

# PROJETO FINAL - PROCESSAMENTO DIGITAIS DE IMAGENS

## APLICAÇÃO DE DIFERENTES TÉCNICAS PARA O TRATAMENTO DE IMAGENS DE TOMOGRAFIA COM ARTEFATOS METÁLICOS

*Bruna Medeiros da Silva - 16/0048711*

*Matheus Gois Vieira - 17/0019136*

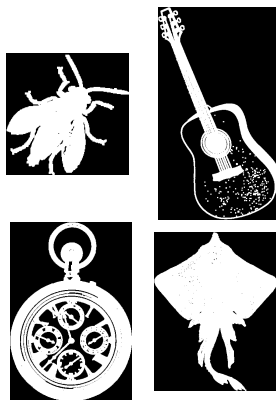
*Victor Kaio - 17/0072151*

Universidade de Brasília

### 1. INTRODUÇÃO

O processamento digital de Imagens é um ramo do processamento de sinais que trata especificamente de imagens digitais, ou seja imagens quantizadas e amostradas, capazes de serem armazenadas em um computador digital, mais precisamente. Esse processamento pode ser realizado de diferentes maneiras, com diferentes técnicas de tratamento e uso de imagens, tais como tratamentos em frequência, morfologia, filtros espaciais e em frequência, tratamento de histograma, entre outros.

Esses tratamentos podem ser aplicados em 3 diferentes tipos de imagem: Imagens em escala de cinza, imagens coloridas ou imagens binárias (Figura 1). Imagens em escala de cinza são aquelas que não envolvem cores, mas sim tons que indicam a intensidade de cada pixel, variando de preto (valor mínimo de intensidade) ao branco (valor máximo de intensidade).



**Fig. 1.** Exemplos de imagens binárias. Fonte: [1].

Geralmente cada pixel (menor elemento de uma imagem) possui 8 bits disponíveis para representação, o que permite que essa variação seja feita em valores inteiros e não-negativos que estejam no intervalo de 0 a 255 ( $2^8 = 256$  valores possíveis). Porém, também existem casos em que se faz necessário o uso de 16 bits de representação por pixel,

o que eleva as possibilidades de representação para valores entre 0 e 65535, necessário para algumas aplicações que exigem um maior destaque de algumas faixas de intensidade. É raro encontrar aplicações, mas também existe a possibilidade de utilizar também 32 bits por pixel para representação, o que acaba por aumentar bastante o espaço necessário para armazenamento [2].



**Fig. 2.** Exemplos de imagens em escala de cinza. Fonte: [1].

Uma das grandes áreas que fazem grande uso do processamento de imagens é a área de geração de imagens médicas. Sistemas de imageamento, tais como Raios-X, Tomografia e Ressonância Magnética, por reagirem com o ambiente ao seu redor e com o próprio sistema do objeto de medição, podem necessitar de diversos tipos de tratamento durante o processo, para assim tornar possível a análise das imagens geradas e uma aplicação mais eficiente, seja ela em tratamentos radioterápicos, em procedimentos dentários, exames de rotina, ortopedia, fratura ou qualquer outra área que seja necessário.

Em sua grande maioria, imagens médicas são imagens em escalas de cinza, o que dá um enfoque maior a esse tipo de imagem dentro do campo. Imagens de tomografia, por exemplo, passam por um processo de reconstrução chamada Retroprojeção Filtrada (*Filtered Backprojection*), que captura



**Fig. 3.** Exemplos de imagens coloridas. Todas essas imagens podem ser representadas e processadas utilizando diferentes modelos para representação (RGB, HSI ou CMY, por exemplo). Fonte: [2].

os dados obtidos da máquina de tomografia, realiza um processo de filtragem de baixas frequências e reconstrói a imagem da maneira que deve ser vista pelo profissional de saúde responsável com a maior quantidade de informação útil e o mínimo de exposição do paciente a radiação possível, evitando danos ao seu organismo.

A tomografia computadorizada (CT - *Computed Tomography*) é um sistema de imageamento por raios-x que utiliza o conceito de projeções e reconstrução de imagens para gerar uma imagem do conteúdo interno a um objeto alvo, que pode se referir a uma pessoa, um membro do corpo, um órgão, um animal ou um objeto inanimado. Esse processo é realizado por meio da liberação de raios, que passarão pelo objeto e chegarão a um detector, respectivamente. A diferença entre a energia dos raios liberados e a energia que chega ao detector identificará a densidade do objeto no ponto em que cada raio passou. Esse resultado, obtido em diversos pontos  $t$  do espaço em um único ângulo  $\theta$  gera o que chamamos de projeção, o que é descrito matematicamente e fisicamente pelo Retroprojeção filtrada. Realizando isso em vários ângulos e mapeando-os em um plano com coordenadas  $\theta$  e  $t$ , gera-se o Sinograma da imagem, que equivale, matematicamente, à sua Transformada de Radon. Utilizando o Teorema dos Cortes de Fourier, é possível comprovar que a transformada de Fourier obtida em um ângulo  $\theta$  em uma distância  $t$  da origem é equivalente a um corte da transformada de Fourier 2D da imagem original que faz um ângulo  $\theta$  com o eixo  $x$  da mesma. Utilizando toda essa fundamentação teórica, torna-se possível reconstruir imagens com apenas suas densidades em determinados pontos do espaço, que é a base para o uso da tomografia. [3][4]

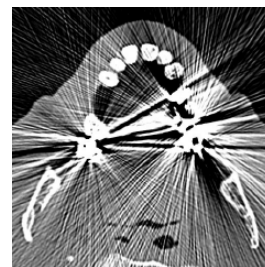
## 2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Muitas vezes, no intuito de filtrar ruídos e reduzir o efeito de interferências durante o processo de obtenção da imagem

por tomografia, de forma a evitar uma nova exposição do paciente, se torna necessário o uso de outros tipos de técnicas que melhorem a qualidade da imagem obtida. Esse processo pode ser complicado de diversas formas, reduzindo a qualidade dos resultados e muitas vezes impossibilitando sua análise, com coisas como movimentos durante o processo ou mesmo com a presença de metais, que são materiais de alta densidade, dentro da área que foi imageada.

Em muitos casos, como no caso de problemas gerados pela presença de joias e adereços, o problema pode ser facilmente resolvido comunicando ao paciente a necessidade de remover o adereço antes de iniciar o procedimento. Entretanto, em outros casos, como nos de obturações, aparelhos dentários fixos, placas ósseas e outros componentes que não podem ser removidos ou o são apenas com muita dificuldade, se torna necessário o uso de técnicas mais avançadas para o pós-processamento dessas imagens, com o intuito de remover ou reduzir os danos causados à mesma, que são em sua grande parte considerados extremamente prejudiciais, gerando uma elevada perda de informação muitas vezes essencial para a definição correta de tratamentos, como nos casos de tratamentos radioterápicos, por exemplo.

O fenômeno que ocorre com a imagem na presença de metais é chamado endurecimento de feixes (*beam hardening artifact*) e os artefatos causados por esse tipo de fenômeno são chamados *streaks*. Eles representam uma grande ameaça à obtenção de bons resultados em muitos exames de tomografia atualmente (ver Figura 4).



**Fig. 4.** Efeito gerado em imagens de Raios-X pela alta densidade de materiais metálicos. Esse efeito reduz o contraste da imagem pela desproporcionalidade entre a densidade dos tecidos biológicos e de materiais metálicos, dificultando a análise da imagem gerada e gera uma perda de informações pela geração de artefatos do tipo *streaks*. Fonte: [5]

## 3. DESENVOLVIMENTO

### 3.1. Técnicas Utilizadas

- **Rotulação:** O processo de rotulação é responsável por identificar os artefatos metálicos dentro da imagem. Para realizar esse processo, utiliza-se um código baseado na técnica de rotulação de componentes conec-

tados, que utiliza tratamentos morfológicos para identificar diferentes objetos contidos dentro da imagem analisada [2].

- **Erosão:** Erosão é um tratamento morfológico geralmente utilizado em imagens binárias para remover alguns ruídos isolados e que também gera uma redução da espessura dos componentes. Sua regra geral é que os *pixels* só serão mantidos brancos se todos os *pixels* do *kernel* "couberem" dentro da estrutura em que ele se encontra. Caso contrário, o valor do pixel será reduzido para preto (ou zero)[6].
- **Dilatação:** A ideia da dilatação é exatamente o oposto da erosão, gerando um certo preenchimento dos componentes da imagem. Na dilatação, se algum pixel da imagem é branco e se pelo menos um pixel do *kernel* "couber" nessa região, o valor do pixel será 1 (ou branco)[6].
- **Interpolação Bilinear:** A interpolação bilinear é uma técnica de interpolação em 2 dimensões utilizada após a etapa de remoção dos artefatos e do metal da imagem. Para a aplicação dessa técnica são realizadas 3 etapas de interpolação linear: uma na linha acima do pixel em questão, utilizando os pixel das colunas adjacentes; outra na linha abaixo do pixel, utilizando os pixel das colunas adjacentes e uma terceira no próprio pixel, utilizando os resultados anteriores.
- **Vizinho mais próximo (knn):** A técnica do vizinho mais próximo (*k-nearest neighbors*) faz uso da média dos *k* pixels mais próximos para realizar a interpolação e atribuição do valor aos pixels. Se esse valor for um ( $k = 1$ ), o resultado será o mesmo valor do pixel vizinho definido. Esse algoritmo (principalmente quando  $k = 1$ ) possui uma certa limitação dentro da aplicação desse projeto, que acaba substituindo o espaço do metal por branco (que era o valor anterior, antes da retirada) ou por preto (que já é o valor após a remoção). Esse problema, suas causas e consequências serão melhor discutidos na seção de Dificuldades (Seção 5).
- **inpaint():** Função da biblioteca openCV() que realiza a remoção de pequenos ruídos em uma imagem. Essa função é aplicada em nossa solução após a remoção do metal e interpolação dos seus valores e é utilizada para cobrir falhas na imagem geradas pelos ruídos do tipo *streak*, discutidos na seção introdutório (Seção 1)[7].
- **Filtro passa-alta:** O filtro passa-alta (*HPF*, do inglês *High-pass Filter*), é utilizado para gerar um maior destaque das bordas e detalhes da imagem, gerando uma percepção de melhor qualidade na mesma. O Filtro passa-alta também é utilizado no processo de reconstrução por meio da retroprojeção filtrada, visando

reduzir o acúmulo de informações e ruído em baixa frequência.

- **Filtro passa-baixa:** O filtro passa-baixa (*LPF*, do inglês *Low-pass Filter*), é um filtro utilizado para reduzir o efeito de artefatos metálicos na imagem, "cortando" valores que ultrapassem a frequência de corte escolhida.
- **Filtro homomórfico:** O Filtro homomórfico é um filtro utilizado para realçar imagens pelo uso conjunto de filtros passa-altas e passa-baixas. Para essa aplicação os dois filtros citados foram construídos individualmente, a fim de trabalhar com parâmetros diferentes. Porém, ambos os filtros estão atuando com o mesmo objetivo de realce de imagens [2].

### 3.2. Aplicação em Imagens

As imagens utilizadas para a retirada do ruído devido a artefatos metálicos, ou seja entradas do nosso algoritmo, foram as seguintes:



**Fig. 5.** Imagem 1 original, com a presença de artefatos metálicos



**Fig. 6.** Imagem 2 original, com a presença de artefatos metálicos

Em ambas imagens é possível ver que o ruído é apresentado próximo ao centro da imagem e contém raios que precisam ser minimizados. A ideia principal para a retirada deste ruído é criar uma máscara que apresente um componente conexo que represente a posição e intensidade do ruído para que seja aplicado na imagem.

Retirado o ruído é realizado diferentes interpolações em busca de resultado agradáveis e que não comprometa informações da imagem. Logo após a interpolação é feito uma análise para levantar possíveis realces para minimizar ainda mais os efeitos dos raios.

### 3.2.1. Processo da Imagem 1

A solução apresentada para retirar o ruído criado pelo artefato metálico na imagem 1, basea-se da criação de uma máscara, interpolação e realce, tais processos seguem os seguintes passos:

1. Inicialmente foi normalizada a imagem de entrada, com parâmetros que sugerem e crie uma imagem binária.
2. A partir de imagem binária é realizada a rotulação dos componentes conexos da imagem. Utilizando a função do openCV chamada `componentsConected`.
3. Logo após a rotulação, foi realizado o cálculo da porcentagem dos componentes conexos, com isso foi possível perceber que o componentes que maior da imagem é o ruído causado pelo artefato, porém estava conectado com outros componentes.
4. Para a separação desses componentes foi realizado erosões, com um kernel de 9x9.
5. Após a separações dos componentes foi o isolado o maior, ou seja, o ruído, dessa maneira, foi construído a máscara.
6. Um ajuste de dilatação foi necessário para a buscar da melhora do componentes devido a aplicação de erosão no passo 4.
7. Por fim, foi aplicado a máscara na imagem, ou seja, zerado as posições da imagem original de acordo com as posições dos pixels relacionados ao ruído.
8. Com a máscara e imagem com os pixels zerados na posição do ruído, utilizando a função `cv2.inpaint()`, foi feito a interpolação. A função reconstrói a área de imagem selecionada a partir do pixel perto do limite da área.
9. Com o filtro passa-baixa, foi feito a atenuação a contribuição feita pelas baixas frequências (iluminação). Com esse filtro é feito a correção da iluminação não uniforme.
10. Com o filtro passa-alta, foi feito a amplificação feita pelas altas frequências (refletância). Com esse é feito o realce dos contornos da imagem.

11. Finalizando o procedimento, foi feito o realce da estrutura óssea, selecionando a parte da imagem com a função `componentsConected` e somando sobre a imagem filtrada com um valor adequado para não perder o contraste da imagem.

### 3.2.2. Processo da Imagem 2

A solução apresentada para retirar o ruído criado pelo artefato metálico na imagem 2 assim como na imagem 1, basea-se da criação de uma máscara, interpolação e realce, tais processos seguem os seguintes passos:

1. Inicialmente foi normalizada a imagem de entrada, com parâmetros que sugerem e crie uma imagem binária.
2. A partir de imagem binária é realizada a rotulação dos componentes conexos da imagem. Utilizando a função do openCV chamada `componentsConected`.
3. Diferentemente da imagem 1, o ruído causado pelo artefato é o maior componentes da imagem, isso porque a estrutura óssea da cabeça é aparente e possui uma quantidade quantidade de pixels da imagem, com isso é realizado uma seleção desses componentes, com o propósito de retirar esta estrutura.
4. Após a separação do componente do componente que é relacionado ao ruído foi realizado uma dilatação com o propósito de recuperar alguns detalhes referente aos raios causado pelo artefato, iniciado na origem do ruído.
5. Por fim, foi aplicado a máscara na imagem, ou seja, zerado as posições da imagem original de acordo com as posições dos *pixels* relacionados ao ruído.
6. Assim como na imagem 1, com a máscara e imagem com os pixels zerados na posição do ruído, utilizando a função `cv2.inpaint()`, foi feito a interpolação.
7. Com o filtro passa-baixa e passa-alta na imagem, para correção da iluminação não uniforme e realce dos contornos da imagem.
8. E assim como na imagem 1, finalizamos o procedimento, fazendo o realce da estrutura óssea.

## 4. RESULTADOS



Fig. 7. Imagem 1, após a aplicação do processo descrito.

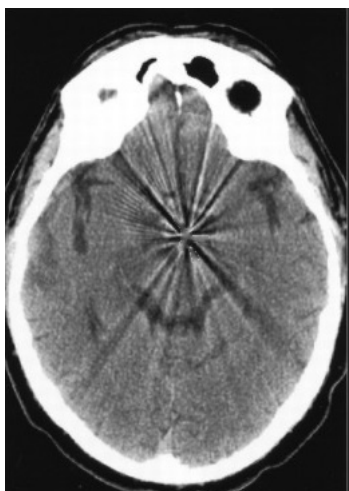


Fig. 8. Imagem 2, após a aplicação do processo descrito

A proposta inicial do projeto era trabalhar com diferentes interpolações para reconstruir a imagem após o processo de remoção do artefato metálico, porém durante o desenvolvimento do projeto percebeu-se que era necessário realizar outros processos na imagem para obter melhores resultados. As seguintes considerações foram anotadas após o processo de desenvolvimento pelo grupo:

### 4.1. Considerações da Imagem 1

- Minimização dos ruídos causados pela presença do artefato;
- Correção da iluminação não uniforme;
- Remoção do artefato;
- Manutenção do contraste original;

### 4.2. Considerações da Imagem 2

- Remoção do artefato;
- Manutenção do contraste original;

## 5. DIFICULDADES

Durante o desenvolvimento do projeto foram encontrados alguns obstáculos para a realização das etapas e dos objetivos propostos, atrasando o planejamento do grupo.

A primeira dificuldade, encontrada logo no início do desenvolvimento das soluções e na etapa de pesquisa e estado da arte, notou-se que encontrar imagens de tomografia que possuíssem interferência de artefatos metálicos e que sejam disponibilizadas de maneira mais confiável, como por exemplo, *datasets* de imagens e fontes confiáveis para uso. Como não foram encontrados *datasets* disponibilizados gratuitamente, o grupo utilizou imagens encontradas em sites e blogs na internet para fazer os testes durante o desenvolvimento.

Outro problema relacionado à falta de imagens para trabalho, é na elaboração do tópico de resultados. Como o ruído de artefatos metálicos é gerado dentro do sistema de imageamento, não é possível obter exatamente a mesma imagem, sem ruídos e artefatos, para comparação e elaboração de métricas como SNR (*Signal to Noise Ratio*), PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) e MSE (*Mean Squared Error*).

A falta de materiais de referência ou algoritmos já implementados disponíveis também é um problema para o desenvolvimento do projeto e para a comunidade médica do geral. Um dos grandes incentivos ao desenvolvimento desse tipo de solução é que os algoritmos desenvolvidos por empresas privadas e os artigos disponibilizados não possibilitam uma reprodução, visto o baixo nível de detalhes técnicos entregues nos artigos.

A remoção dos artefatos gerados por meios automáticos de detecção também se mostrou um grande desafio à equipe.

## 6. REFERENCES

- [1] Woods R. E. Eddins S. L. Gonzalez, R. C. Image databases.
- [2] R. Gonzalez and R. E. Woods. *Digital image processing*. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 2008.
- [3] A. Markoe. *Analytic Tomography*. Encyclopedia of Mathematics and its Applications. Cambridge University Press, 2006.
- [4] R. N. Bryan. *Introduction to the science of medical imaging*, volume 9780521747622. 2009.
- [5] B. De Man, J. Nuyts, P. Dupont, G. Marchal, and P. Suetens. Reduction of metal streak artifacts in x-ray computed tomography using a transmission maximum a posteriori algorithm. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 47(3):977–981, June 2000.
- [6] Alexander Mordvintsev e Abid K. Morphological transformations.
- [7] Doxygen. Image inpainting.