

Desenvolvimento de um método para segmentação de imagens histológicas da rede vascular óssea

Pedro Henrique Campos Cunha Gondim

Orientador: André Ricardo Backes

Coorientador: Bruno Augusto Nassif Travençolo

Universidade Federal de Uberlândia

phccgondim@gmail.com

16 de agosto de 2018

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Método Proposto
- 4 Estudo de Casos
- 5 Conclusão

Roteiro

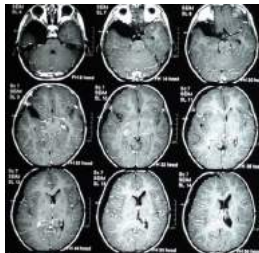
- 1 **Introdução**
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Método Proposto
- 4 Estudo de Casos
- 5 Conclusão

Introdução

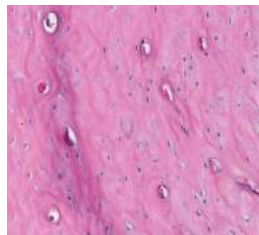
- A cada ano a computação auxilia mais a biologia:
 - Processamento de sinais;
 - Processamento de dados numéricos;
 - Processamento de imagens digitais.



(a)



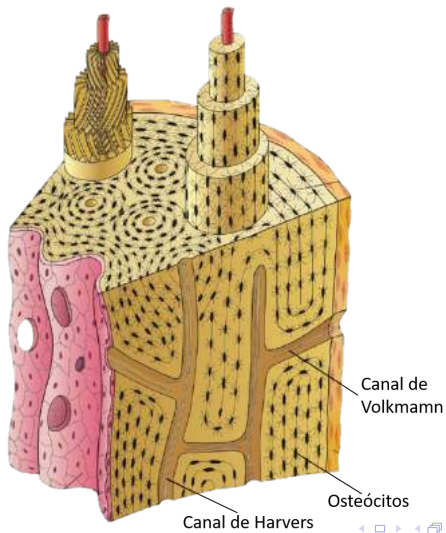
(b)



(c)

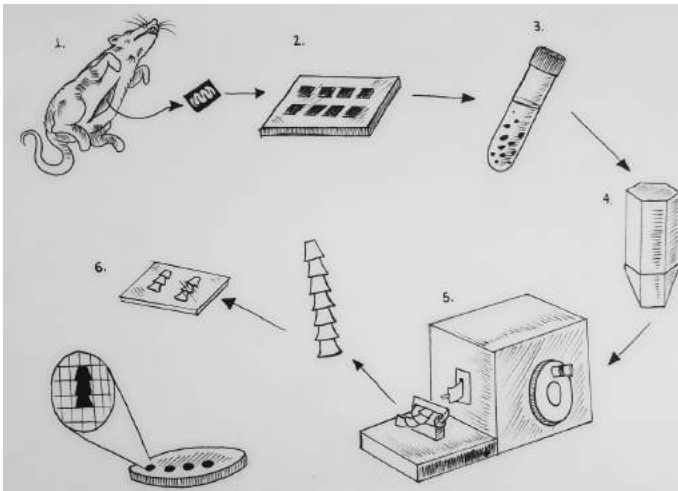
Introdução

- Rede vascular óssea



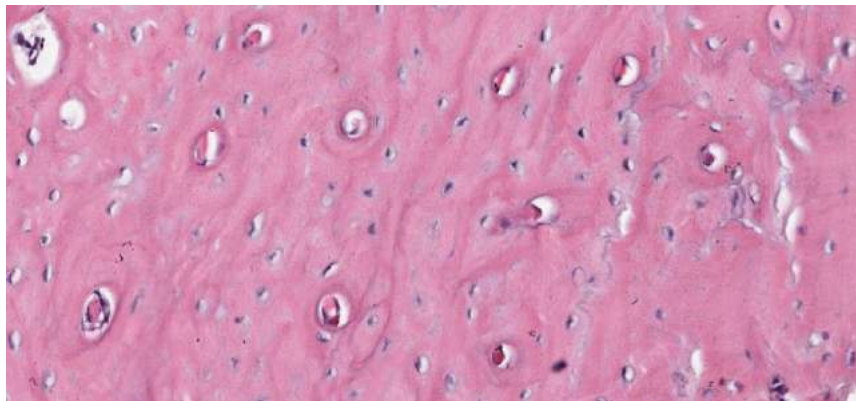
Introdução

- Aquisição de imagem histológica



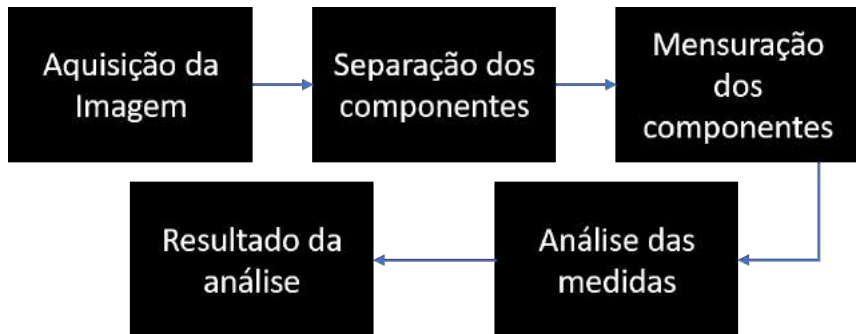
Introdução

- Aquisição de imagem histológica



Introdução

- Análise de imagem histológica
 - Detectar características inerentes ao indivíduo
 - Detectar anomalias no tecido;



Motivação

- Ainda hoje feito de maneira manual;
- Auxiliar especialistas da área;
- Segmentação é um campo de pesquisa pouco explorado;
- Utilizam Redes Neurais Artificiais;

Objetivo

- Método de segmentação automática/semiautomática para imagens histológicas da rede vascular óssea corada com H&E;

- Aumentar a precisão de detecção de componentes histológicos (canais e osteócitos);

Dificuldades

- Diversidade e complexidade dos tecidos analisados;
- Preparação imperfeita das amostras;
- Alta dimensionalidade dos dados;

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica**
- 3 Método Proposto
- 4 Estudo de Casos
- 5 Conclusão

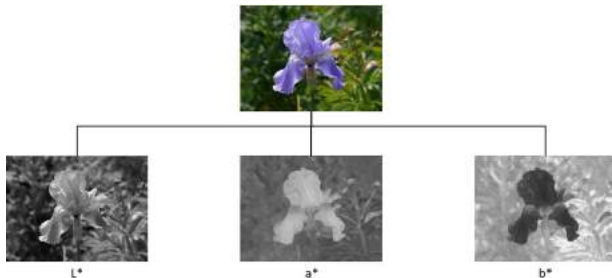
Espaços de cores e suas transformações

- **XYZ**
 - **Luminosidade:** referente ao brilho (intensidade);
 - **Cromaticidade:** referente a matiz e saturação (cor);
 - **Y:** brilho;
 - **X e Z:** cromaticidade;
 - **RGB** para **XYZ** pixel a pixel;

Espaços de cores e suas transformações

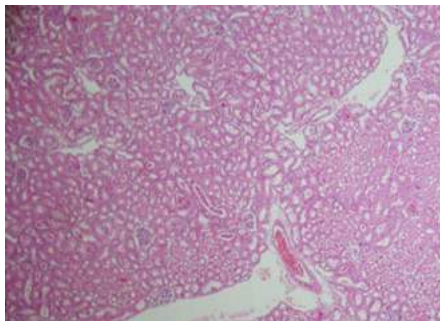
● CIE L*a*b* 1976

- **Luminosidade:** referente ao brilho (intensidade).
- **Cromaticidade:** referente a matiz e saturação (cor).
- **L*:** brilho;
- **a*** e **b*:** cromaticidade;
- **RGB para CIE L*a*b* 1976**, sistema de equações baseado no branco;

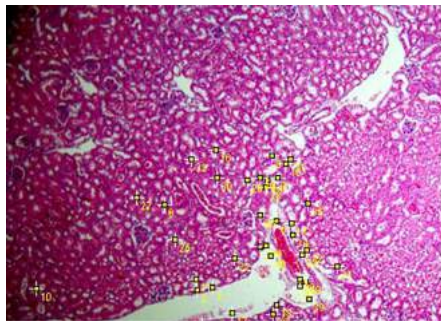


Normalização de imagens histológicas

- Reduzir as variações nas características;
- Melhorar os padrões dos tecidos biológicos;



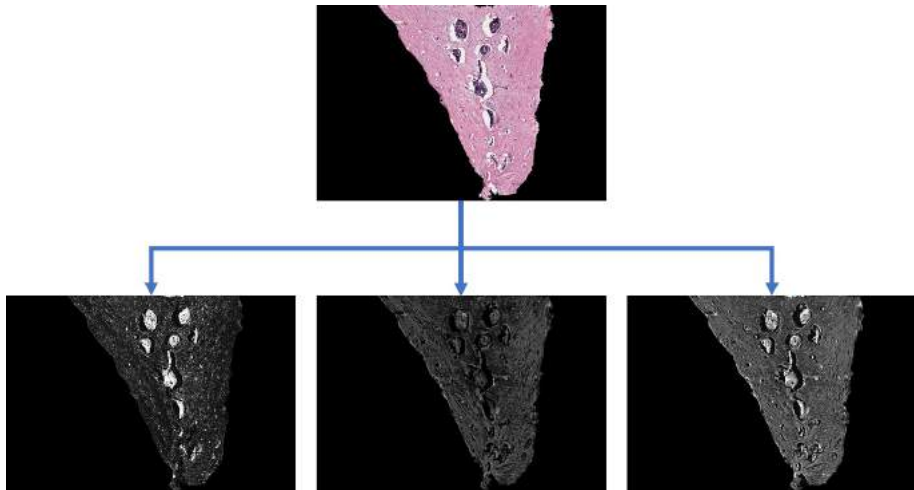
(a)



(b)

Deconvolução de cor

- Separação de corantes por canais



Algoritmo de agrupamento k-means

- Aprendizado não supervisionado;
- Separa dados de entrada em k grupos;
- Em segmentação k-means separa os grupos por similaridade de intensidade.

Operações morfológicas

- Erosão;
- Dilatação;
- Abertura;
- Fechamento;
- Convex Hull;
- Cálculo da circularidade através do PCA.

Segmentação

- **Otsu**

- Segmentação automática baseado no histograma;
- Maximizar a variância entre classes divididas pelo limiar T ;

- **Valley-emphasis**

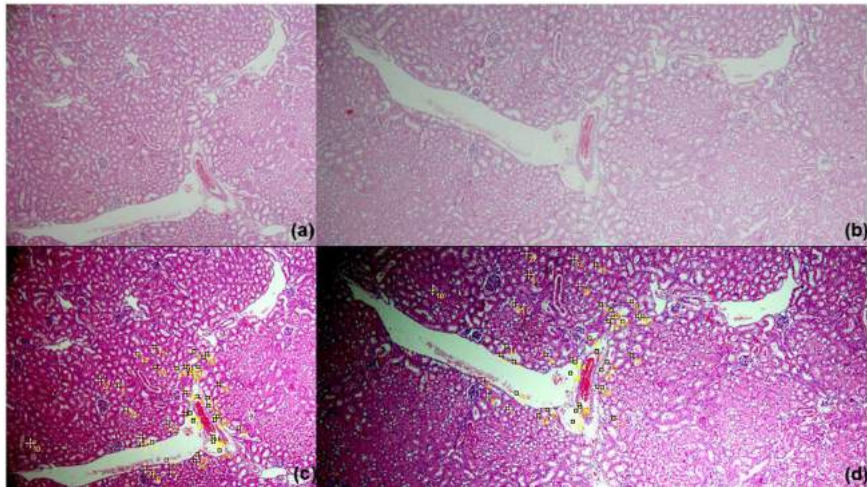
- A probabilidade do limiar T ocorrer deve ser pequena.

- **Neighborhood valley-emphasis**

- Considera a vizinhança do limiar T ;

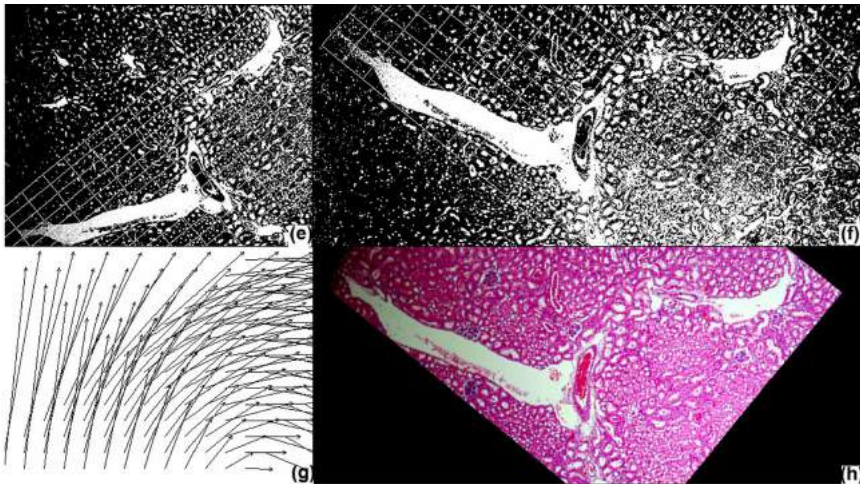
Registro de imagem

- Registro por Deformação



Registro de imagem

- Registro por Deformação



Técnicas de avaliação para segmentação de imagens

● Abordagem diagnóstica

- **Verdadeiro Positivo (VP):** pixels que foram segmentados como objeto e também são objeto na imagem do especialista;
- **Verdadeiro Negativo (VN):** pixels que foram segmentados como fundo e são parte do fundo na imagem do especialista;
- **Falso Positivo (FP):** pixels que foram segmentados como objeto mas não são parte do objeto na imagem do especialista;
- **Falso Negativo(FN):** pixels que foram segmentados como fundo e não fazem parte do fundo na imagem do especialista;

Técnicas de avaliação para segmentação de imagens

- **Abordagem diagnóstica**

$$Se = \frac{VP}{VP + FN} \quad (1)$$

$$Es = \frac{VN}{VN + FP} \quad (2)$$

$$Ac = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN} \quad (3)$$

Técnicas de avaliação para segmentação de imagens

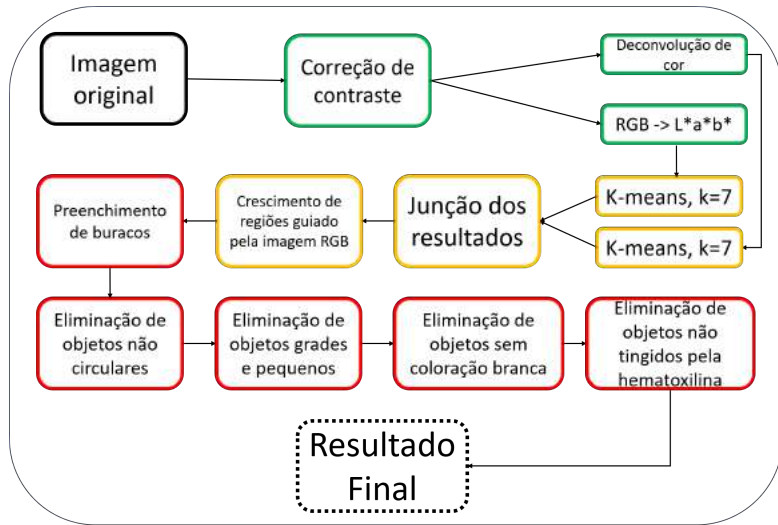
- **Coefficiente de Dice**

$$Dice = 2 \frac{|A \cap B|}{|A| + |B|} \quad (4)$$

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Método Proposto**
- 4 Estudo de Casos
- 5 Conclusão

Descrição Geral



Legenda:



Pré-processamento



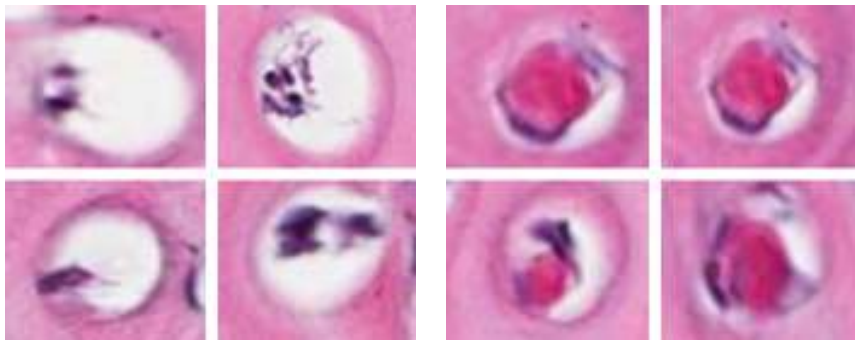
Processamento



Pós-processamento

Pré-processamento

- Normalização de imagens histológicas;
- Mudança de espaço de cor RGB para CIE L*a*b* 1976;
- Deconvolução de cor;



(a)

(b)

Processamento

- k-means aplicado nos canais, L^* , H e HE;
- Menor distância entre a media de intensidade e o branco é selecionado como região de interesse;
- União entre as imagens segmentadas (J);
- Crescimento de regiões guiado aplicado na imagem J;

Pós-processamento

- Preenchimento de buracos;
- Eliminação de objetos não circulares (elongação através do PCA);
- Eliminação de grandes e pequenos objetos (baseado no tamanho da imagem);
- Eliminação de objetos sem coloração branca;
- Eliminação de objetos não tingidos pelo corante hematoxilina;

Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Método Proposto
- 4 Estudo de Casos**
- 5 Conclusão

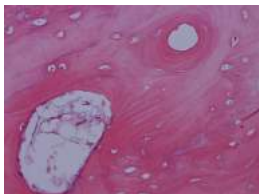
Maxila e mandíbula humana.

- Imagens cedidas pela Profa. Dra. Rejane de Faria Ribeiro-Rotta (UFG);
- Média de 1388 linhas por 1040 colunas, total de pixels: 1.443.520;

Conjunto	Local	Quantidade
P3A	mandíbula posterior esquerda	13
P3D	mandíbula posterior direita	20
S17	maxila posterior direita	12
S19F	maxila posterior esquerda	10
S27	mandíbula posterior direita	20
S29A	maxila anterior	17
S35	mandíbula posterior direita	21
S36A	maxila posterior esquerda	13
S37	mandíbula posterior esquerda	13
S39A	mandíbula posterior direita	14
Total	...	154

Maxila e mandíbula humana.

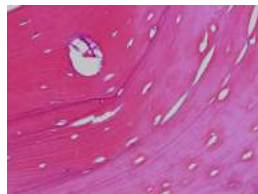
- **Imagens relacionadas a cada grupo**



P3A



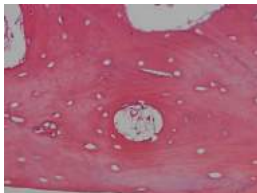
P3D



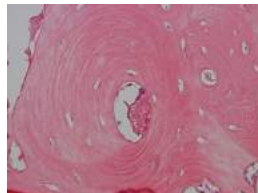
S17



S19



S27



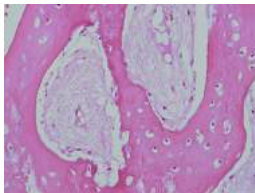
S29A

Maxila e mandíbula humana.

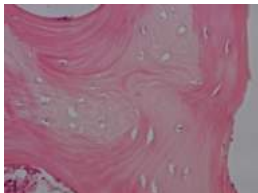
- **Imagens relacionadas a cada grupo**



S35



S36A



S37



S39A

Maxila e mandíbula humana.

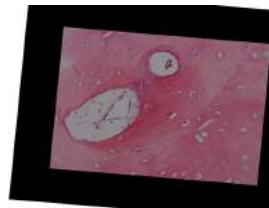
- **Alinhamento manual**



(a)



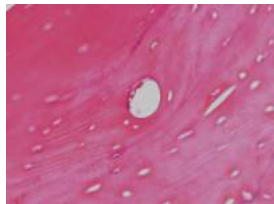
(b)



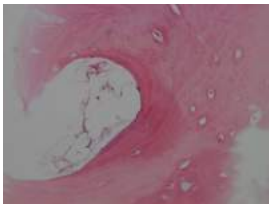
(c)

Maxila e mandíbula humana.

- Irregularidades encontradas nas imagens



(a)



(b)



(c)



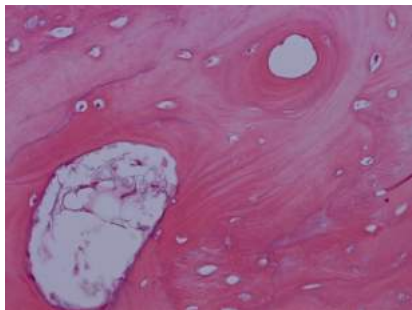
(d)



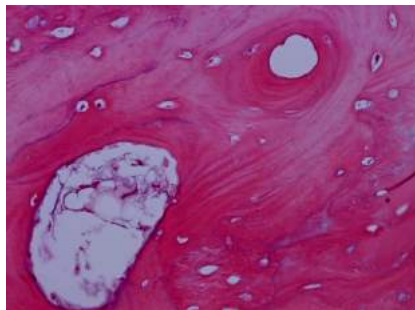
(e)

Maxila e mandíbula humana.

- **Normalização**



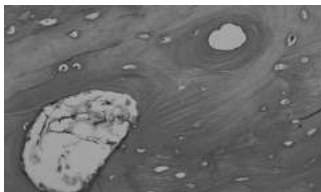
(a)



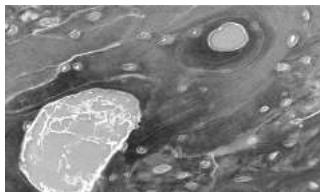
(b)

Maxila e mandíbula humana.

- **Mudança do espaço de cor e Deconvolução de cor**



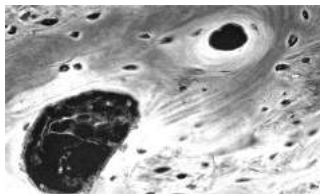
(a)



(b)



(c)



(d)

Maxila e mandíbula humana.

- **k-means**



(a)



(b)



(c)

Maxila e mandíbula humana.

- Escolha do grupo mais próximo ao branco



(a)



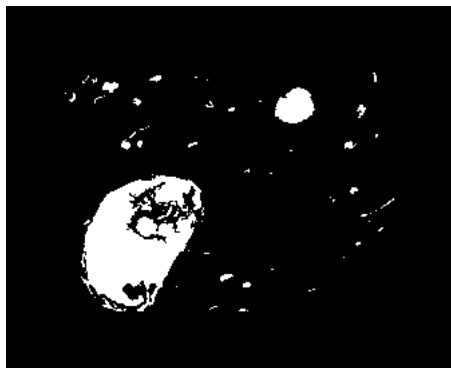
(b)



(c)

Maxila e mandíbula humana.

- **Junção das imagens H e L*, Crescimento de regiões guiado**



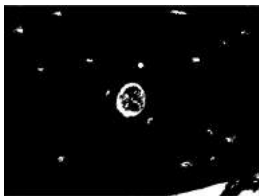
(a)



(b)

Maxila e mandíbula humana.

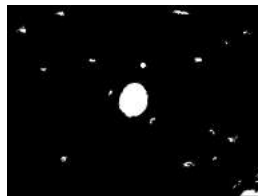
- Pós-processamento



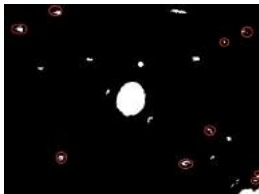
(a)



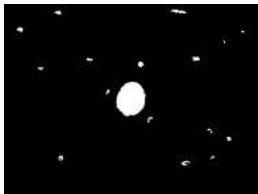
(b)



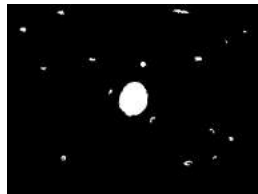
(c)



(d)



(e)



(f)

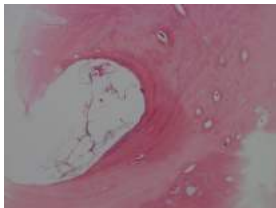
Maxila e mandíbula humana.

- Relação total de imagens e imagens segmentadas**

Conjunto	Quantidade Total	Quantidade Segmentada
P3A	13	12
P3D	20	20
S17	12	12
S19F	10	9
S27	20	20
S29A	17	15
S35	21	19
S36A	13	9
S37	13	12
S39A	14	8
Total	154	136

Maxila e mandíbula humana.

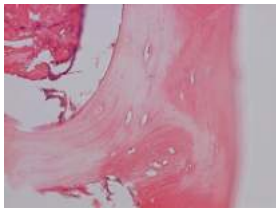
- **Imagens descartadas**



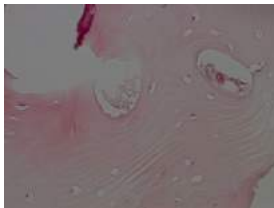
(a)



(b)



(c)



(d)

Maxila e mandíbula humana.

Resultado Abordagem Diagnóstica

Conjunto	Sensibilidade	Especificidade	Acurácia
P3A	91,17%	99,91%	98,44%
P3D	67,40%	99,40%	98,37%
S17	83,59%	99,78%	98,97%
S19F	62,16%	99,98%	97,20%
S27	94,51%	98,74%	98,18%
S29A	63,18%	94,15%	91,10%
S35	85,68%	99,95%	99,41%
S36A	97,86%	91,99%	94,20%
S37	81,42%	99,93%	96,95%
S39A	90,33%	99,21%	97,69%
Média	85,99%	98,30%	97,05%

Maxila e mandíbula humana.

Média do coeficiente de Dice				
Conjunto	NVE	Otsu	VE	MP
P3A	90,67%	89,84%	63,93%	95,08%
P3D	42,25%	43,45%	49,25%	73,58%
S17	72,33%	63,48%	64,87%	88,93%
S19	30,79%	19,58%	18,54%	76,21%
S27	89,50%	87,61%	88,13%	93,60%
S29A	51,74%	48,17%	48,23%	60,81%
S35	63,52%	55,31%	56,55%	91,40%
S36A	78,68%	78,75%	78,75%	92,74%
S37	69,16%	64,82%	64,09%	89,11%
S39A	76,50%	64,60%	64,42%	93,02%
Média	61,51%	53,69%	59,76%	85,44%

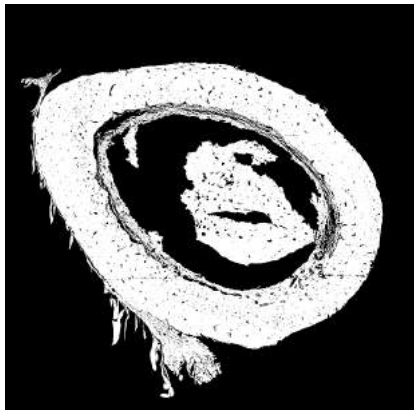
Fêmur esquerdo de rato.

- Imagens cedidas pela Profa. Dra. Paula Dechichi (UFU);
- Média de 7844 linhas por 7786 colunas, total de pixels: 61.073.384;
- Total de imagens: 168;
- Tiveram de ser redimensionadas para 80% do seu tamanho original;

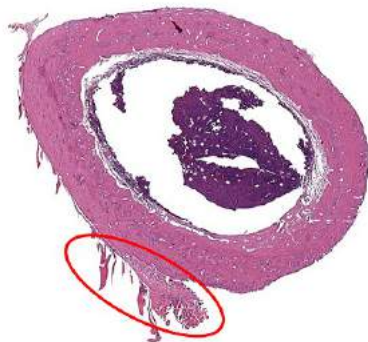


Fêmur esquerdo de rato.

- Remoção de objetos não conectados a matriz óssea



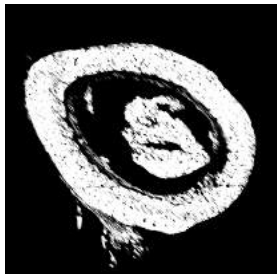
(a)



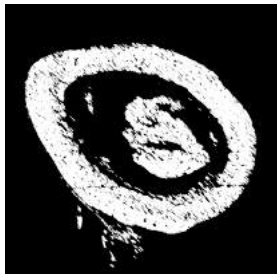
(b)

Fêmur esquerdo de rato.

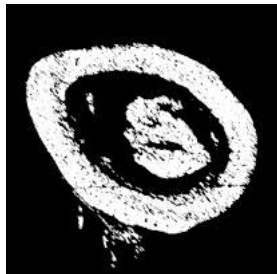
- **Aberturas morfológicas para eliminação de objetos externos a matriz óssea**



(a)



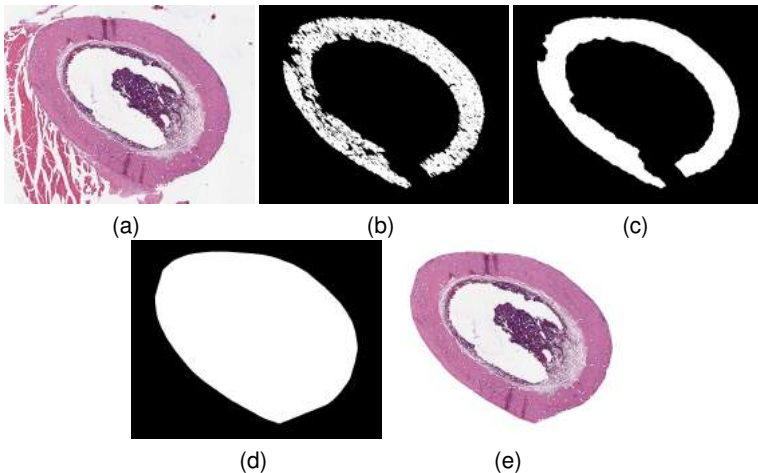
(b)



(c)

Fêmur esquerdo de rato.

- Operações de reconstrução da matriz óssea



Fêmur esquerdo de rato.

- **Eliminação de partes do convex hull**



(a)



(b)



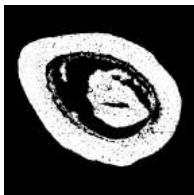
(c)

Fêmur esquerdo de rato.

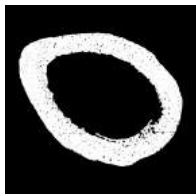
- **Aberturas morfológicas para eliminação de objetos internos a matriz óssea**



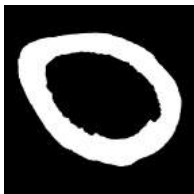
(a)



(b)



(c)



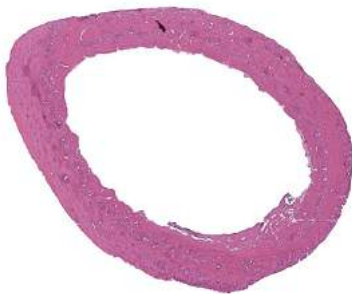
(d)

Fêmur esquerdo de rato.

- Resultado final do isolamento da matriz óssea



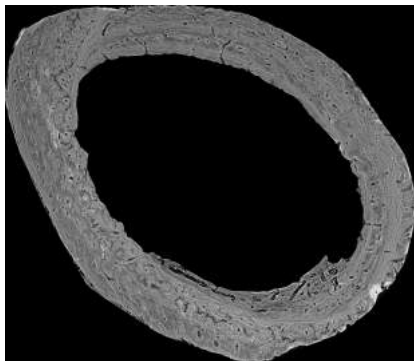
(a)



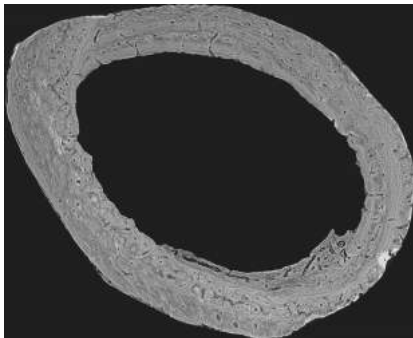
(b)

Fêmur esquerdo de rato.

- Alinhamento automático das imagens - 1



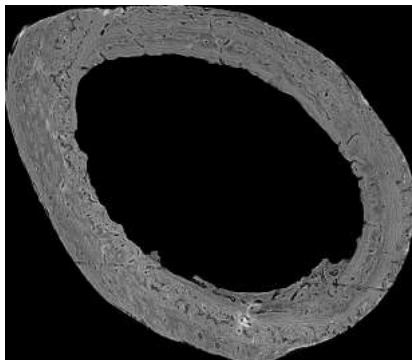
(Original)



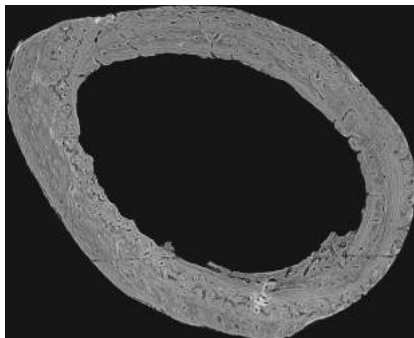
(Alinhado)

Fêmur esquerdo de rato.

- Alinhamento automático das imagens - 2



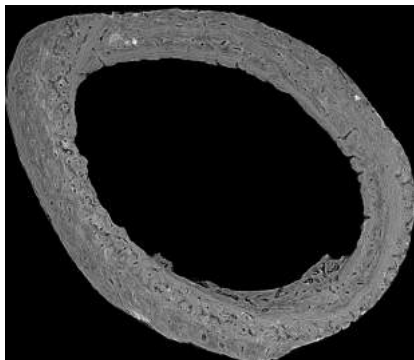
(Original)



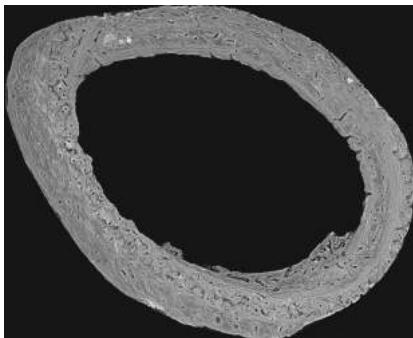
(Alinhado)

Fêmur esquerdo de rato.

- Alinhamento automático das imagens - 3



(Original)



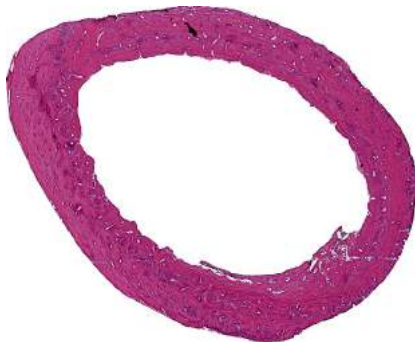
(Alinhado)

Fêmur esquerdo de rato.

- **Normalização**



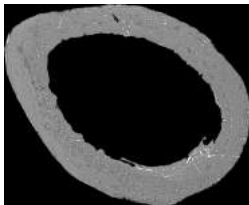
(a)



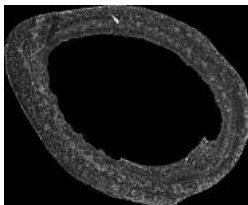
(b)

Fêmur esquerdo de rato.

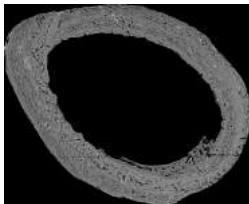
- Mudança do espaço de cor e Deconvolução de cor



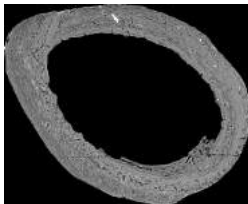
(L*)



(H)



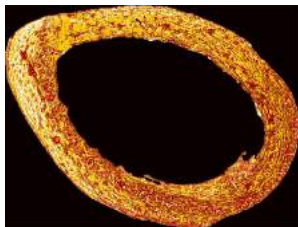
(E)



(HE)

Fêmur esquerdo de rato.

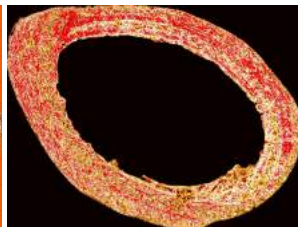
- **k-means**



(a)



(b)



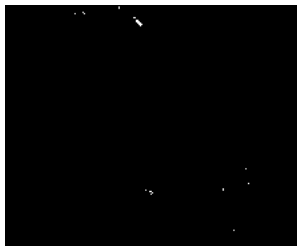
(c)

Fêmur esquerdo de rato.

- Escolha do grupo mais próximo ao branco



(a)



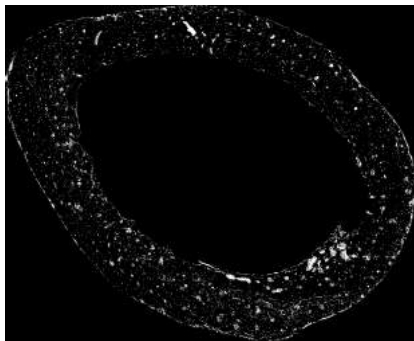
(b)



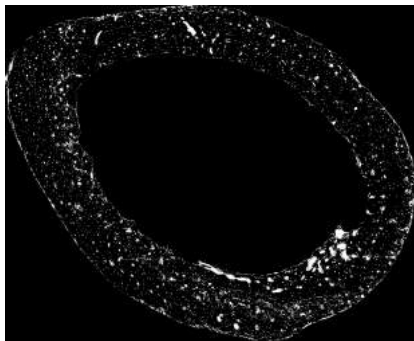
(c)

Fêmur esquerdo de rato.

- **Junção das imagens H, L* e HE; Crescimento de Regiões**



(a)

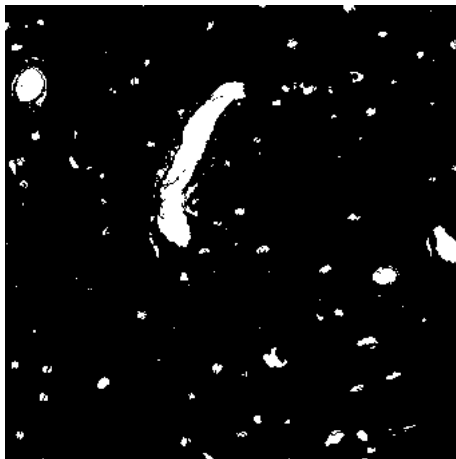


(b)

Fêmur esquerdo de rato.

- **Pós-processamento**

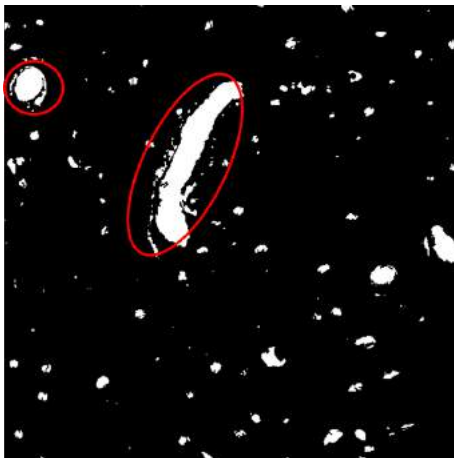
- Resultado Processamento:



Fêmur esquerdo de rato.

- **Pós-processamento**

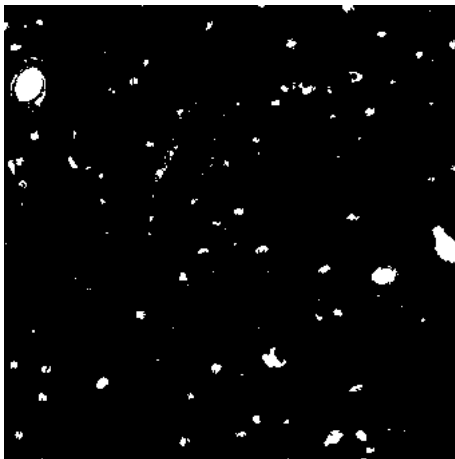
- Preenchimento de buracos:



Fêmur esquerdo de rato.

- **Pós-processamento**

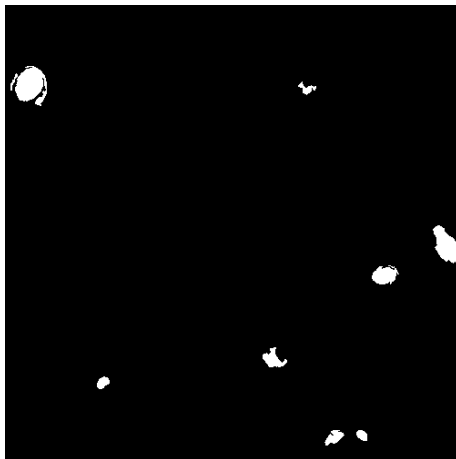
- Remoção de objetos não circulares:



Fêmur esquerdo de rato.

- **Pós-processamento**

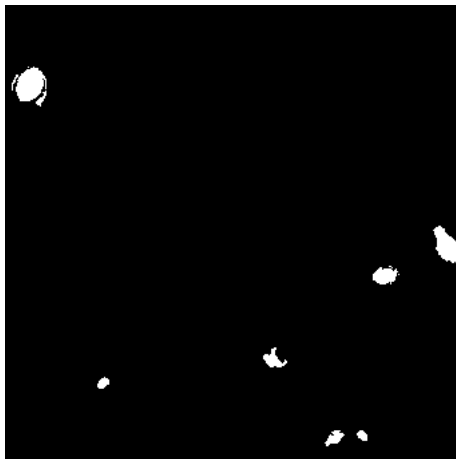
- Remoção de grandes e pequenos objetos:



Fêmur esquerdo de rato.

- **Pós-processamento**

- Remoção de objetos não segmentados na imagem L^* :



Fêmur esquerdo de rato.

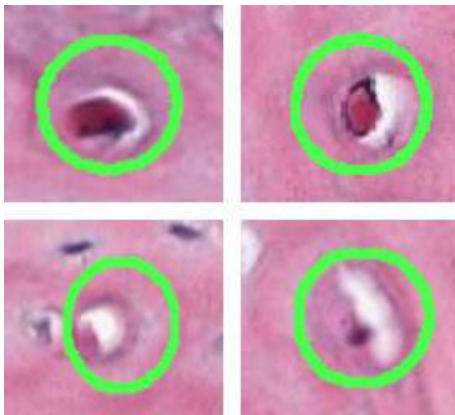
- **Pós-processamento**

- Remoção de objetos não segmentados na imagem H ou HE:

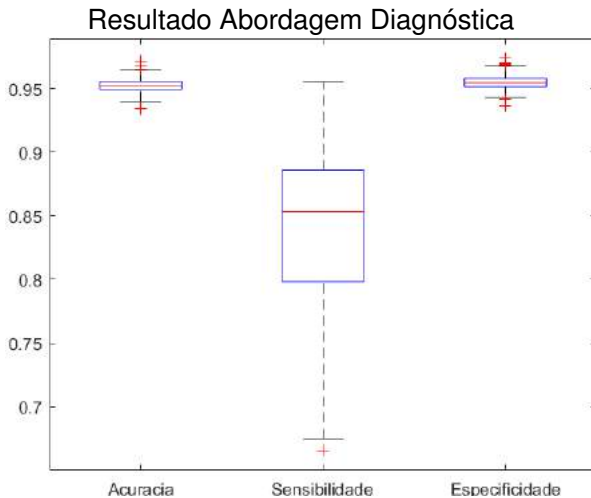


Fêmur esquerdo de rato.

- Relação entre área marcada pelo especialista e artefato real

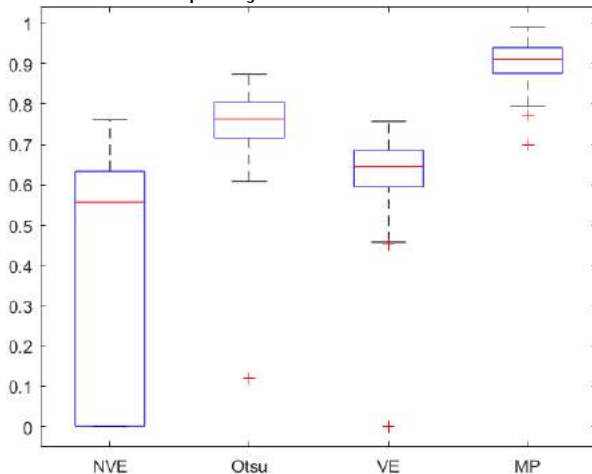


Fêmur esquerdo de rato.



Fêmur esquerdo de rato.

Comparação resultado Dice



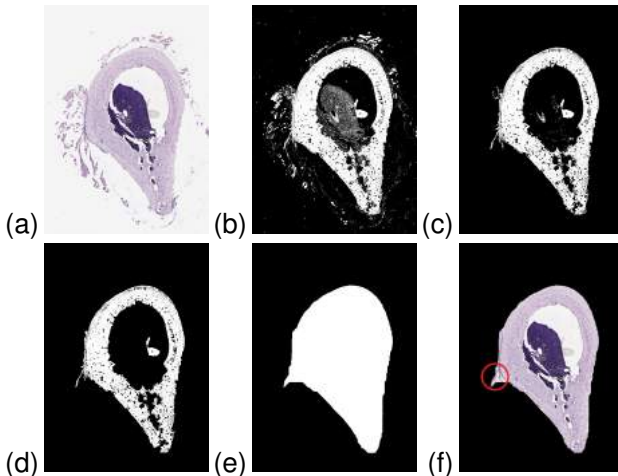
Fêmur direito de rato.

- Cedidas pela Profa. Dra. Paula Dechichi (UFU);
- Média de 10.700 linhas por 7.133 colunas;
- Total de pixels: 76.323.100;
- Total de imagens: 85;
- Tiveram de ser cortadas na metade;
- Não foram redimensionadas;



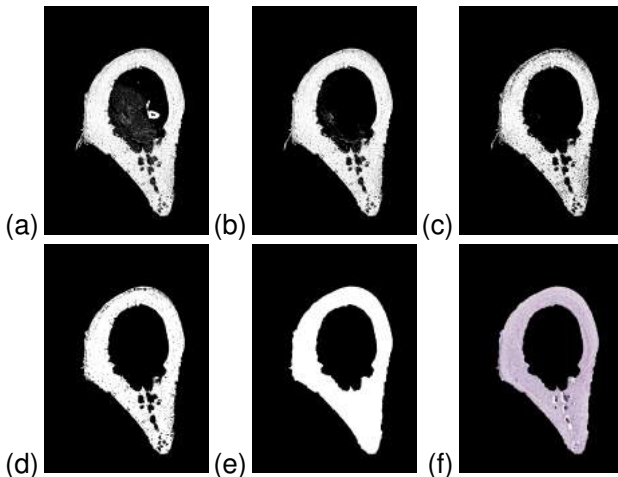
Fêmur direito de rato.

- **Eliminação de objetos pouco conectados a matriz óssea**



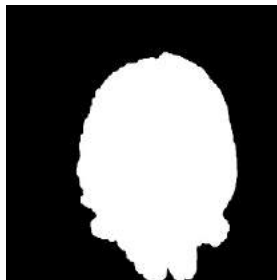
Fêmur direito de rato.

- **Eliminação de objetos muito conectados a matriz óssea**



Fêmur direito de rato.

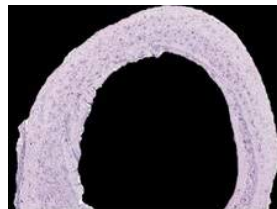
- Segmentação do interior da matriz óssea para referência de corte



(a)



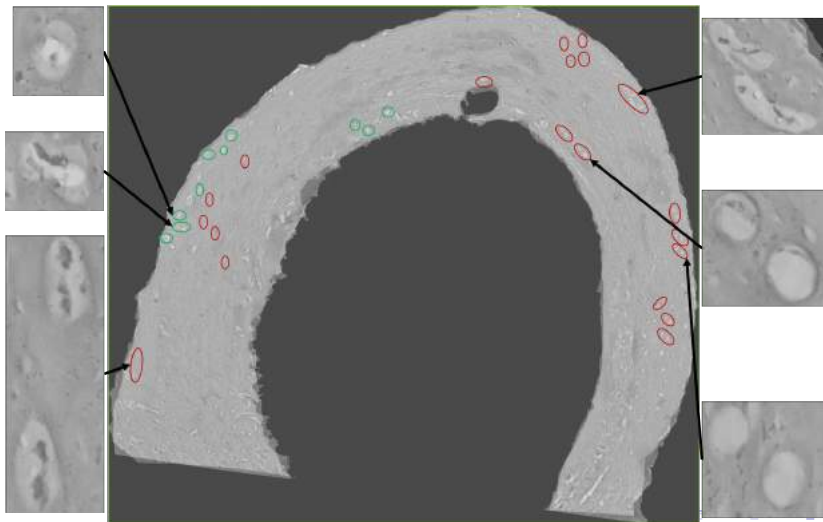
(b)



(c)

Fêmur direito de rato.

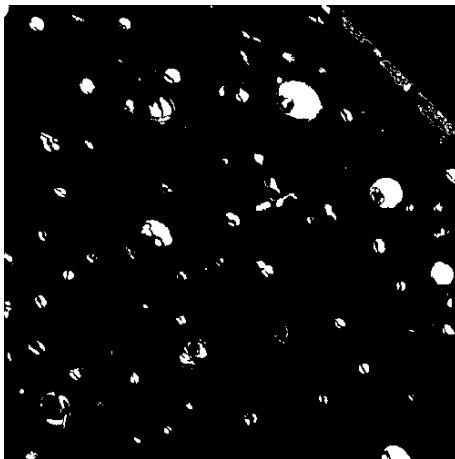
● Tentativa alinhamento



Fêmur direito de rato.

- **Pós-processamento**

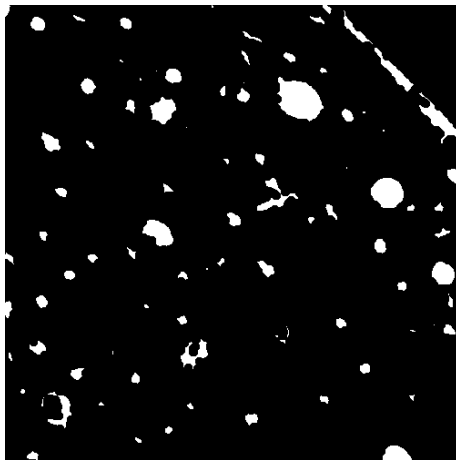
- Resultado Processamento:



Fêmur direito de rato.

- **Pós-processamento**

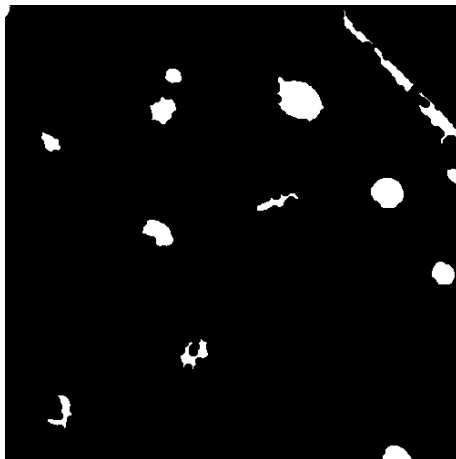
- Preenchimento de buracos:



Fêmur direito de rato.

- **Pós-processamento**

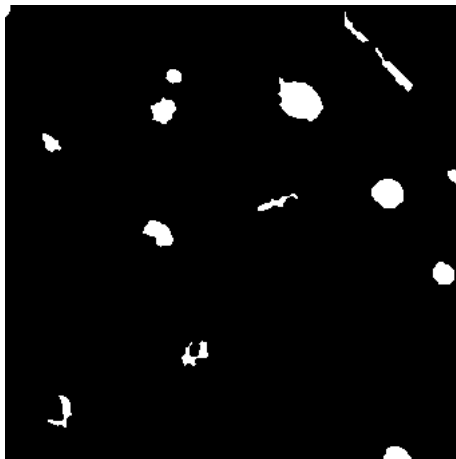
- Remoção de objetos não circulares:



Fêmur direito de rato.

- **Pós-processamento**

- Remoção grandes e pequenos objetos:



Fêmur direito de rato.

- **Pós-processamento**

- Remoção de objetos não segmentados na imagem L^* :



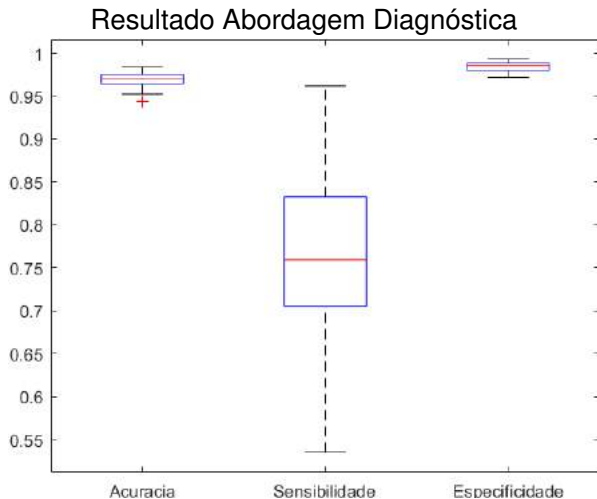
Fêmur direito de rato.

- **Pós-processamento**

- Remoção de objetos não segmentados na imagem H ou HE:

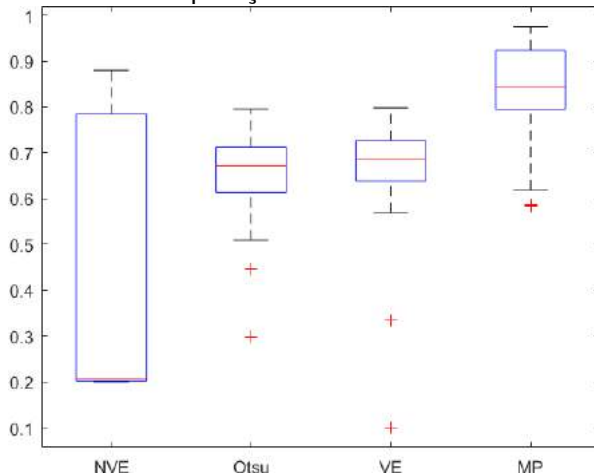


Fêmur direito de rato.



Fêmur direito de rato.

Comparação resultado Dice



Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Fundamentação Teórica
- 3 Método Proposto
- 4 Estudo de Casos
- 5 Conclusão**


Conclusão

- Foi desenvolvido um método que pode ser usado tanto de maneira automática, como semiautomática para a segmentação de canais ósseos e osteócitos;
- Método foi capaz de segmentar de maneira satisfatória as regiões de interesse;
- A aquisição das imagens interferem muito no resultado da segmentação;

Trabalhos Futuros

- Imagens do estudo de caso 3 serão alinhadas manualmente;
- Reconstrução 3D de cada estudo de caso;
- Análise entre os artefatos do segundo e terceiro estudo de caso, para avaliar o impacto da radioterapia na rede vascular óssea.

Contribuições em Produção Bibliográfica

 GONDIM, P. H. C. C. et al. Automatic segmentation of the human bone vascular network. *XIII Workshop de Visão Computacional*, p. 41–46, 2017.

Produção Bibliográfica em andamento

Está sendo desenvolvido um artigo para a revista *Neurocomputing*, a respeito da reconstrução 3D do Estudo de Caso do Fêmur esquerdo do rato de laboratório.