



# **Um Estudo Comparativo Aplicado à Segmentação de Imagens de Rochas Reservatório**

**ENEIDA ARENDT REGO**

- **INTRODUÇÃO**
- **IMAGENS DE ROCHAS RESERVATÓRIO**
- **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**
- **APLICAÇÃO – BINARIZAÇÃO DE IMAGENS DE ROCHAS RESERVATÓRIO VIA REDES NEURAIIS**
  - **METODOLOGIA**
  - **TÉCNICAS**
  - **RESULTADOS**
- **CONCLUSÕES**

## Escopo do Problema

- Necessidade de determinação de propriedades físicas de rochas reservatório para indústria de exploração e produção de petróleo;
- Experimentos em laboratório consomem tempo e custos elevados;
- Vantagens do uso de PDI na determinação de propriedades físicas de rochas reservatório:
  - Baixo custo na montagem de laboratório computacional de análise de imagens;
  - Possibilidade do uso de amostras de calha.

- Binarização de Imagens é uma etapa crítica do Sistema de Processamento de Imagens;
- Métodos de segmentação/binarização não são universais - não produzem bons resultados para todos os tipos de imagens;
- Imagens digitais de rochas reservatório possuem características e propriedades específicas a serem analisadas;
  - Resquícios de óleo e/ou grãos manchados de óleo;
  - Diferentes tonalidades de minerais;
  - Não-linearidade.

- Pesquisar um método que efetue a correta binarização dos padrões das imagens de rochas reservatórios em fase porosa e fase granular.

- INTRODUÇÃO
- IMAGENS ROCHAS RESERVATÓRIO
- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
- APLICAÇÃO
- CONCLUSÕES

# ROCHAS RESERVATÓRIO

- Acumulação de Petróleo



- Rocha com porosidade e permeabilidade adequadas à acumulação de petróleo.
- Maioria das reservas são encontradas em rochas sedimentares;
  - Arenitos (representam 60% das rochas reservatório);
  - Carbonatos (representam 35% das rochas reservatório).

## Propriedades Físicas - Porosidade

- Mede a capacidade de armazenamento de um ou mais fluídos na rocha.
  - **Porosidade Absoluta** - relação entre o volume de poros de uma rocha e o volume total da mesma;
  - **Porosidade Efetiva** - relação entre o volume de poros interconectados de uma rocha e o volume total da mesma;



## Propriedades Físicas - Permeabilidade

- Capacidade de um meio poroso de se deixar atravessar por fluídos.
  - Expressa em Darcy [D] ou miliDarcys [mD];
- **Permeabilidade Intrínseca** – somente um fluído satura o meio poroso;
- **Permeabilidade Relativa** – dois ou mais fluídos saturam o meio poroso.

## Tipos de amostras de Rochas Reservatório

- **Testemunho:** cilindros completos retirados do poço por uma broca especial;
- **Amostra lateral:** adquirida através do canhoneio na parede do poço;
- **Amostra de calha:** rocha triturada durante a perfuração do poço.



Amostra 6m = ~R\$ 300.000,00

Amostra 20m = ~US\$ 200.000,00

- INTRODUÇÃO
- IMAGENS ROCHAS RESERVATÓRIO
- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
- APLICAÇÃO
- CONCLUSÕES

# PDI ROCHAS RESERVATÓRIO

## Sistema de Processamento de Imagens

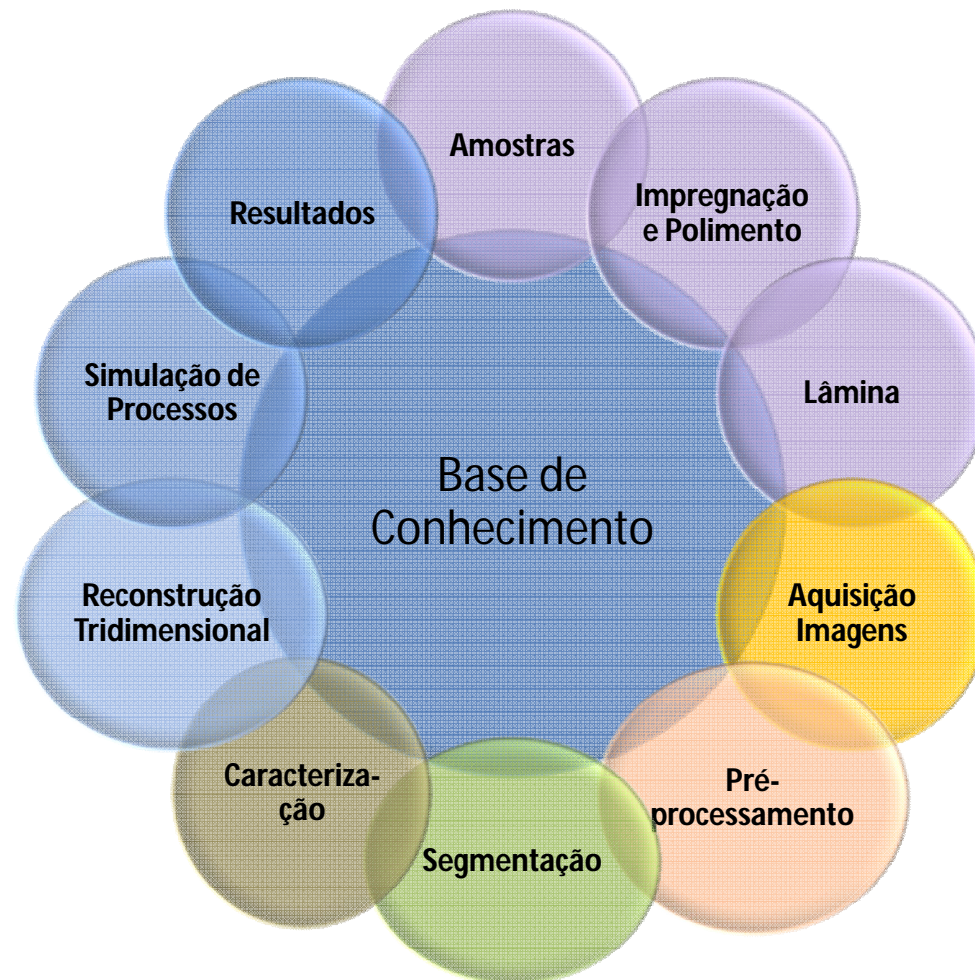
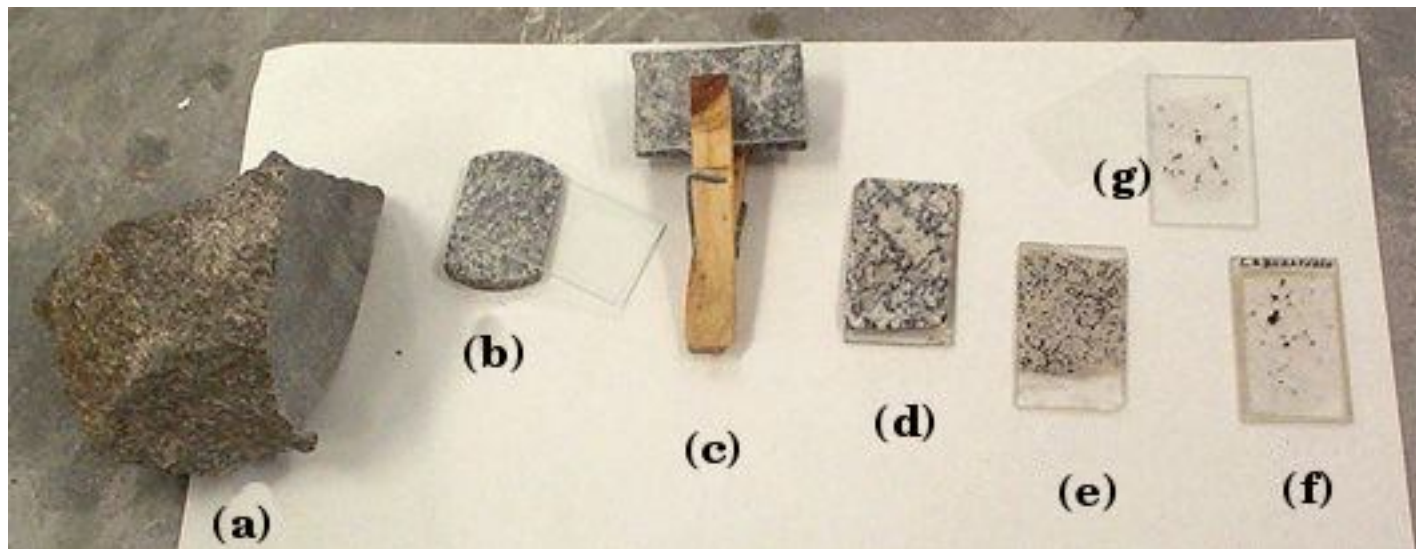


Fig. 2: Sistema de processamento de imagens adaptado ao estudo de materiais porosos

- INTRODUÇÃO
- IMAGENS ROCHAS RESERVATÓRIO
- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
- APLICAÇÃO
- CONCLUSÕES

# PDI ROCHAS RESERVATÓRIO

## Preparação das Lâminas



## Aquisição das Imagens

- Microscópios ópticos + câmeras digitais acopladas a computadores.
- Para cada lâmina petrográfica é obtido um conjunto de imagens.
- Aumentos utilizados foram de 25x e 50x.
- Imagens coloridas RGB e tamanho 640x480 pixels.



## Pré-Processamento

- Processo de manipulação da imagem para produzir um resultado mais adequado que o original para uma aplicação específica.
  - Filtros suavização
  - Transformações modelo cor

## Segmentação e Binarização

- A segmentação consiste em dividir uma imagem em suas regiões, fases ou objetos de interesse, dependendo do problema a ser resolvido.
- Binarização é o processo de segmentação usado para separar o objeto de interesse do fundo
  - Conversão de uma imagem em tons de cinza ou colorida em uma imagem binária;
  - Pixels podem assumir apenas dois valores (0 ou 1, preto ou branco);
  - Uma das fases mais críticas do Sistema Processamento de Imagens.

## Caracterização

- Tem como objetivo extrair informações de interesse, descrever as características dos objetos e classificá-los, além de obter informações quantitativas.
- No estudo de imagens de rochas reservatório estas informações quantitativas estão relacionadas as propriedades como:
  - Porosidade;
  - Permeabilidade;
  - Distribuição de tamanho dos poros;
  - Curvas de auto-correlação e auto-conectividade.



## Reconstrução 3D

- Reconstrução baseada em uma simulação estocástica de uma Gaussiana truncada procurando preservar os dois primeiros momentos da função de fase  $Z(x)$ .
  - Porosidade
  - Função de autocorrelação

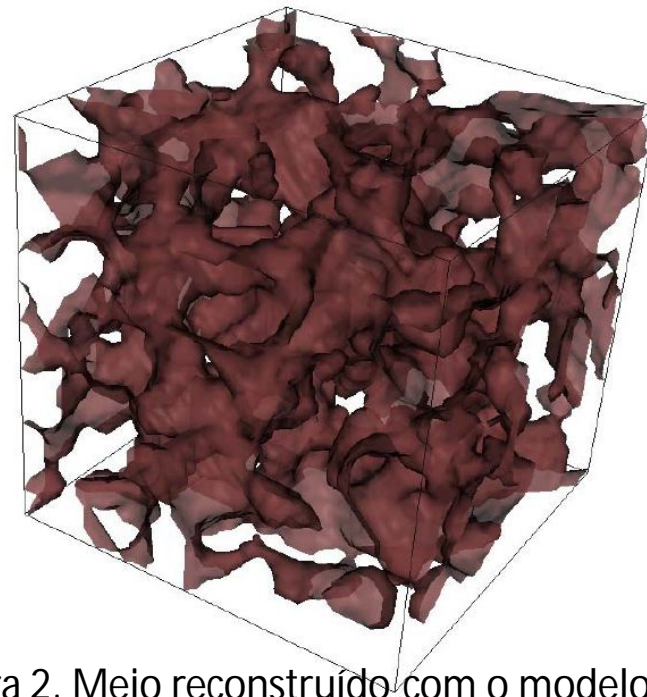


Figura 2. Meio reconstruído com o modelo de Gaussiana truncada

## Simulação de Processos

- Determinação da permeabilidade através de simulações numéricas do escoamento com o modelo booleano de gás em rede (Santos *et al.*, 2002)

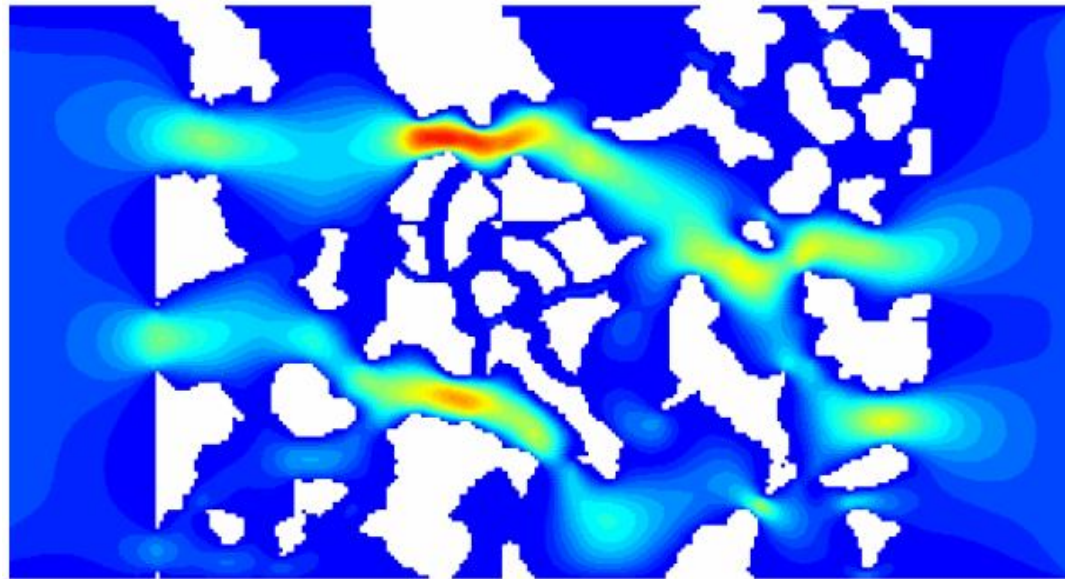


Figura 3. Campo de velocidades de uma simulação de escoamento monofásico.

## Processamento de Imagens de Rochas Reservatório

(Philippi *et al.*, 1994)

- Estudo da distribuição de tamanho de poros utilizando-se processo misto, curvas de adsorção (experimental) e caracterização com análise de imagens (numérico).

(Zhirong *et al.*, 1996)

- Reconstrução 3D baseada em uma simulação estocástica de uma Gaussiana truncada através da porosidade e da função de autocorrelação.

(Fernandes *et al.*, 1996)

- Determinação da permeabilidade intrínseca através da simulação de intrusão de mercúrio de estruturas 3D.

(CEREPI *et al.*, 2000),

- Descreve a caracterização das propriedades através dos métodos experimentais *versus* análise de imagens petrográficas.

(BUENO *et al.*, 2002),

- Determinação da permeabilidade relativa através da simulação do fluxo bifásico em estruturas 3D usando os algoritmos de configurações de equilíbrio.

(Santos *et al.*, 2002)

- Estimativa de permeabilidade através de simulações do modelo booleano de gás em rede em estruturas 3D.

(Fernandes et al., 2003)

- Determinação da permeabilidade intrínseca utilizando o modelo série-paralelo. Usa a média aritmética da distribuição de tamanho de poros das imagens 2D de determinada lâmina.

(Schaewer *et al.*, 2006)

- Simulação da permeabilidade e cálculo do dano de formação em estruturas 3D.

## Redes Neurais no Processamento de Imagens

- Bem fundamentada em todos os campos do conhecimento
- Em um artigo de revisão sobre segmentação de imagens, Pal e Pal (1993) previram que Redes Neurais seriam amplamente usadas no processamento de imagens
- Grande número de trabalhos em todas as áreas do processamento imagens
  - Pré-processamento
  - Redução dados / Extração características
  - Segmentação
  - Detecção e reconhecimento objetos
  - Compreensão da Imagem – Nível semântico
  - Otimização

## Segmentação de Imagens via Redes Neurais

- Segmentação a partir dos valores dos pixels da imagem
  - Feed-forward
  - SOM
  - Hopfield
  - Rede Probabilística
  - Função de base radial
  - Correlação oscilatória

## Segmentação de Imagens via Redes Neurais

- RNAs treinadas para classificar o conteúdo das imagens com base em:
  - Textura
  - Combinação de textura e forma
- Também usadas para pré e pós processamento de segmentação
  - Delimitação dos contornos
  - Conexão de pixels de borda
  - Identificação de superfícies
  - Clustering de pixels



## Segmentação de Imagens via Redes Neurais

- Segmentação a partir de características da imagem
  - Feed-forward
  - SOM
  - Redes recursivas
  - Variâncias RBF
  - Hopfield
  - PCA
  - Redes dinâmicas

## Segmentação de Imagens via Redes Neurais

- RNAs treinadas para segmentar imagens baseado na diferença de:
  - Textura
  - Combinação de textura e forma
- Além de classificação direta, RNAs também têm sido utilizadas para:
  - Estimativa de intervalos
  - Mapeando de histograma
  - Estimativa do fluxo óptico
  - Conexão de bordas e linhas
  - Crescimento de regiões

- INTRODUÇÃO
- IMAGENS ROCHAS RESERVATÓRIO
- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
- APLICAÇÃO
- CONCLUSÕES

# APLICAÇÃO

Modelo de cor RGB

Modelo de cor HSI

Limiar de Otsu

Redes Neurais

***(Gasperi, P. M. S. D., 1999) Estimativa de Propriedades Petrofísicas Através da Reconstrução 3D do Meio Poroso a Partir da Análise de Imagens***

- Aquisição de propriedades petrofísicas com software VCLab
  - Porosidade
  - Função de autocorrelação
  - Permeabilidade
  - Diâmetro médio dos poros
  - Diâmetro médio das gargantas
  - Curvas de pressão capilar

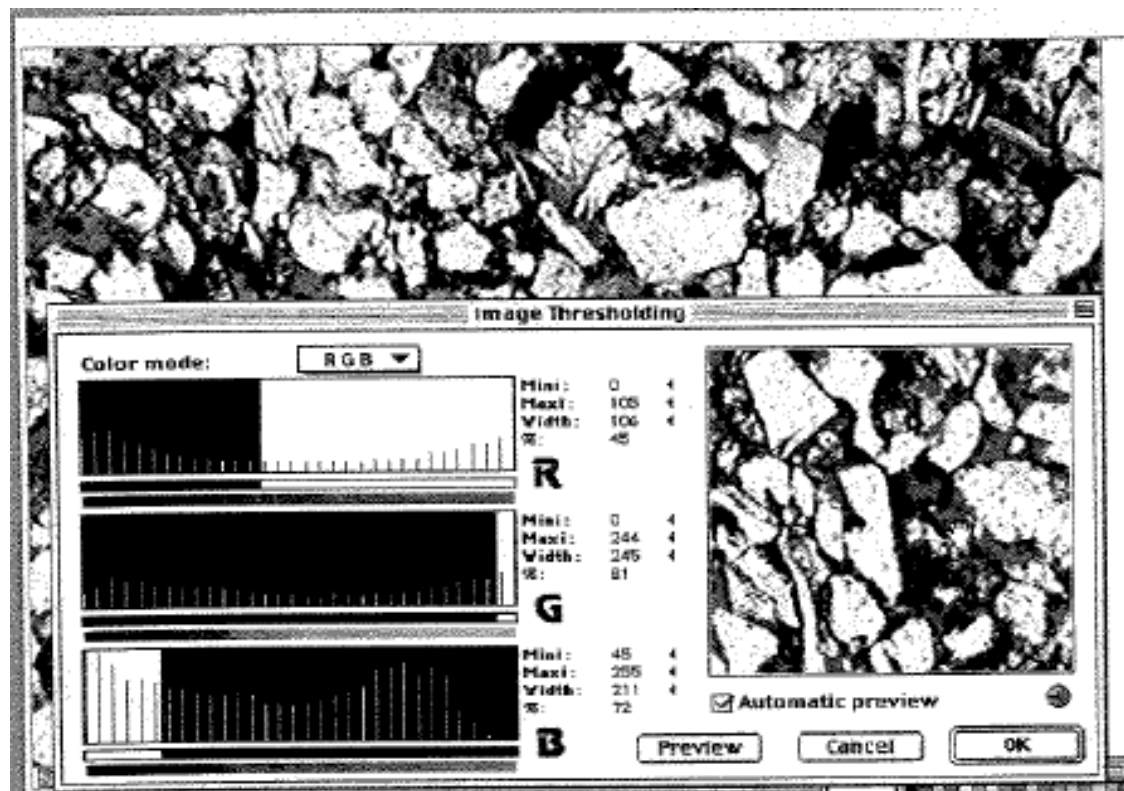
## Binarização pelo modelo RGB

- Binarização através do modelo RGB com uso do software *Ultimage/Pro* da *Graftech* .
- Definição manual de limites para cada componente de cor RGB o que confere um caráter subjetivo ao método.
- A experiência do operador na manipulação de imagens petrográficas pode fornecer variações no resultado final.
- Resultados diferentes quando a operação é realizada por mais de um operador.

- INTRODUÇÃO
- IMAGENS ROCHAS RESERVATÓRIO
- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
- APLICAÇÃO
- CONCLUSÕES

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## Binarização pelo modelo RGB

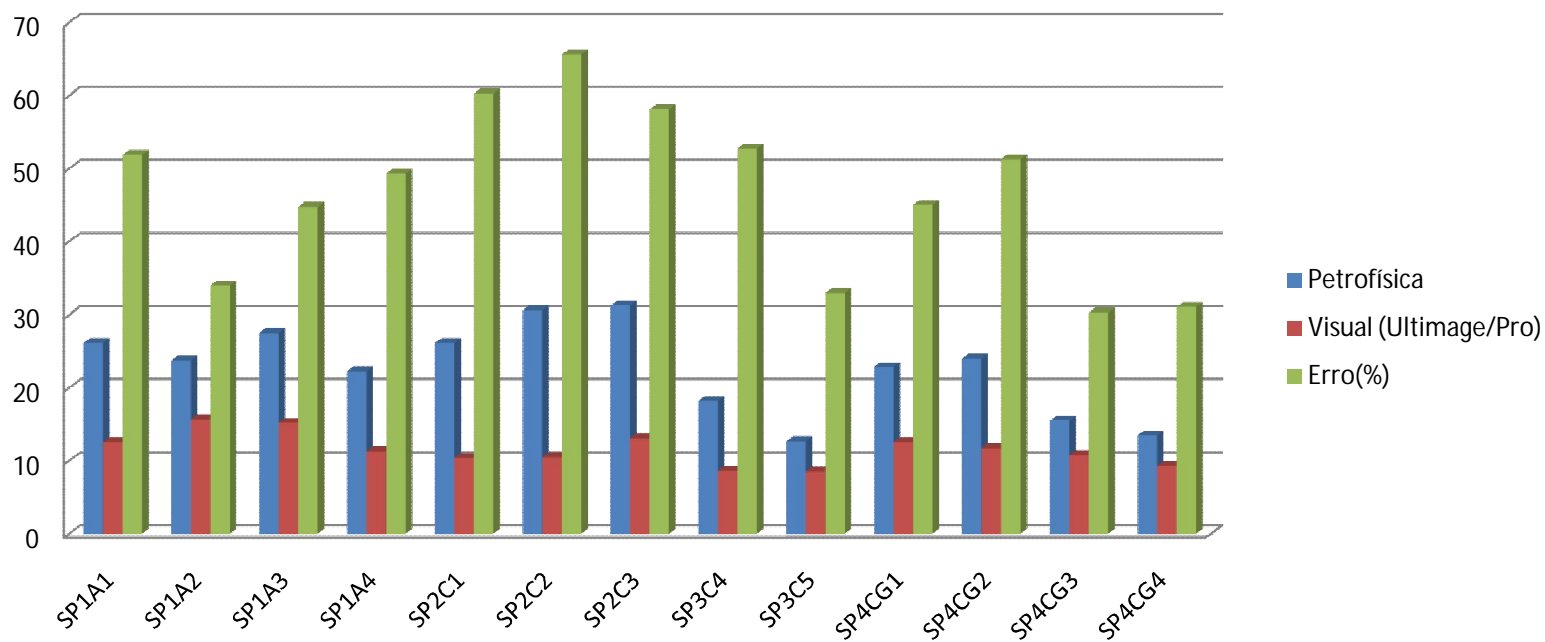


- INTRODUÇÃO
- IMAGENS ROCHAS RESERVATÓRIO
- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
- APLICAÇÃO
- CONCLUSÕES

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## Resultado binarização pelo modelo RGB

Comparação Porosidade



## Resultado binarização pelo modelo RGB

- Resolução das Imagens – variação do valor de porosidade para diferentes resoluções
- Subjetividade do processo manual – variação do valor de porosidade para diferentes operadores
- Modelo experimental para determinação de porosidade via expansão à gás



**(Gaspari, 2006). *Determinação Computacional da Permeabilidade de Rochas Reservatório.***

- Aquisição de propriedades petrofísicas com software Imago
  - Porosidade
  - Curvas de autocorrelação
  - Distribuição de tamanho de poros
  - Permeabilidade *Fast k* (Philippi, 2000)
  - Permeabilidade *Fast k* (Marshall, 1958)
  - Permeabilidade Gás em Rede (Santos, 2002)

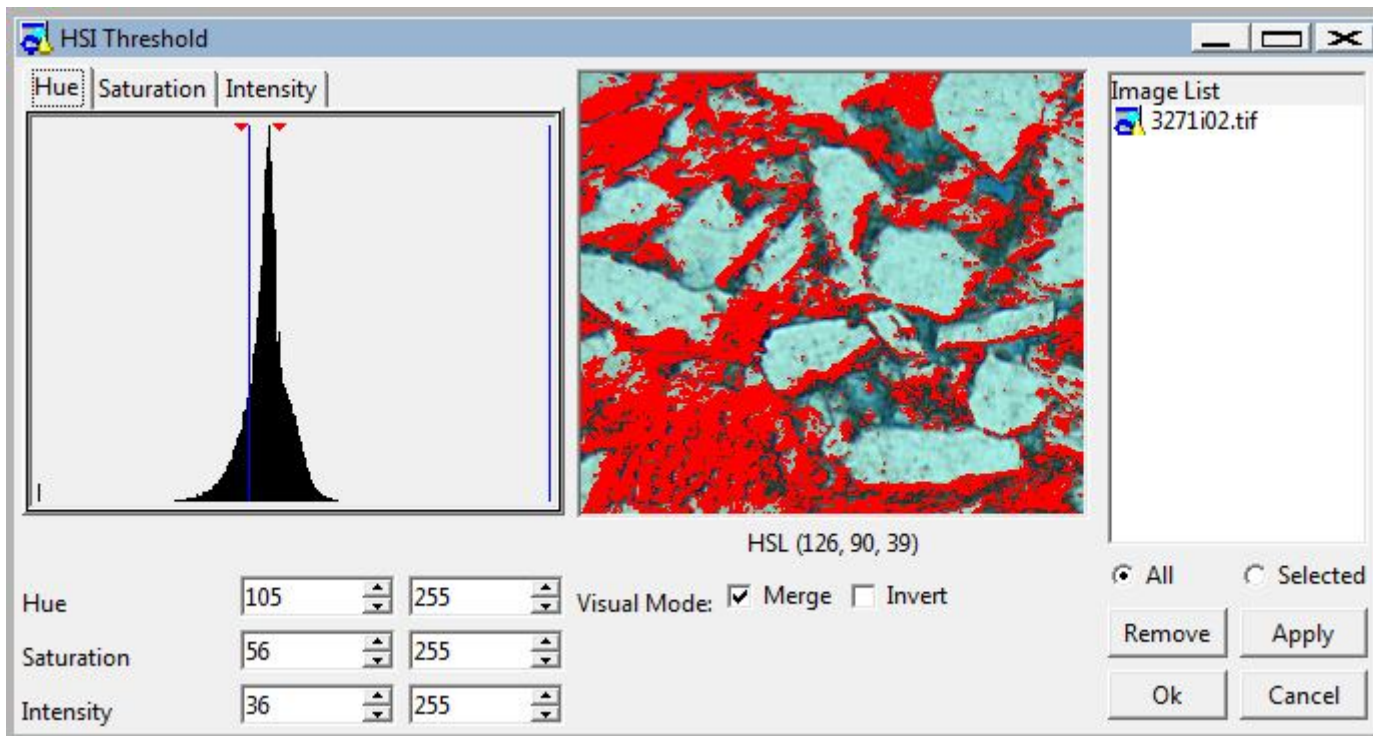
## Binarização pelo modelo HSI

- Binarização manual através do modelo HSI com uso do software Imago.
- A experiência do operador na manipulação de imagens petrográficas pode fornecer variações no resultado final.
- Resultados diferentes quando a operação é realizada por mais de um operador.
- Aplicação de filtro passa baixa em domínio espacial.

- INTRODUÇÃO
- IMAGENS ROCHAS RESERVATÓRIO
- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
- APLICAÇÃO
- CONCLUSÕES

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## Binarização pelo modelo HSI

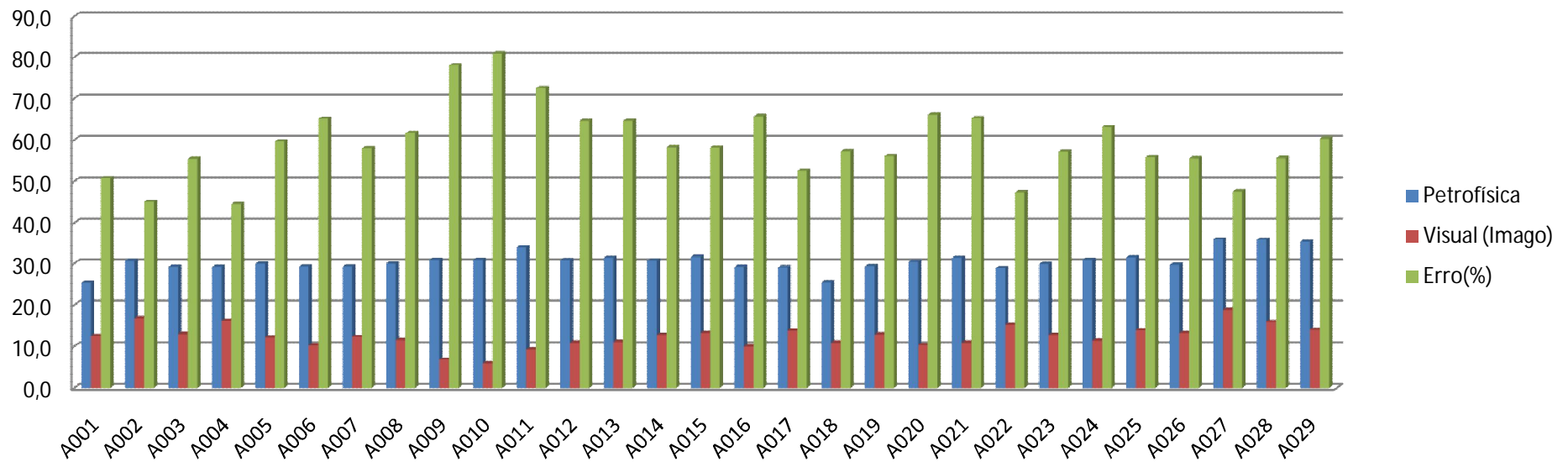


- INTRODUÇÃO
- IMAGENS ROCHAS RESERVATÓRIO
- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
- APLICAÇÃO
- CONCLUSÕES

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## Resultado binarização pelo modelo HSI

Comparação da Porosidade



## Resultado binarização pelo modelo HSI

- Taxas de erro da porosidade ótica *versus* petrofísica acima de 45%.
- Presença de informações duvidosas em regiões em que fica difícil definir com boa exatidão os limites entre minerais e poros devido ao efeito de borda.
- Problemas com a binarização afetou o cálculo das propriedades petrofísicas.

- As imagens das amostras de rochas reservatório foram fornecidas pelo CENPES/Petrobras;
- Total de 290 imagens distribuídas em 22 amostras;
- 8 amostras com dados de porosidade via porosímetro à gás, em um total de 100 imagens.

- INTRODUÇÃO
- IMAGENS ROCHAS RESERVATÓRIO
- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
- APLICAÇÃO
- CONCLUSÕES

# METODOLOGIA

Pré-processamento das imagens

Binarização das imagens

Caracterização das imagens -> porosidade

Análise comparativa dos resultados

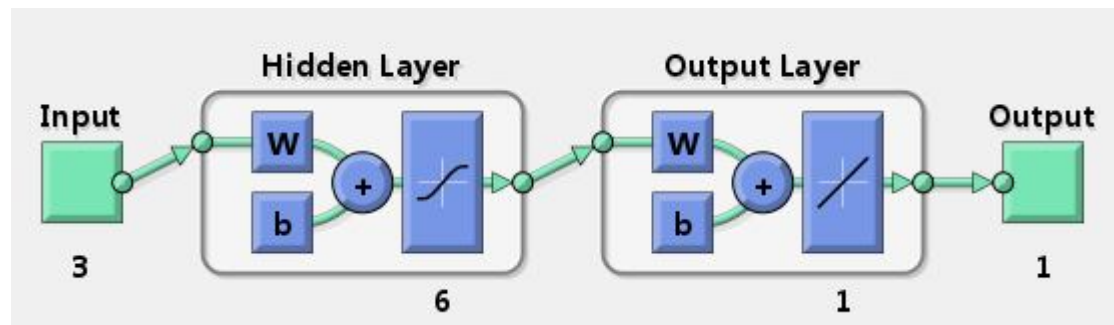
## Limiar de Otsu

- Aplicado sobre o histograma de níveis de cinza
- Tem como fundamento encontrar um limiar que minimize a variância dos valores de uma classe e maximize a variância entre duas classes distintas.



## Redes Neurais

- Estratégia:
  - Entradas da RN = pixels RGB das imagens
  - Treinar a RN
    - Tonalidades resina+óleo = Fase porosa
    - Demais tonalidades = Fase granular
- Topologia
  - MLP



## Redes Neurais

- Conjunto de treinamento
  - Seleção das imagens com padrões que representassem a amostra
  - Composição do conjunto de treinamento
    - Captura de pixels de poros e grãos
    - 2.738 padrões poros/grãos
  - Treinamento - 75% (1916 amostras)
  - Validação - 15% (411 amostras)
  - Teste - 15% (411 amostras)



## Binarização

- Processamento dos dados



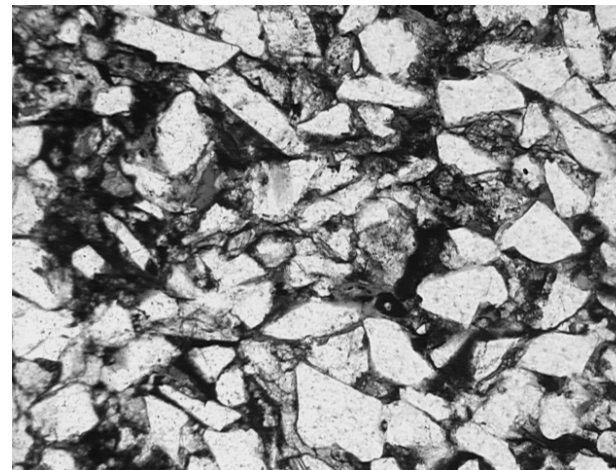
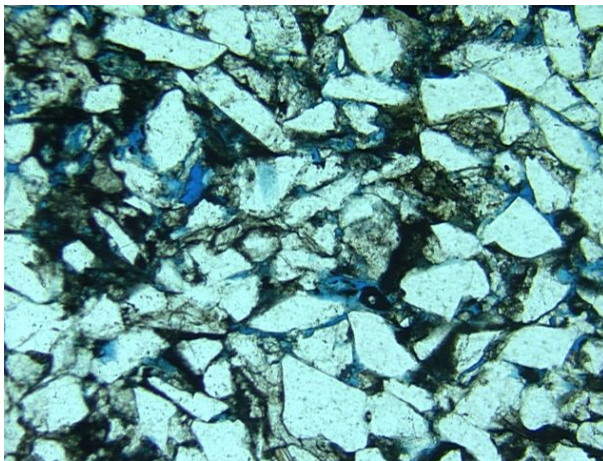
- Reconstrução da imagem
  - *Threshold*
  - Reconstrução imagem (PBM) de acordo com imagem original

## Validação

- Caracterização das imagens
  - Cálculo da porosidade
  - Cálculo erro em relação a porosidade experimental
- Análise visual

## Amostra P148\_K2

- Arenito com muitas áreas escuras;
- Total de 20 imagens;
- Na conversão para tons de cinza os poros são dificilmente identificáveis.

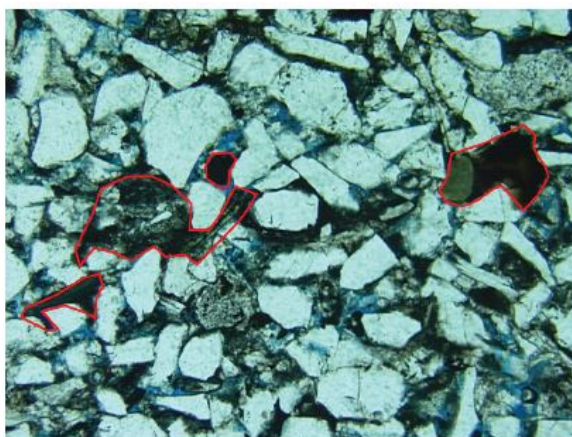


- INTRODUÇÃO
- IMAGENS ROCHAS RESERVATÓRIO
- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
- APLICAÇÃO
- CONCLUSÕES

# RESULTADOS

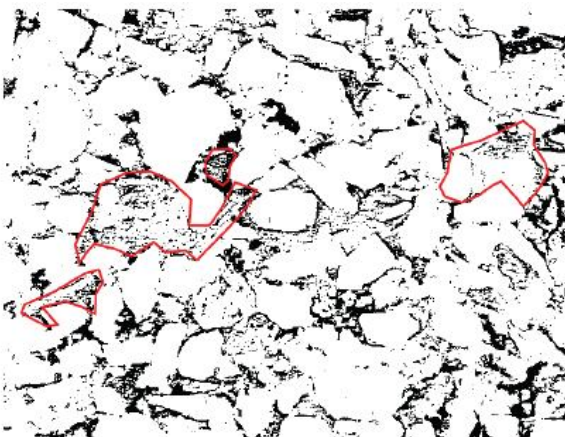
## Análise visual - P148\_K2

Imagem Original



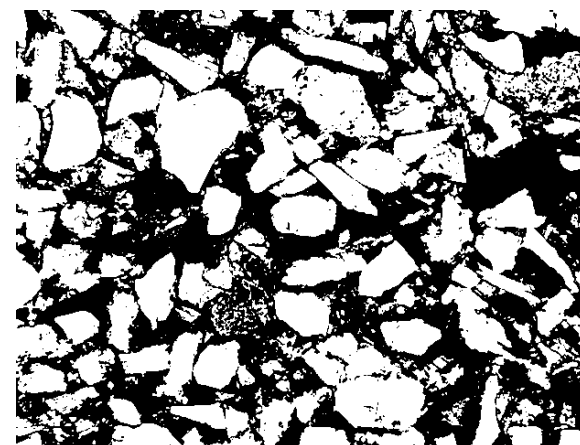
(a)

Redes Neurais



(b)

Otsu

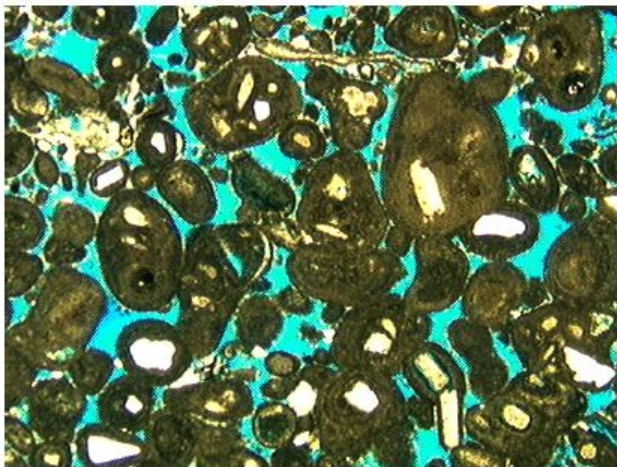


(c)

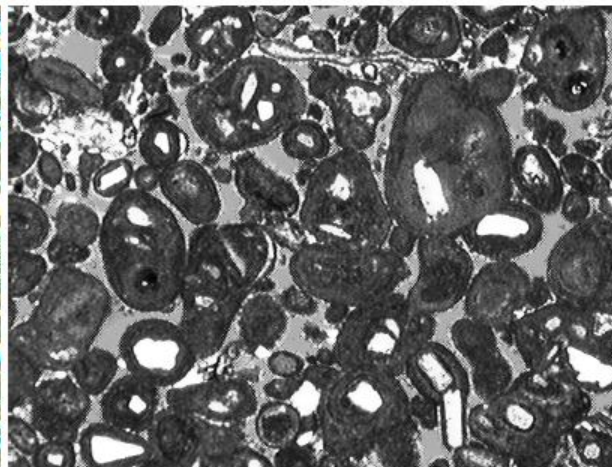


## Amostra P262\_K441

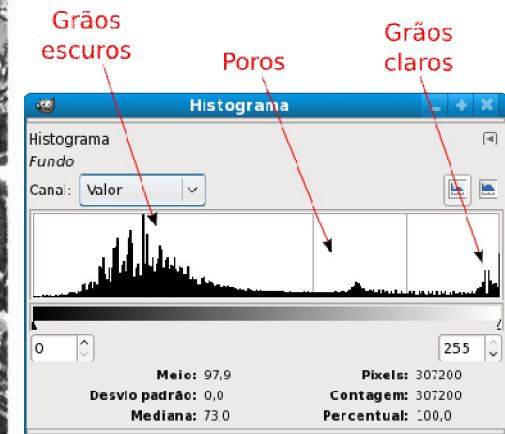
- Carbonato com grãos claros e escuros;
- Na conversão para tons de cinza os poros adquirem tonalidade intermediária aos grãos;
- Total de 10 imagens.



(a) Imagem colorida.



(b) Imagem tons de cinza.



(c) Histograma.

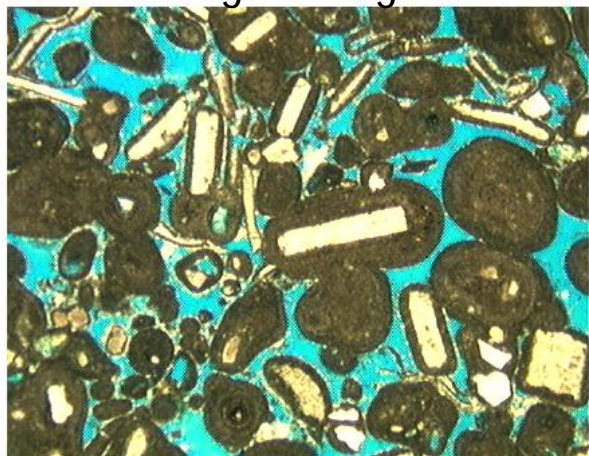


- INTRODUÇÃO
- IMAGENS ROCHAS RESERVATÓRIO
- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
- APLICAÇÃO
- CONCLUSÕES

# RESULTADOS

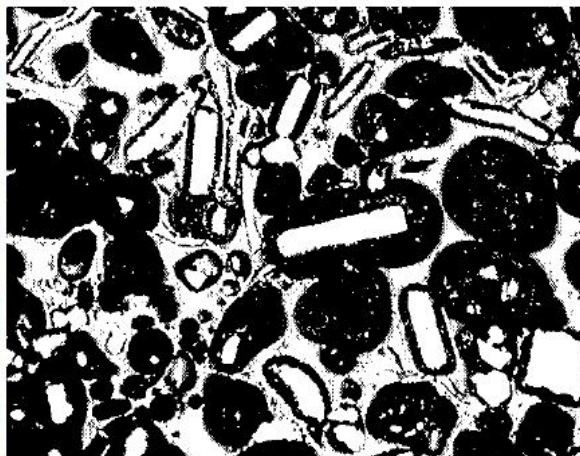
## Análise visual - P262\_K441

Imagem Original



(a)

Otsu



(b)

Redes Neurais

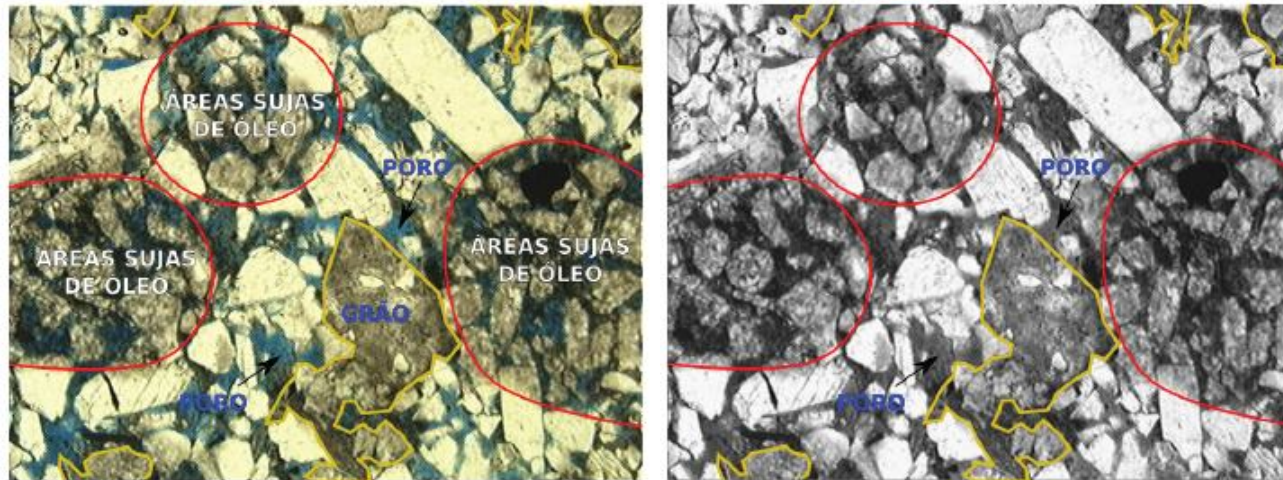


(c)



## Amostra P275\_K316

- Arenito com muitas áreas manchadas de óleo;
- Na conversão para tons de cinza os poros e os grãos opacos se confundem;
- Total de 20 imagens.



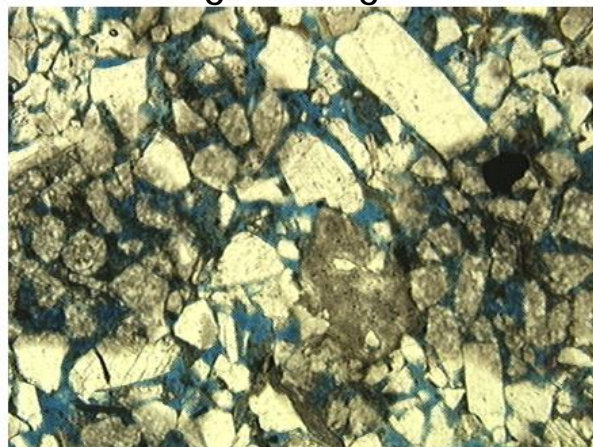
- Áreas manchadas de óleo
- Grãos opacos

- INTRODUÇÃO
- IMAGENS ROCHAS RESERVATÓRIO
- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
- APLICAÇÃO
- CONCLUSÕES

# RESULTADOS

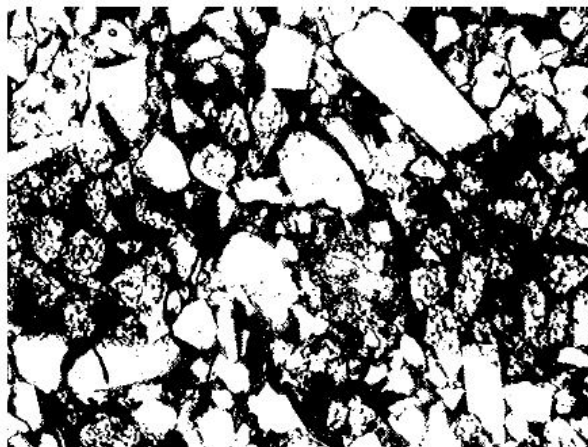
## Análise visual - P275\_K316

Imagem Original



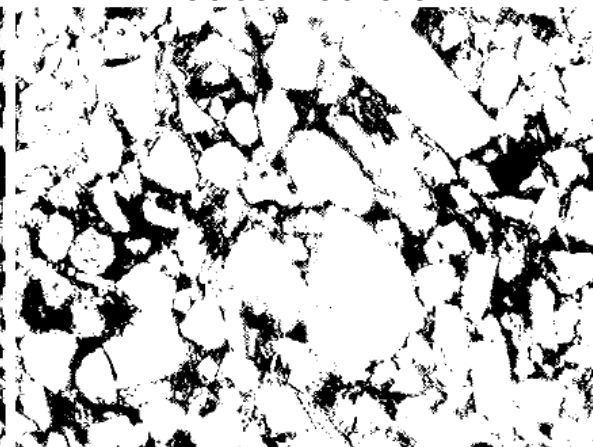
(a)

Otsu



(b)

Redes Neurais



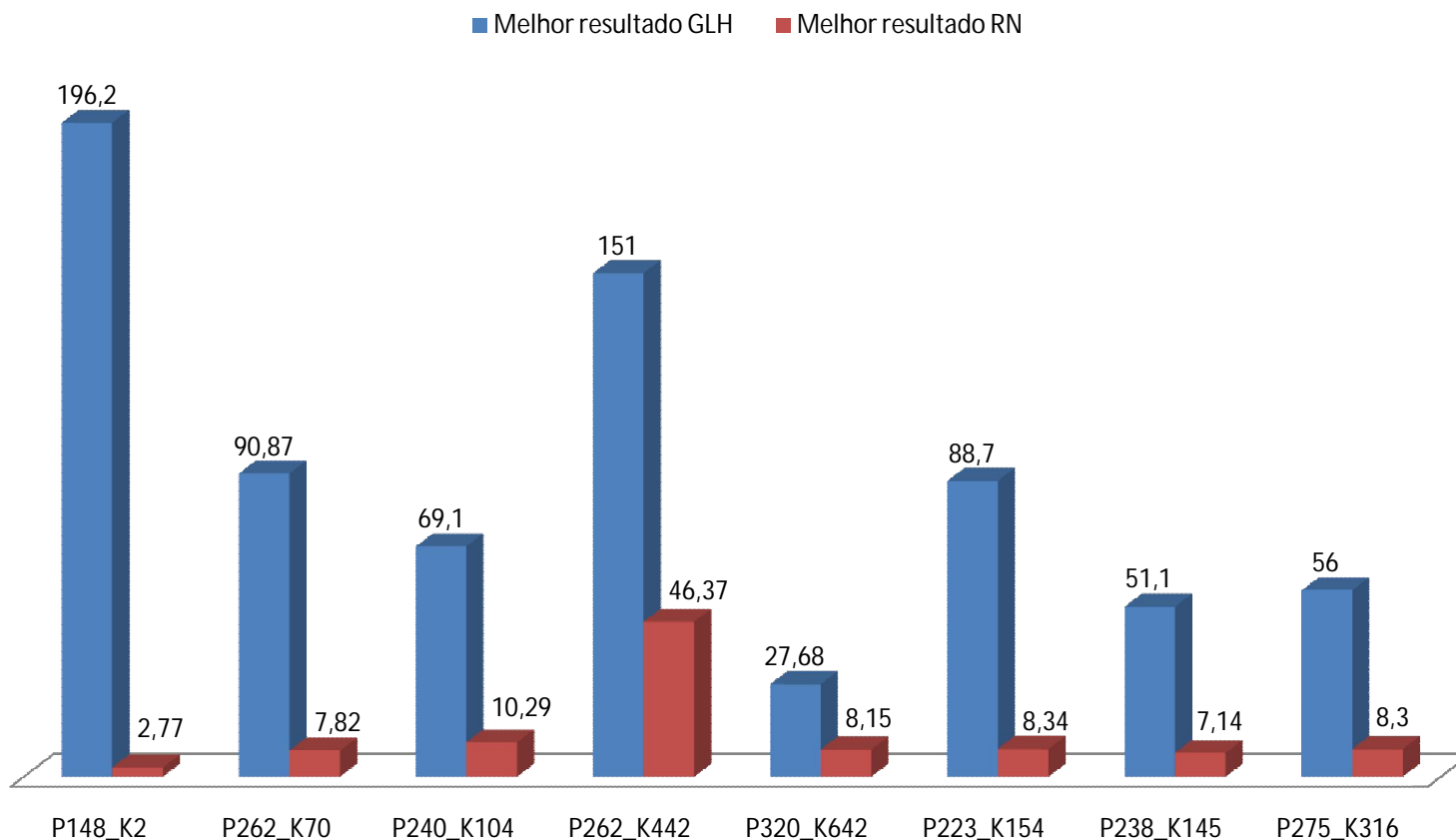
(c)



- INTRODUÇÃO
- IMAGENS ROCHAS RESERVATÓRIO
- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
- APLICAÇÃO
- CONCLUSÕES

# COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

## Comparação Resultados Erro(%)



## Principais problemas

- Presença de óleo;
  - Grande dificuldade de interpretação poro/grão;
  - Não-linearidade das imagens;
  - Conversão para tons de cinza;
- 
- O método RN conseguiu contornar fatores como presença de óleo e não-linearidade das imagens;
  - Produziu valores de porosidade mais próximos aos valores experimentais;
  - Independe da experiência do operador, não possui variação dos valores.

## Trabalhos Futuros

- Agregar novos padrões de imagens de rocha reservatório
- Avaliar os resultados para:
  - Tipos de redes neurais diferentes
    - SOM
    - Correlação Oscilatória
    - etc
  - Segmentação via redes neurais com base em características da imagem
    - Textura
    - Contorno



# Um Estudo Comparativo Aplicado a Segmentação de Imagens de Rochas Reservatório

ENEIDA ARENDT REGO  
[eneida@lenep.uenf.br](mailto:eneida@lenep.uenf.br)

