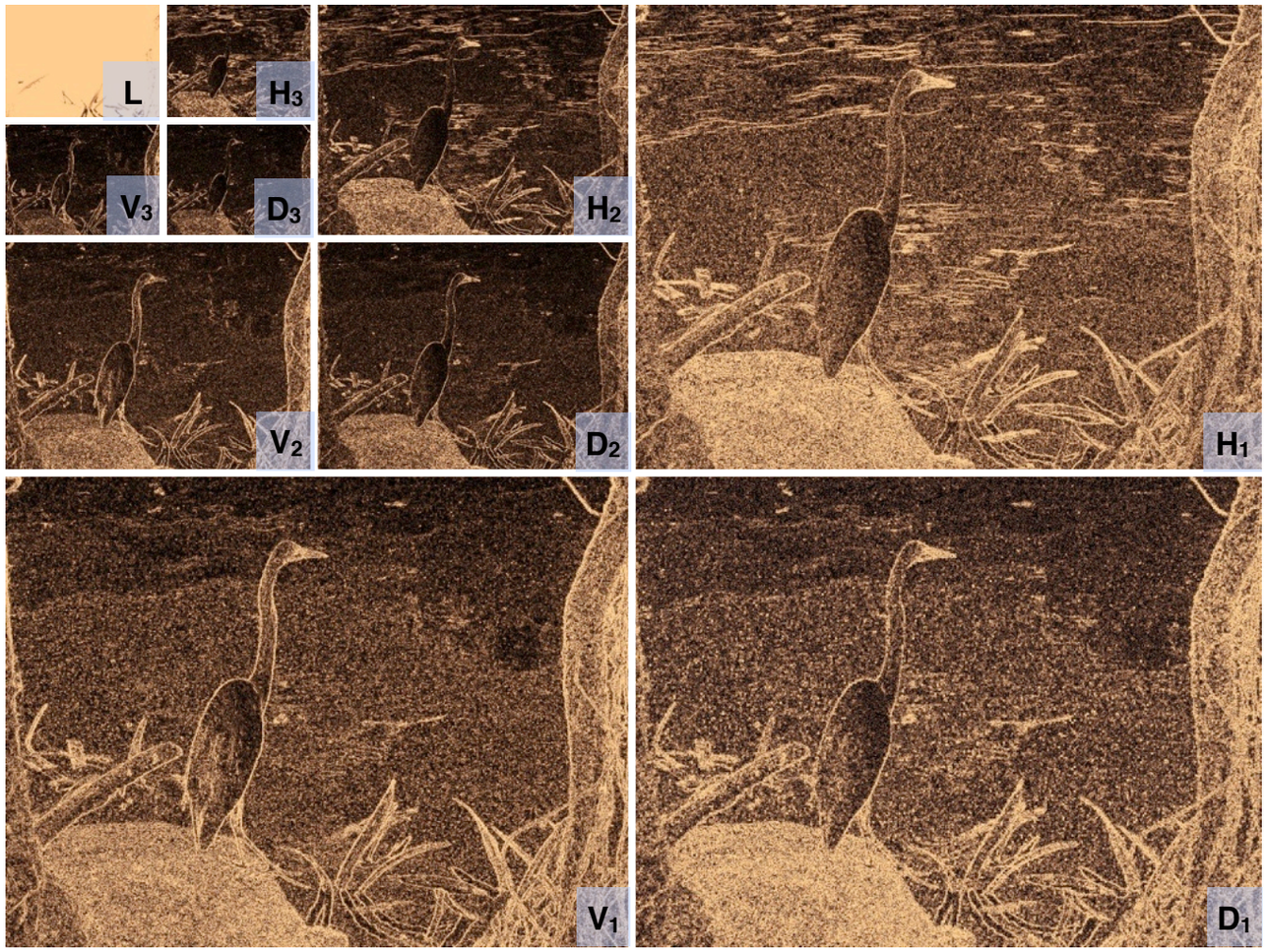
Transformações - Atributos



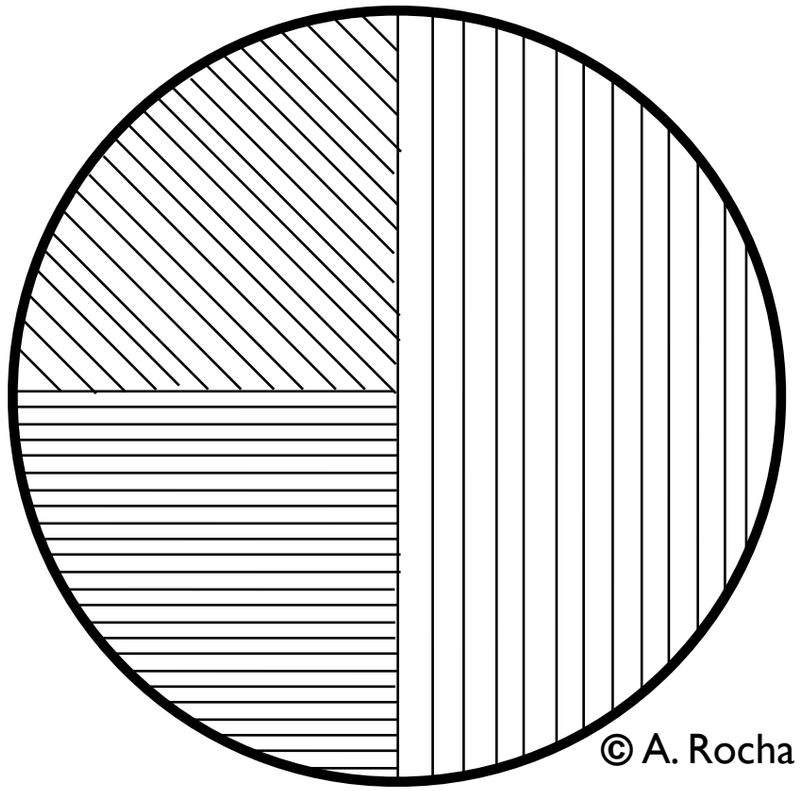
Decomposição em Canais de Cores

- Quando separamos a imagem em suas cores básicas representadas no espaço de cores $\mathcal{C}' \in \mathcal{C}$
- Se o espaço de cores utilizado é um espaço RGB, temos os componentes vermelho (*Red*), verde (*Green*), e azul (*Blue*);

Decomposição Wavelet



© A. Rocha

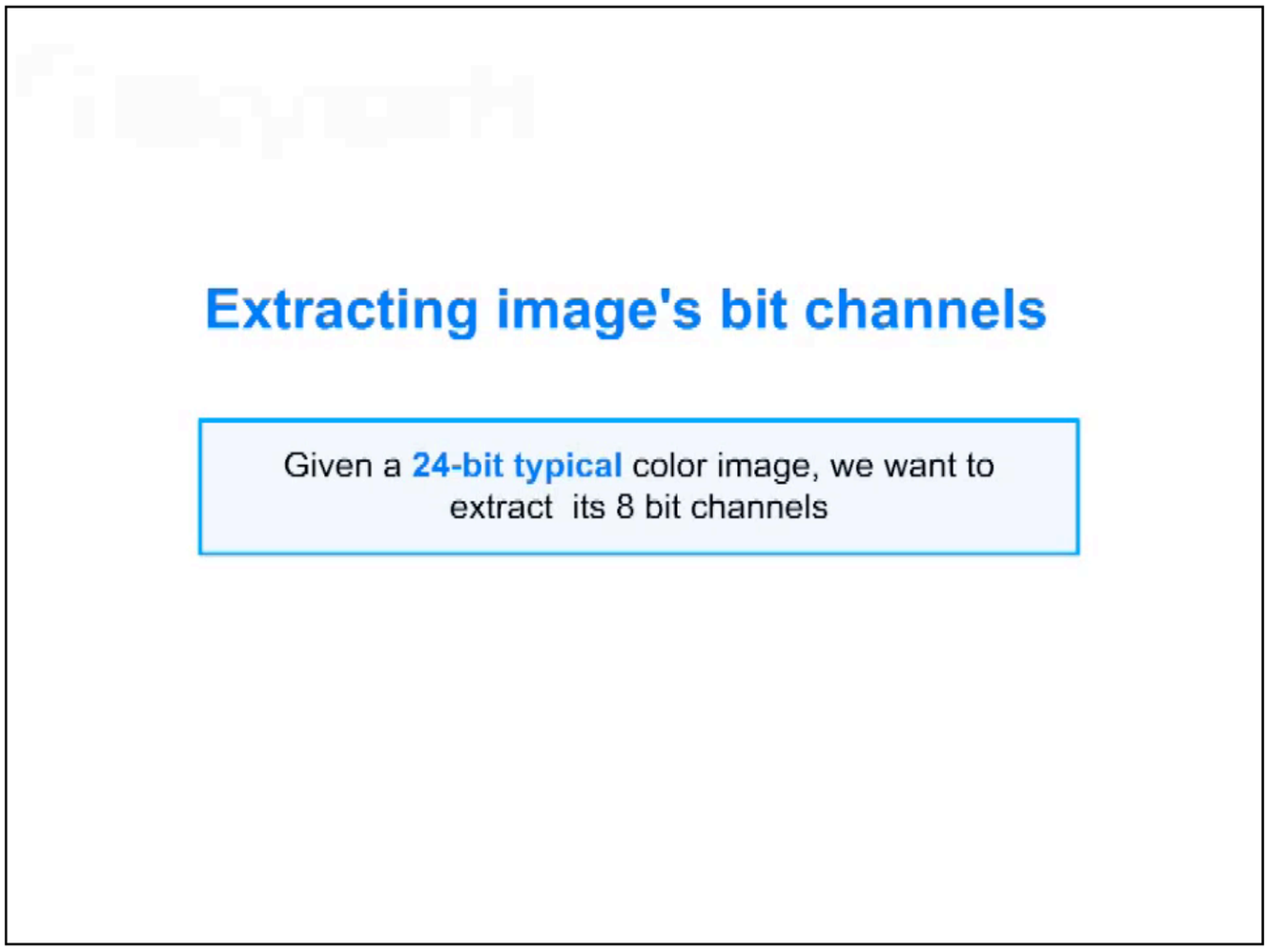


© A. Rocha

Decomposição em Planos de Bits

- Quando decompomos a imagem em seus planos de *bits*
- Por exemplo, após a decomposição da imagem de 24 *bits* em seus três canais de cores (R,G,B), podemos ainda, fazer uma decomposição por planos de *bits*.
- Cada canal de cor possui 8 *bits* e possui 8 planos de *bits* por canal de cor

Decomposição em Planos de Bits



* Decomposição da imagem em canais de *bits*

Nomenclaturas

Nomenclatura

- Diferentes áreas tem nomes distintos para coisas parecidas
  - Aprendizado de Máquina
  - Reconhecimento de Padrões
  - Aprendizado Estatístico
  - Mineração de Dados

Aprendizado de Máquina

Aprendizado de Máquina

- Aprendizado de Máquina é uma área da Inteligência Artificial concentrada no desenvolvimento de técnicas que permitem que computadores sejam capazes de aprender com a experiência [Mitchell 1997]
- Extração de informações e extrapolação do conhecimento a partir de dados

Aprendizado de Máquina

- **Alguns problemas que utilizam aprendizado de Máquina** [Mitchell 1997] [Friedman et al. 2001]
  - reconhecimento de caracteres
  - reconhecimento da fala
  - predição de ataques cardíacos
  - detecção de fraudes em cartões de créditos

Aprendizado de Máquina

- Na solução desses problemas, podemos ter **classificadores fixos ou baseados em aprendizado, que, por sua vez, pode ser supervisionado ou não-supervisionado** [Friedman et al. 2001]

Definição – Classificadores

- Podemos ver um classificador, matematicamente, como um mapeamento a partir de um espaço de características X para um conjunto discreto de rótulos (*labels*) Y

- Em IA, um classificador de padrões é um tipo de motor de inferência que implementa estratégias eficientes para computar relações de classificação entre pares de conceitos ou para computar relações entre um conceito e um conjunto de instâncias
  [Duda et al. 2000]

Classificadores

- Classificadores podem ser
  - Supervisionados
  - Semi-Supervisionados
  - Não-Supervisionados

Classificadores

- Classificadores supervisionados consistem em técnicas em que procuramos estimar uma função de classificação f a partir de um conjunto de treinamento
- O conjunto de treinamento consiste de pares de valores de entrada X, e sua saída desejada Y [Friedman et al. 2001]

Classificadores

- Valores observados no conjunto X são denotados por x_i, isto é, x_i é a *i*-ésima observação em X
- O número de variáveis que constituem cada uma das entradas em em X é *p*
- Assim, X tem *n* observações, chamados de vetores de características

Classificadores

- Cada vetor de entrada é composto por p graus de liberdade (dimensões ou variáveis)
- A saída da função f pode ser um valor contínuo (regressão) ou pode predizer a etiqueta (*label*) de um objeto de entrada (*classificação*)

Classificadores

- A tarefa do aprendizado é predizer o valor da função para qualquer objeto de entrada que seja válido após ter sido suficientemente treinado com um conjunto de **exemplos** [Bishop 2006]

- Alguns exemplos de classificadores supervisionados são
  - *Support Vector Machines*
  - *Linear Discriminant Analysis*,
  - *Boosting*

Aprendizado Não-Supervisionado

- Um outro grupo de técnicas de aprendizado, não utilizam exemplos de treinamento marcados (classe conhecida)
- Conhecidos como técnicas para aprendizado não-supervisionado
- Esta forma de aprendizado, na maioria das vezes, trata o seu conjunto de entrada como um conjunto de variáveis aleatórias

Aprendizado Não-Supervisionado

- Um modelo de distribuição conjunta (*joint distribution model*) é então construído para a representação dos dados
- **Desta forma, o objetivo deste aprendizado é avaliar como os dados estão organizados e agrupados** [Friedman et al. 2001]
- **Técnicas de Maximização de Esperança** [Baeza-Yates 2003], **por exemplo, podem ser utilizadas para aprendizado não-supervisionado**

Aprendizado Semi-Supervisionado

- Um outro grupo de técnicas de aprendizado envolve abordagens mistas
  - Supervisionado
  - Não Supervisionado
- São as técnicas Semi-Supervisionadas

Modelagem de Problemas

Modelagem de Problemas

- Problemas são descritos por variáveis
- Dois tipos
  - Reais
  - Categóricas

Modelagem de Problemas

- Como transitar entre os dois tipos de variáveis?
- É possível "converter" uma representação em outra?

Modelagem de Problemas

- Simplicidade vs. Complexidade
- O que é realmente importante?
- Precisamos realmente de todos os dados possíveis para tomar uma decisão?

Modelagem de Problemas

- Dimensão do vetor de características tem efeitos colaterais importantes:
- Dimensão alta
  - Distâncias médias ficam grandes
  - Dados ficam esparsos
- Maldição da Dimensionalidade

Aprendizado Supervisionado

(Primeiros Passos)

Aprendizado Supervisionado

- Dados para Aprendizado Supervisionado
- "Give me more data"
- Classificação vs. Regressão

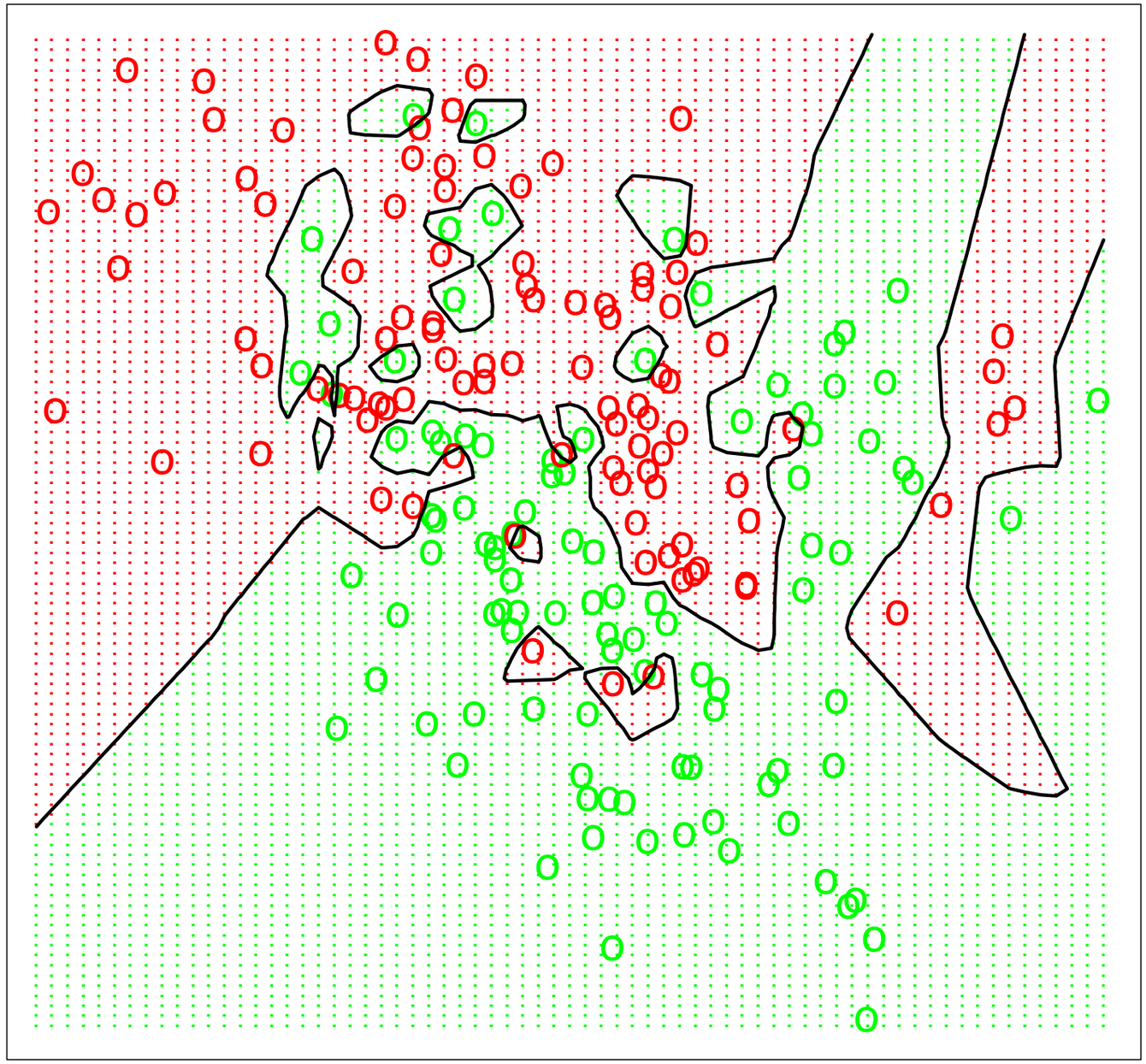
Aprendizado Supervisionado

- Será que quanto mais complexo nosso modelo de "predição" melhor o resultado?

Exemplo – KNN

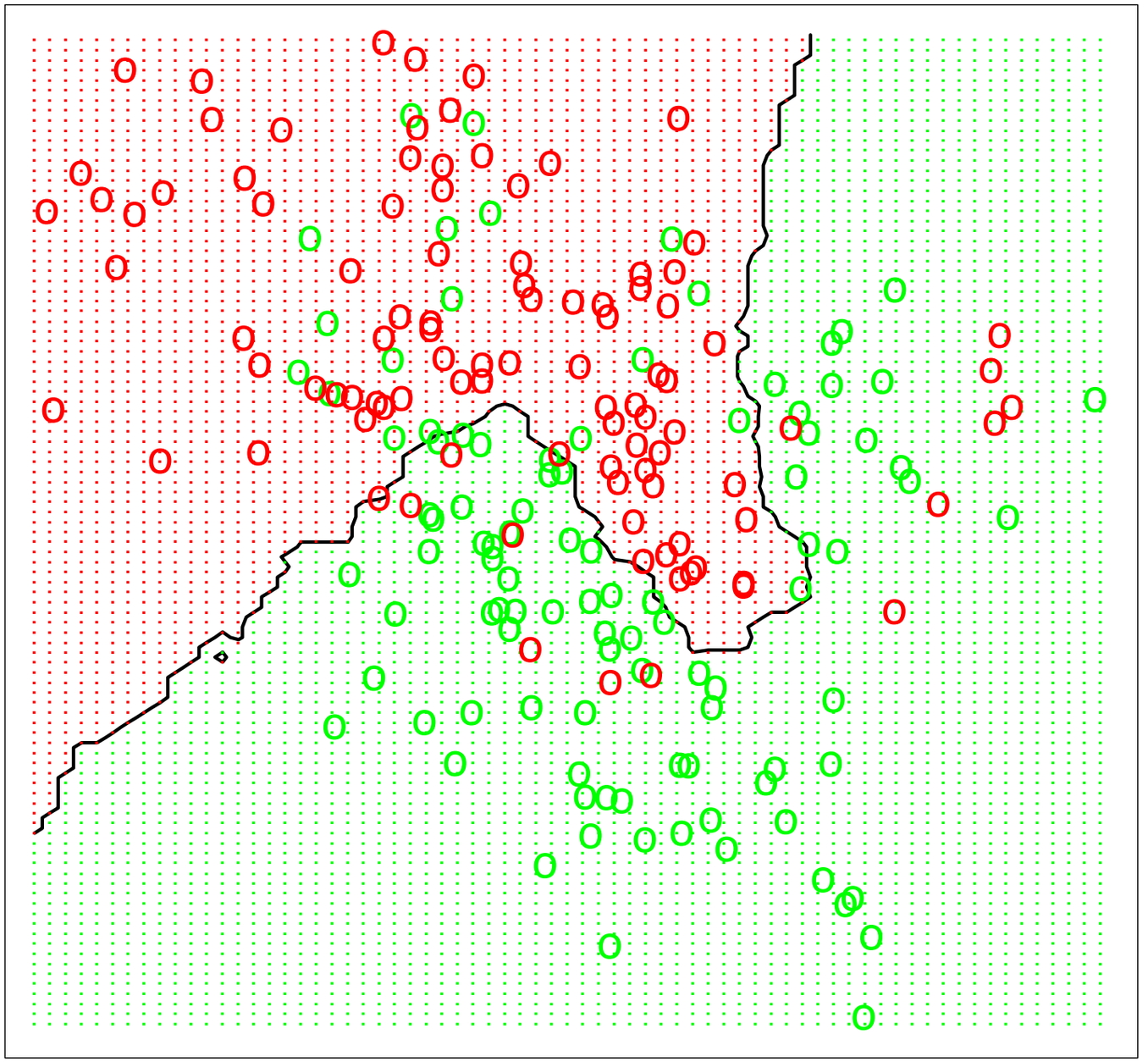
- K-Vizinhos mais Próximos (KNN)
- Um exemplo de técnica baseada em instâncias.
- Não há "aprendizado"
  - decisões são feitas para cada instância

KNN – $k = 1$



© J. Friedman et al.

KNN – $k = 15$



© J. Friedman et al.

Avaliação e Comparação

Avaliação e Comparação

- Viés e Variância
- Treinamento e Teste
- Matriz de Confusão
- Métricas e Critérios

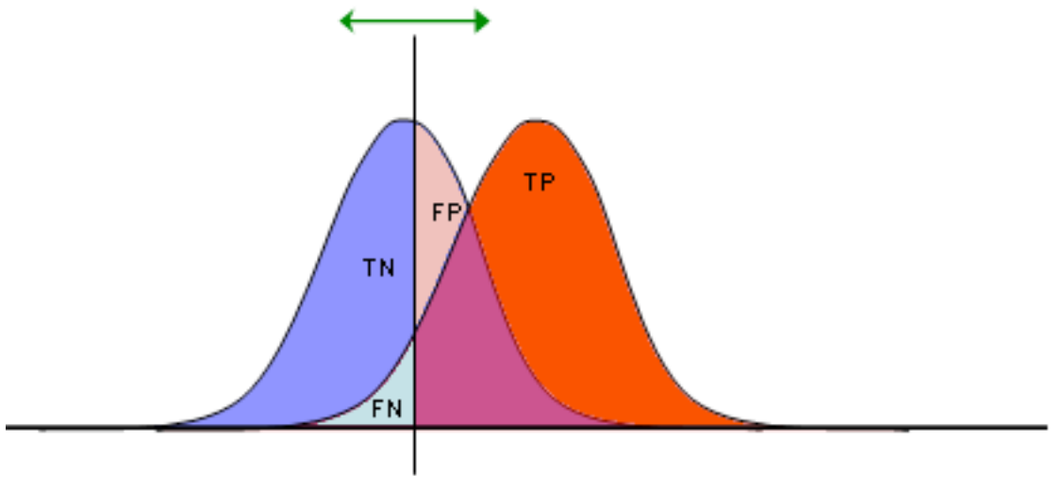
Avaliação e Comparação

- Conjuntos de validação e teste
- Validação cruzada

Curvas ROC

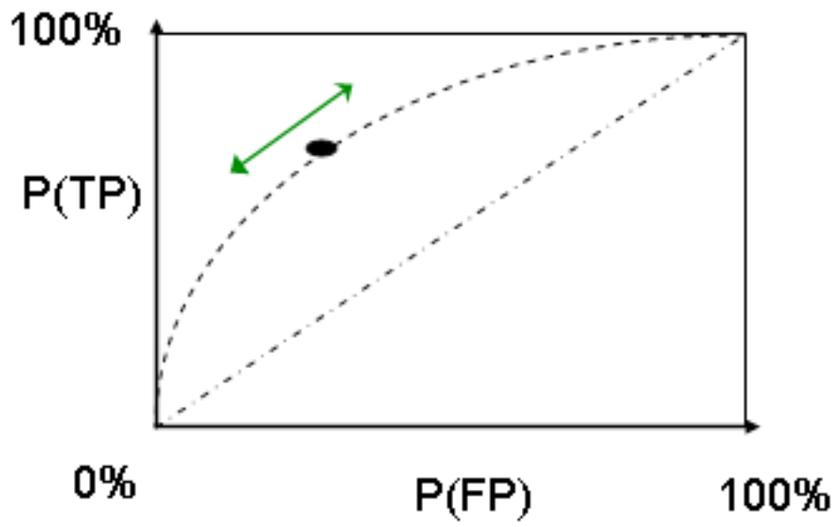
- Especificidade
  - E = TN / (TN + FP)
- Sensitividade
  - S = TP / (TP + FN)
- (Sensitividade) vs. (1 - Especificidade) = Curva Característica de Operação (ROC)

Curvas ROC



TP	FP
FN	TN
1	1

©Wikipedia.org



Referências

Referências

1. [Baeza-Yates 2003] **R. Baeza-Yates**. *Clustering and Information Retrieval*. Kluwer Academic Publishers. 1 edition.
2. [Bishop, 2006] **C. M. Bishop**. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, 1 edition, 2006.
3. [Duda et al. 2001] **R. O. Duda, P. E. HART and D. G. STORK**. *Pattern Classification*. Wiley-Interscience, 2, 2000.
4. [Friedman et al. 2001] **J. Friedman, T. Hastie, and R. Tibshirani**. *The Elements of Statistical Learning*. Springer, 1 edition, 2001.
5. [Gomes & Velho, 1996] **J. Gomes L. Velho**. *Computação Gráfica: Imagem*. IMPA-SBM, 1.
6. [Gonzalez & Woods, 2007] **R. Gonzalez and R. Woods**. *Digital Image Processing. Prentice-Hall, 3 edition.*
7. [Mitchell 1997] **T. M. Mitchell**. *Machine Learning*. McGraw-Hill, 1 edition, 1997.

Obrigado!