

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA, CIÊNCIAS E LETRAS DE RIBEIRÃO PRETO  
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA

MARCOS SOARES DE OLIVEIRA

**Método combinado para compressão de imagem  
DICOM com normalização de bits e codecs de vídeo**

Ribeirão Preto–SP

2022

MARCOS SOARES DE OLIVEIRA

**Método combinado para compressão de imagem DICOM com  
normalização de bits e codecs de vídeo**

Versão Corrigida

Versão original encontra-se na FFCLRP/USP.

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto (FFCLRP) da Universidade de São Paulo (USP), como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Computação Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Otávio Murta Junior

Ribeirão Preto–SP

2022

MARCOS SOARES DE OLIVEIRA

**Combined method for DICOM image compression with bit  
normalization and video codecs**

Corrected Version

The original version is found at FFCLRP/USP.

Dissertation presented to Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto (FFCLRP) from the Universidade de São Paulo (USP), as part of the requirements to hold the Master of Science degree.

Field of Study: Applied Computing.

Supervisor: Prof. Dr. Luiz Otávio Murta Junior

Ribeirão Preto–SP

2022

Marcos Soares de Oliveira

Método combinado para compressão de imagem DICOM com normalização de bits e codecs de vídeo. Ribeirão Preto–SP, 2022.

57p. : il.; 30 cm.

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da USP, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências,  
Área: Computação Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Otávio Murta Junior

1. DICOM. 2. Compressão. 3. CODEC de vídeo. 4. Normalização.

# Agradecimentos

Agradeço aos membros do grupo de Computação em Sinais e Imagens Médicas(CSIM), por terem me recebido, em especial, ao professor Murta pelo apoio, suporte e paciência, para que pudéssemos enfrentar os inumeros desafios que surgiram ao decorrer dos trabalhos.

Ainda se tratando do CSIM, deixo um agradecimento ao amigo Leonardo, pessoa a qual me ajudou desde os primeiros passos na pós graduação e que juntamente ao colega Mehran, deram um forte incentivo no aprendizado de idiomas, além de bastante apoio técnico.

Agradeço a família por todo o suporte a distancia e aos amigos Tomaz, Renato, Cássia e Cleiton, que se fizeram familia na nova cidade. As amizades que a USP me proporcionou como: Thauana, Iara, Suziane e Ludmilla pelo apoio moral e emocional, além de tantas outras pessoas que os anos de moradia e departamentos trouxeram.

Por fim, a Universidade de São Paulo e a CAPES pelo apoio logístico e financeiro, e a varios colegas e alguns ex professores os quais conheci na Universidade Estadual do Piauí durante a graduação, e mesmo após tanto tempo, continuamos mantendo apoio tecnico uns aos outros.

# Resumo

Os esforços para criação de um padrão propiciaram a criação do DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), caracterizando-se como um protocolo não só de informações em geral, mas também de imagens por meio físico e de rede. Com o passar dos anos a quantidade de dados produzidos em hospitais vem aumentando exponencialmente. No Brasil, o conselho federal de medicina, por meio da resolução nº 1.821/2007, artigo 7, determina que dados de prontuário digitalizados ou microfilmados devem ser permanentemente armazenados.

Além do fator armazenamento, há também um grande desafio para transmissão e disponibilidade por parte dos profissionais de saúde, que muitas das vezes necessitam de acesso instantâneo as imagens. Essa dificuldade pode ser suprimida por meio de técnicas de compressão de imagens capazes de preservar as informações clinicamente importantes, podendo também haver alguma perda de informação no processo.

Esse trabalho avalia um método combinado para compressão e descompressão de imagens DICOM baseado em um processo que combina uma técnica de normalização e codecs de vídeo, compatível com o padrão DICOM. Para construção do trabalho foi aplicado tecnologias como Python, Cython e a ferramenta FFMPEG, as imagens utilizadas estão presentes na base de dados online livre *The Cancer Imaging Archive (TCIA)*.

A avaliação de desempenho do método se deu pelas metrcas seguintes: PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*), MSE (*Mean Square Error*), TC (taxa de compressão), SSIM (*Structural Similarity Index Measure*) e CC (*Correlation Coefficient*), nessa ordem de importancia. Os resultados encontrados sugerem que é possível a aplicação do método com a combinação *bitrate*(Mbps) 120, FPS 60, *codec* H264 e imagem PNG. Essa combinação trouxe os melhores resultados quando aplicado às duas modalidades de imagem testadas, ressonância magnética(*MRI*) e tomografia computadorizada(*CT*), a saber, para a *MRI* foi obtido PSNR 77.02, MSE 144.65, além disso, foi obtido uma TC 5.46 contra uma TC 2.43 quando aplicado JPEG-LS e TC 2.51 quando aplicado J2K a mesma *MRI*. Já para *CT* foi obtido PSNR 82.10, MSE 27.75, foi também obtido uma TC 8.14 contra uma TC do método JPEG-LS 3.36 e o método J2k 3.2, quando aplicados à mesma série de imagem.

**Palavras-chave:** DICOM, Compressão, CODEC de vídeo, Normalização.

# Abstract

Efforts to create a standard led to the creation of DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), characterized as a protocol for information in general and images through physical and network media. Over the years, the amount of data produced in hospitals has increased exponentially. In Brazil, through Resolution No. 1,821/2007, article 7, the Federal Council of Medicine determines that digitized or microfilmed medical record data must be permanently stored.

In addition to the storage factor, there is also an excellent challenge for transmission and availability by health professionals, who often need instant access to images. This difficulty can be suppressed through image compression techniques capable of preserving clinically significant information, and there may also be some loss of information in the process.

This work evaluates a combined method for compression and decompression of DICOM images based on a process that combines a normalization technique and video codecs, compatible with the DICOM standard and capable of preserving important structures in the image. Different programming languages and technologies such as Python, Cython and the FFMPEG tool were used, the images used were found in the free online database *The Cancer Imaging Archive (TCIA)*.

The following metrics provides the method's performance evaluation: PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio), MSE (Mean Square Error), CR (Compression Rate), SSIM (Structural Similarity Index Measure), and CC (Correlation Coefficient), in that order of importance. The results suggest that it is possible to apply the method with the combination of bitrate(Mbps) 120, FPS 60, codec H264 and PNG image. This combination brought the best results when applied to the two imaging modalities tested, MRI and CT, namely, for MRI it was obtained PSNR 77.02, MSE 144.65, in addition, it was obtained a CR 5.46 against a CR 2.43 when applied JPEG-LS and 2.51 CR when applied J2K to the same MRI. For CT, PSNR 82.10, MSE 27.75 was obtained, CR 8.14 was also obtained against a CR of the JPEG-LS method 3.36 and the J2k method 3.2 when applied to the same series of images.

**Keywords:** DICOM, Compression, video CODEC, Normalization.

# Lista de Figuras

|          |   |   |    |
|----------|---|---|----|
| Figura 1 | – | Processo de extração do vídeo do padrão DICOM, extração de frames do vídeo e reconstrução da imagem DICOM. Fonte: Autor. . . . .  | 21 |
| Figura 2 | – | Processo de extração do vídeo do padrão DICOM, extração de quadros de vídeo e reconstrução da imagem DICOM. Fonte: Autor. . . . . | 23 |
| Figura 3 | – | Resultados obtidos com variações do método aplicado à ressonância magnetica. Fonte: Autor. . . . .                                | 38 |
| Figura 4 | – | Resultados obtidos com variações do método aplicado à tomografia computadorizada. Fonte: Autor. . . . .                           | 40 |

# Lista de Tabelas

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabela 1  | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 30$ , FPS = 60 . . . . .   | 26 |
| Tabela 2  | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 60$ e FPS = 60 . . . . .   | 26 |
| Tabela 3  | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 120$ , FPS = 60 . . . . .  | 27 |
| Tabela 4  | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 240$ , FPS = 60 . . . . .  | 27 |
| Tabela 5  | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 30$ , FPS = 120 . . . . .  | 27 |
| Tabela 6  | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 60$ , FPS = 120 . . . . .  | 28 |
| Tabela 7  | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 120$ , FPS = 120 . . . . . | 28 |
| Tabela 8  | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 240$ , FPS = 120 . . . . . | 29 |
| Tabela 9  | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 30$ , FPS = 240 . . . . .  | 29 |
| Tabela 10 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 60$ , FPS = 240 . . . . .  | 30 |
| Tabela 11 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 120$ , FPS = 240 . . . . . | 30 |
| Tabela 12 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 240$ , FPS = 240 . . . . . | 31 |
| Tabela 13 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 30$ , FPS = 60 . . . . .   | 31 |
| Tabela 14 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 60$ , FPS = 60 . . . . .   | 32 |
| Tabela 15 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 120$ , FPS = 60 . . . . .  | 32 |
| Tabela 16 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 240$ , FPS = 60 . . . . .  | 33 |
| Tabela 17 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 30$ , FPS = 120 . . . . .  | 33 |
| Tabela 18 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 60$ , FPS = 120 . . . . .  | 33 |
| Tabela 19 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 120$ , FPS = 120 . . . . . | 34 |
| Tabela 20 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 240$ , FPS = 120 . . . . . | 34 |
| Tabela 21 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 30$ , FPS = 240 . . . . .  | 35 |
| Tabela 22 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 60$ , FPS = 240 . . . . .  | 35 |
| Tabela 23 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 120$ , FPS = 240 . . . . . | 35 |
| Tabela 24 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 240$ , FPS = 240 . . . . . | 36 |
| Tabela 25 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 30$ , FPS = 60 . . . . .   | 47 |
| Tabela 26 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 60$ , FPS = 60 . . . . .   | 48 |
| Tabela 27 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 120$ , FPS = 60 . . . . .  | 48 |
| Tabela 28 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 240$ , FPS = 60 . . . . .  | 49 |
| Tabela 29 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 30$ , FPS = 120 . . . . .  | 49 |
| Tabela 30 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 60$ , FPS = 120 . . . . .  | 49 |
| Tabela 31 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 120$ , FPS = 120 . . . . . | 50 |
| Tabela 32 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 240$ , FPS = 120 . . . . . | 50 |
| Tabela 33 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 30$ , FPS = 240 . . . . .  | 51 |
| Tabela 34 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 60$ , FPS = 240 . . . . .  | 51 |
| Tabela 35 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 120$ , FPS = 240 . . . . . | 51 |
| Tabela 36 | – Resultados com $bitrate(Mbps) = 240$ , FPS = 240 . . . . . | 52 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela 37 – Resultados com $bitrate(Mbps) = 30$ , FPS = 60 . . . . .   | 52 |
| Tabela 38 – Resultados com $bitrate(Mbps) = 60$ , FPS = 60 . . . . .   | 53 |
| Tabela 39 – Resultados com $bitrate(Mbps) = 120$ , FPS = 60 . . . . .  | 53 |
| Tabela 40 – Resultados com $bitrate(Mbps) = 240$ , FPS = 60 . . . . .  | 54 |
| Tabela 41 – Resultados com $bitrate(Mbps) = 30$ , FPS = 120 . . . . .  | 54 |
| Tabela 42 – Resultados com $bitrate(Mbps) = 60$ , FPS = 120 . . . . .  | 55 |
| Tabela 43 – Resultados com $bitrate(Mbps) = 120$ , FPS = 120 . . . . . | 55 |
| Tabela 44 – Resultados com $bitrate(Mbps) = 240$ , FPS = 120 . . . . . | 55 |
| Tabela 45 – Resultados com $bitrate(Mbps) = 30$ , FPS = 240 . . . . .  | 56 |
| Tabela 46 – Resultados com $bitrate(Mbps) = 60$ , FPS = 240 . . . . .  | 56 |
| Tabela 47 – Resultados com $bitrate(Mbps) = 120$ , FPS = 240 . . . . . | 56 |
| Tabela 48 – Resultados com $bitrate(Mbps) = 240$ , FPS = 240 . . . . . | 57 |

# Lista de abreviaturas e siglas

ACR American College of Radiology

NEMA National Electrical Manufacturers Association

# Sumário

|       |  |           |
|-------|--|-----------|
| 1     | INTRODUÇÃO . . . . .   | 14        |
| 1.1   | O Padrão DICOM . . . . .   | 15        |
| 1.2   | Compressão de imagens . . . . .  | 15        |
| 2     | TRABALHO RELACIONADOS . . . . .  | 17        |
| 3     | OBJETIVOS . . . . .  | 19        |
| 3.1   | Hipótese . . . . .   | 19        |
| 4     | MATERIAIS E MÉTODOS . . . . .  | 20        |
| 4.1   | Base de dados . . . . .  | 20        |
| 4.2   | Extração e Normalização . . . . .  | 20        |
| 4.3   | Criação do vídeo . . . . .   | 22        |
| 4.4   | Compressão do vídeo . . . . .  | 22        |
| 4.5   | Linguagens de desenvolvimento . . . . .  | 23        |
| 4.6   | Descompressão do vídeo e das frames do vídeo . . . . .   | 24        |
| 4.7   | Reconstrução do DICOM . . . . .  | 24        |
| 5     | RESULTADOS E DISCUSSÕES . . . . .  | 25        |
| 5.1   | Avaliação de Resultados obtidos com o método aplicado à Res-<br>sonância Magnética . . . . .         | 25        |
| 5.2   | Avaliação de Resultados obtidos com o método aplicado à To-<br>mografia Computadorizada . . . . .    | 31        |
| 5.3   | Considerações . . . . .  | 36        |
| 6     | CONCLUSÃO . . . . .  | 41        |
| 6.1   | Publicações . . . . .  | 42        |
|       | Referências Bibliográficas . . . . .   | 43        |
|       | <b>APÊNDICES</b>   | <b>46</b> |
|       | <b>APÊNDICE A – RESULTADOS COMPLEMENTARES . . . . .</b>  | <b>47</b> |
| A.1   | Avaliação de Resultados em DICOM com ruídos . . . . .  | 47        |
| A.1.1 | Avaliação de Resultados obtidos com o método aplicado à Ressonância<br>Magnética com Ruído . . . . . | 47        |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| A.1.2 | Avaliação de Resultados obtidos com o método aplicado à Tomografia<br>Computadorizada com Ruído . . . . . | 52 |
|-------|---|----|

---

# Introdução

Na década de 70 foi introduzida a tomografia computadorizada seguida de várias outras modalidades de imagem de diagnóstico digital e o uso de computadores para aplicações médicas aumentaram, com isso o *American College of Radiology (ACR)* e a *National Electrical Manufacturers Association (NEMA)* tomaram conhecimento da necessidade da criação de um método padrão para transferência de imagens e informações entre dispositivos fabricados por diversos fabricantes (RUI; HUANG; CHANG, 1999; ZHANG; GE; WANG, 2008).

Os esforços para criação de um padrão propiciaram a criação do DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), caracterizando-se como um protocolo não só de informações em geral, mas também de imagens por meio físico e de rede (NDONG et al., 2015).

Com o passar dos anos a quantidade de dados produzidos em hospitais vem aumentando exponencialmente. No Brasil, o conselho federal de medicina, por meio da resolução nº 1.821/2007, artigo 7, determina que dados de prontuário digitalizados ou microfilmados devem ser permanentemente armazenados (CFM, 2007). O trabalho Kumari (PANDIAN; KUMARI et al., 2020), explica que em média um hospital chega a armazenar entre 5 GB e 15 GB de dados clínicos por paciente.

Além do fator armazenamento, há também um grande desafio para transmissão e disponibilidade para os profissionais de saúde, que muitas das vezes necessitam de acesso instantâneo as imagens. Essa dificuldade pode ser suprimida por meio de técnicas de compressão de imagens capazes de preservar as informações clinicamente importantes, podendo também haver alguma perda de informação no processo (EL JAOUHARI et al., 2019; DEVI; VIDHYA, 2007).

Na comunidade científica vemos vários autores com algoritmos de JPEG-LS, J2K (JPEG 2000), baseados em região de interesse e com *wavelet*. Por outro lado, observamos uma lacuna: como combinar o padrão DICOM com *codecs* de vídeos presentes na comunidade

---

e utilizar-se da sua capacidade de compressão unida a uma técnica de normalização de bits para reduzir o tamanho dos arquivos DICOM.

## 1.1 O Padrão DICOM

Criado em 1993, o padrão DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), foi criado para permitir a disponibilidade de todas as informações. DICOM é um padrão com funcionalidades avançadas que ajuda vários processos, enquanto o PACS (*Picture Archiving and Communication Systems*) é o sistema usado para armazenar dados de imagens médicas. A não conformidade de dispositivos com o padrão DICOM pode causar sérios riscos como a perda indetectável da imagem, aumento no tempo de exame e nos custos no centro de saúde podendo resultar no tratamento incorreto do paciente (TRIVEDI et al., 2019; HERRMANN et al., 2018; WARNOCK et al., 2007; BRUSAN; DURMAZ; OZTURK, 2021).

## 1.2 Compressão de imagens

Os algoritmos de compressão de imagens podem ser divididos em dois grupos: compressão com perda e compressão sem perda. Os métodos de compressão sem perda permitem a recuperação total dos dados. Os métodos de compressão sem perda tem grande aplicação no campo médico, entretanto, a compressão destes métodos tendem a ser baixos. Um exemplo de método sem perdas é o JPEG-LS (PANDEY et al., 2020; SUBRAMANYA, 2001).

Os métodos de compressão com perda, por outro lado, caracterizam-se por serem métodos irreversíveis e possuem um comportamento favorável de uso por permitirem grandes taxas de compressão quando comparado aos métodos sem perda. Um exemplo de algoritmo com perdas é o JPEG (KAUSHIK; GUPTA, 2012).

Sabendo que um vídeo é uma longa sequência de imagens, algoritmos de compressão também podem ser aplicados. A compressão de vídeo lida com a redução do número de bits necessários para o processamento de uma sequência de imagens. Alguns exemplos de algoritmos são: H264, H265 e VP9 (JOSHI et al., 2014; KAHU; RAUT; BHURCHANDI, 2019).

O H264 foi criado em 2003 por *VCEG (ITU-T Video Coding Experts Group)* e *MPEG (ISO/IEC Moving Picture Experts Group)*. Criado como uma melhoria do MPEG-4 o H264 mostra ganho de 50% de eficiência quando comparado aos dois antecessores, MPEG-2 e MPEG-4 (ZENG; ZHANG; SHI, 2016; KU et al., 2006). O H264 inclui algumas

---

melhorias como: uma transformada simplificada, blocos de tamanho variado, codificação de entropia adaptável, além disso, também há uma nova técnica de predição *intra-frame* a qual usa os valores dos pixels da vizinhança para prever os blocos de codificação(ZENG; ZHANG; SHI, 2016).

Com o aumento da demanda por vídeo de alta qualidade em 2010 o mesmo grupo criador do H264 lançou o codec H265. O H265 trouxe várias vantagens na eficiência comparado ao seu antecessor, dentre eles, uma maior flexibilidade na estrutura de blocos passando de  $16 \times 16$  para  $64 \times 64$ , uma previsão avançada de vetor de movimento (*AMVP*), uma melhoria na predição de luminosidade *intra-frame*, codificação com entropia, paralelismo e redução de distorção via uma técnica de *adaptive offset* (ZENG; ZHANG; SHI, 2016; SULLIVAN et al., 2012).

Em 2011 o google iniciou o desenvolvimento de um novo textitcodec. Conhecido como VP9, a ideia nasceu a partir de seu antecessor, o VP8, e tinha como meta a criação de um formato que produz um fluxo de bits mais compacto, em especial para conteúdo de alta definição. O VP9 utiliza uma técnica de blocos com o tamanho de  $64 \times 64$  pixels e decompõe os blocos recursivamente até atingir o valor mínimo de  $4 \times 4$  pixels. Para a predição *intra-frame* o VP9 usa 10 modos com blocos que vão desde o tamanho  $4 \times 4$  até  $32 \times 32$  pixels, enquanto a predição *inter-frame* pode utilizar tamanhos desde  $4 \times 4$  até  $64 \times 64$  pixels. Diferente dos *codecs* citados anteriormente, H264 e H265, o VP9 usa várias transformações, a saber: transformada discreta de cosseno (DCT), transformada de seno discreta assimétrica (ADST) e transformada de Walsh-Hadamard (WHT)(MUKHERJEE et al., 2015; LAYEK et al., 2017).

---

## Trabalho Relacionados

Na literatura há alguns trabalhos relacionados, entre métodos sem perda e com perda, como é o caso do método apresentado em *Hussien et al*(HUSSIEN, 2019). O método em questão utiliza uma rede neural recorrente (RNN), foi desenvolvido em matlab e possui baixa taxa de compressão e perda de informação, além disso, o trabalho não leva em consideração o padrão DICOM, resumindo se à execução em imagens já convertidas para outro padrão, 8 bits, escala de cinza.

*Rahmat e Rathod*(RAHMAT et al., 2019) em sua pesquisa, ilustram uma análise da técnica de codificação por Huffman, onde a taxa de compressão é influenciada por vários fatores, como, o número de símbolos ou nó inicial usado para criar a árvore de prefixo e o padrão de espalhamento *BFD* (*byte frequency distribution*) do arquivo compactado.

O estudo apresentado em *Pole et al*(POLE; SHRIRAM, 2018), mostra que o uso de *High Efficiency Coding Standard (HEVC)* para compressão de imagens DICOM em vídeo pode diminuir a quantidade de espaço de armazenamento necessário, bem como o custo de transmissão, através do seu mecanismo de detecção intra e inter-*frame*.

A pesquisa ilustrada em *Yan et al*(YAN; LI; DAI, 2019), detalha a avaliação de alguns métodos de compressão com *codecs* de vídeo em imagens de *cone bean CT*. Os métodos avaliados são: Motion JPEG 2000, AVI e MPEG-4. O método avaliado como melhor caso foi o MPEG-4, o qual resultou em uma maior taxa de compressão e menor taxa de erro, entretanto neste método houve uma falha causada por deslocamento de pixels este que chegaram até a 0.35 mm.

O artigo descrito em CPTAC(SELVI; NADARAJAN, 2010), apresenta um método baseado em interpolação bilinear, a imagem é dividida em blocos de tamanho ( $m \times n$ ) e dependendo de sua variância são classificados como significativo ou insignificante, a diferença entre a imagem original e a imagem interpolada é calculada e a diferença é transmitida junto com os pixels do canto e os dados do cabeçalho, ao fim, os resultados experimentais, ilustram boa taxa de compressão e PSNR.

Na literatura é possível encontrar estudos comparativos de *codecs* como é o caso apresentado por *Akyazi et. al.* (AKYAZI; EBRAHIMI, 2018). O estudo ilustra um comparativo entre os *codecs* H265, Vp9 e AV1, onde, nas condições de testes propostas, houve uma perceptível melhora do codec AV1 em relação ao VP9, exceto em altas taxas de transferência de bits (*bitrate*), caso onde não demonstraram diferença considerável. O H265 também ilustrou melhora considerável comparado ao VP9, apresentando a mesma tendência de proximidade de resultados quando usado com alto *bitrate*.

*UHL* (UHL et al., 2018), por sua vez, fez uma comparação entre os *codecs* H264, H265 e VP9 aplicada a IPTV. A avaliação demonstrou que os *codecs* H265 e VP9 entregaram os melhores resultados em ambientes com perda e sem perda. *Barman* (BARMAN; MARTINI, 2017), realizou um estudo semelhante, com os mesmos *codecs*, porém aplicando a streaming de jogos. Ao comparar os 3 *codecs*, nesse ambiente o autor notou que o H265 obteve melhor resultado que ambos H264 e VP9, e que a diferença de qualidade também reduz a medida que o *bitrate* dos *codecs* é aumentado.

---

## Objetivos

O objetivo desse trabalho é avaliar um método combinado para compressão e descompressão de imagens DICOM baseado em um processo que combina uma técnica de normalização e *codecs* de vídeo, compatível com o padrão DICOM e capaz de preservar estruturas importantes na imagem.

### 3.1 Hipótese

A hipótese do trabalho é que o método avaliado poderá produzir uma alta TC (taxa de compressão) (BINDU; GANPATI; SHARMA, 2012), altos valores nas métricas de similaridade PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*) (HORE; ZIOU, 2010), SSIM (*Structural Similarity Index Measure*) (HORE; ZIOU, 2010) e CC (*Correlation Coefficient*) (GANTI, 2020), e baixos valores de perda na métrica MSE (*Mean Square Error*) (HORE; ZIOU, 2010), utilizando uma técnica adaptativa de normalização e desnormalização aplicada a imagem DICOM, para criação de imagens em formatos menores, encapsulamento em vídeo e compressão com *codecs* de vídeo.

---

# Materiais e Métodos

## 4.1 Base de dados

O *dataset* utilizado para os testes é público, disponibilizado na base de dados online *The Cancer Imaging Archive (TCIA)* (CLARK et al., 2013), e composto por duas modalidades, um *MRI* e um *CT*. O *MRI*, contém dados do Consórcio de análise de tumor proteômico clínico do National Cancer Institute Glioblastoma Multiforme (*National Cancer Institute's Clinical Proteomic Tumor Analysis Consortium Glioblastoma Multiforme (CPTAC-GBM)*), é composto por 211 imagens de aproximadamente 518KB cada, totalizando cerca de 106MB de dados, cada fatia (textitslice) possui 512x512 pixels com espessura de 2mm((CPTAC), 2018) e a descrição do estudo é *MR BRAIN WO+W CONTRAST*. O *CT*, também presente na mesma base de dados é chamado de *Pseudo-PHIDICOM-Data*, um conjunto de dados DICOM para avaliação de desidentificação de imagens médicas, composto por 152 imagens de aproximadamente 514KB cada somando cerca de 76.3MB com 2.5mm de espessura(RUTHERFORD et al., 2021) e a descrição do estudo é *PARENCHYMAL PHASE Sep1999*.

## 4.2 Extração e Normalização

A primeira parte do método proposto, a compressão, é ilustrada pelo fluxograma na figura 1, e seu detalhamento inicia-se nessa seção.

O fluxograma ilustrado na figura 1 representa a primeira etapa do método, a compressão. A etapa de compressão se inicia com a leitura dos arquivos DICOM e extração das imagens, etapa esta que possui localização especificada por uma *tag* no DICOM. Os dados restantes, também com localização especificadas por tags, como a modalidade do exame, a espessura, data do exame e outros, não são modificadas e ficam armazenados em um novo DICOM sem a imagem para posterior utilização. Junto aos DICOMs com as

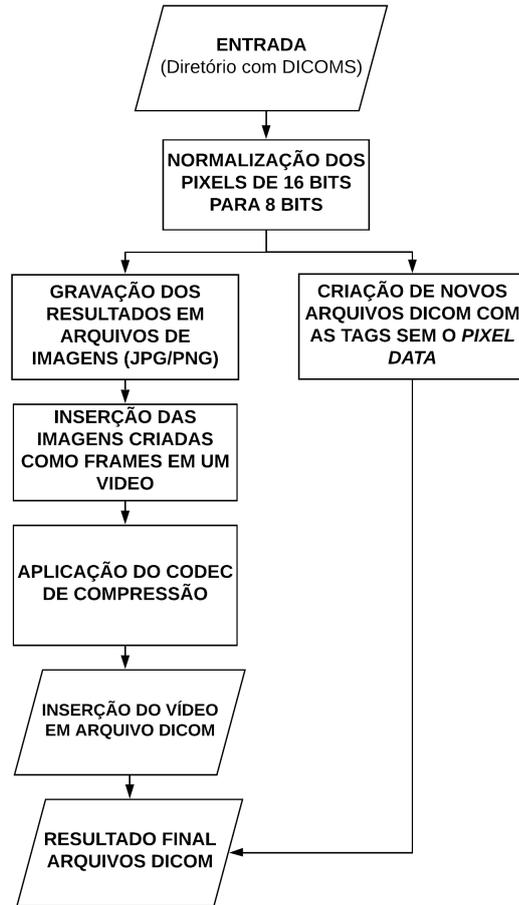


Figura 1 – Processo de extração do vídeo do padrão DICOM, extração de frames do vídeo e reconstrução da imagem DICOM. Fonte: Autor.

*tags*, cada arquivo também possui em seu nome o valor de pixel máximo ( $max_I$ ) e mínimo ( $min_I$ ) de sua respectiva imagem.

Para formar o vídeo é necessário extrair e converter cada imagem dentro do padrão DICOM para um outro formato, o qual será cada frame de vídeo, sabendo que cada uma dessas imagens DICOM é composta por pixels de 16 bits e que para formar frames de vídeo é necessário imagens de 8 bits, o método proposto aplica uma função matemática baseada no método *Rescale image intensity* presente na toolkit ITK (IBANEZ et al., 2003) para conversão dos pixels originais. A função que normaliza o espaço de pixels é ilustrado na equação 4.1.

$$result_{(x,y)} = (I_{(x,y)} - min_I) \times \left( \frac{rMax - rMin}{max_I - min_I} \right) + rMin \quad (4.1)$$

, onde  $I_{(x,y)}$  é o pixel na posição (x,y),  $rMax$  é igual a 255, o valor máximo para intervalo o escolhido, enquanto  $rMin$  é igual a 0, o valor mínimo, além disso  $max_I$  e  $min_I$  são respectivamente o maior e menor valor na matriz da imagem.

Esta equação é capaz de realizar a normalização para 8 bits, entretanto, nota-se uma perda de informações de pixels devido a conversão dos valores resultantes, estes com

valores decimais, para números inteiros. Acontece que, ao realizar a conversão entre os tipos de variáveis diretamente, nota-se um corte de todos os números após a virgula, por outro lado, para reduzir o erro, a função *cast* 4.2 é aplicada no valor resultante da função 4.1 para a obtenção de um comportamento de aproximação.

$$novaIMG_{(x,y)} = (integer) (result_{(x,y)} + 0.5) \quad (4.2)$$

Ao finalizar esta etapa de normalização, o método resulta em imagens de 2 tipos de extensão, JPG e PNG, estes compatíveis para a criação do vídeo.

### 4.3 Criação do vídeo

Para esta etapa, é utilizado a ferramenta FFMPEG (FFMPEG, 2021) para criação e aplicação dos *codecs*, cujo nome significa um conjunto de codificador/decodificador, para compressão. No passo inicial, todas as imagens criadas são inseridas como frames em um vídeo, além disso é passado como parâmetro a taxa de frames por segundo para a sua criação, foi escolhido 3 valores para os testes, 60, 120 e 240 FPS. Os valores foram escolhidos com base em plataformas de streaming, jogos e vídeos de alta qualidade presentes na comunidade.

### 4.4 Compressão do vídeo

Após a criação do vídeo inicial é aplicado os *codecs* para compressão. Nesta etapa foi escolhido 3 *codecs*: H264, H265 e VP9. Além dos *codecs*, faz é usado o parâmetro *bitrate*, onde é aplicado varios valores para controle de qualidade do video final. Sabendo que o *bitrate* representa a quantidade de dados transmitidos durante um intervalo de tempo e que o aumento desses valores resultam em um video final com mais qualidade, foi utilizado como base o valor 30 Mbps conhecido em plataformas de *streaming* de vídeo, os valores escolhidos para os testes são: 30 Mbps, 60 Mbps, 120 Mbps e 240 Mbps.

Ao final desse passo, o vídeo comprimido, é então inserido em um arquivo DICOM, juntando-se aos demais arquivos DICOM anteriores, finalizando todo o processo de compressão.

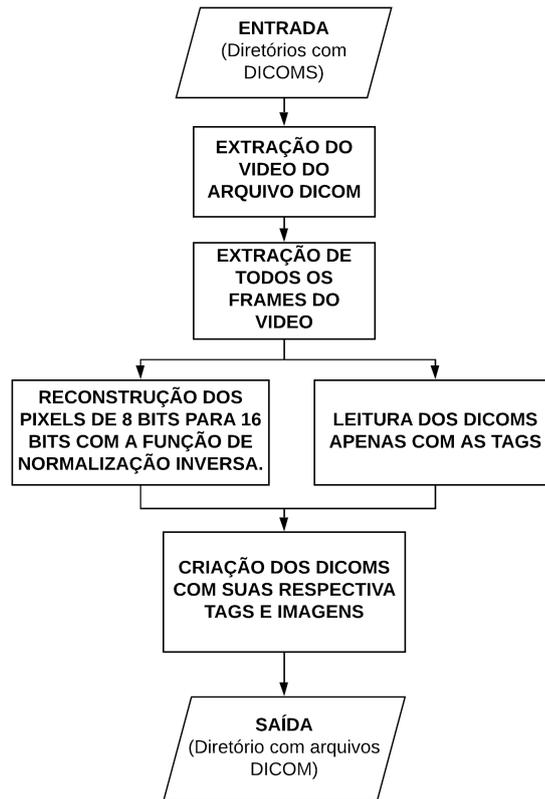


Figura 2 – Processo de extração do vídeo do padrão DICOM, extração de quadros de vídeo e reconstrução da imagem DICOM. Fonte: Autor.

## 4.5 Linguagens de desenvolvimento

Para a construção do trabalho foi utilizado as linguagens Python e Cython. A escolha do python se deu por ser uma linguagem de alto nível com diversas bibliotecas prontas disponibilizadas pra leitura de arquivos DICOM, como é o caso da biblioteca Pydicom. O Python também facilita a criação de interface para usuario e a execução de binários externos via linha de comando, como é o caso da ferramenta FFMPEG. Por um outro lado, para execução de tarefas que requerem mais performance, como o caso do processamento de imagem DICOM no trabalho, a linguagem pode não ser a ideal, neste caso, para processar os pixels das imagens com mais performance foi feito uma conexão com outra linguagem, a linguagem Cython, uma linguagem compilada a qual é possível escrever o código com sintaxe semelhante ao Python com algumas modificações, mas com o propósito de fornecer performance semelhante à linguagem C.

## 4.6 Descompressão do vídeo e das frames do vídeo

O processo de descompressão, ilustrado pela figura 2, inicia-se pela extração do vídeo contido no arquivo DICOM, seguido da extração de todos os *frames* do vídeo. Para extração dos *frames* foi utilizada a ferramenta FFMPEG(FFMPEG, 2021), a qual possibilitou salvar no formato PNG ou JPG.

## 4.7 Reconstrução do DICOM

Cada *frame* extraída é então reconstruída por meio da equação 4.3.

$$f_{pixel} = \frac{I_{(x,y)}}{\left(\frac{rMax-rMin}{max_I-min_I}\right)} + min_I \quad (4.3)$$

, onde  $I_{(x,y)}$  é o pixel na posição (x,y),  $rMax$  é igual a 255, e  $rMin$  é igual a 0. Na reconstrução os valores para  $max_I$  e  $min_I$  estão presentes no nome de cada DICOM correspondente a imagem em reconstrução. Realizado a reconstrução, as imagens e as tags são unidas e formam os novos arquivos DICOM, prontos para o uso.

---

## Resultados e Discussões

A avaliação dos resultados foi realizada com as métricas de similaridade PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio), MSE (Mean Square Error), SSIM (Structural Similarity Index Measure) e CC (Coeficiente de Correlação), além disso também é utilizado como métrica a taxa de compressão (TC) e por fim é demonstrado o tempo total em segundos de execução para compressão e descompressão. O computador utilizado como base nos testes é uma máquina com processador AMD Ryzen 7 3.7GHz, 32GB de RAM, HD Sata 1TB 7200 RPM.

Dado o conjunto de *codecs*: H264, VP9 e H265; os valores de FPS: 60, 120, 240; Os valores de Bit Rate: 30, 60, 120 e 240 Mbps; E os formatos de imagens intermediários PNG e JPG, temos 72 combinações possíveis que são explicadas nas tabelas a seguir.

### 5.1 Avaliação de Resultados obtidos com o método aplicado à Ressonância Magnética

Os resultados ilustrados nessa seção foram obtidos com a aplicação do método no *dataset CPTAC-GBM*((CPTAC), 2018).

A tabela 1 ilustra resultados para *bitrate* 30 Mbps e FPS 60. As configurações propostas para esse teste demonstram resultados bem próximos nas métricas, em especial as métricas SSIM, CC e a TC ilustram o mesmo valor, enquanto as métricas, PSNR e MSE demonstram diferenças, sendo a maior delas no MSE entre os métodos que usam o formato JPG e PNG, onde, a configuração com a imagem PNG resultou em um menor erro demonstrado na métrica MSE, com destaque para o codec H265 com PNG. Nota-se também que apesar de possuir os melhores valores nas métricas de similaridade para este teste o H265 com PNG não possui a maior taxa de compressão, a maior taxa de

Tabela 1 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 30$ ,  $FPS = 60$ 

| JPG   |              |              |               |             |             |                      |
|-------|--------------|--------------|---------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC           | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 7.60         | 71.51        | 515.01        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 12                   |
| VP9   | <b>10.34</b> | 66.79        | 1618.05       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 43                   |
| H265  | 8.08         | 73.19        | 355.00        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 20                   |
| PNG   |              |              |               |             |             |                      |
| Codec | TC           | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 7.63         | 72.70        | 395.80        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 44                   |
| VP9   | <b>10.34</b> | 66.87        | 1587.49       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 74                   |
| H265  | 8.11         | <b>74.56</b> | <b>269.07</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 52                   |

compressão foi encontrada com o codec VP9 usando JPG e PNG, gerando um valor igual a 10.34.

Tabela 2 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 60$  e  $FPS = 60$ 

| JPG   |             |              |               |             |             |                      |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 5.25        | 74.73        | 244.07        | 0.99        | 0.99        | 12                   |
| VP9   | 5.71        | 70.84        | 644.15        | 0.99        | 0.99        | 64                   |
| H265  | 6.13        | 74.42        | 273.05        | 0.99        | 0.99        | 21                   |
| PNG   |             |              |               |             |             |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 5.51        | <b>76.90</b> | <b>149.83</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 44                   |
| VP9   | 5.78        | 71.29        | 598.76        | 0.99        | 0.99        | 92                   |
| H265  | <b>6.51</b> | 76.12        | 197.90        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 52                   |

A tabela 2 ilustra resultados para  $bitrate$  60 Mbps e FPS 60. Os testes com essa configuração ilustram um resultado diferente quando comparado ao anterior, apesar de manter o formato de imagem PNG no melhor resultado, o *codecs* H264 se saiu melhor com as configurações escolhidas pra este teste, é observado que foi possível obter valor máximo em SSIM e CC, a saber, valor 1, além disso é verificado que ocorreu um aumento da taxa de compressão em comparação ao codec com os melhores valores nos índices de similaridade da tabela 1, porém, em contrapartida, o valor da taxa de compressão 6.51 do melhor caso presente na tabela 2 é inferior ao maior valor de compressão exibido na tabela 1, que foi gerado com o codec VP9 mas que possui os piores valores nos índices de similaridade PSNR e MSE.

A tabela 3 ilustra resultados para  $bitrate$  120 Mbps e FPS 60. Os resultados com esta configuração ilustrados mostram mais uma vez uma superioridade do H264 com PNG em relação aos demais, um outro dado visualizado é que apesar de obter os melhores valores nas métricas de similaridade o H264 possui uma taxa de compressão inferior ao seu concorrente direto, o H265, nas tabelas 2 e 3, outro dado observado, é que os valores de resultados do H265 com PNG nas tabelas 2 e 3 ilustram pequena diferença apenas na métrica MSE, enquanto as demais métricas permaneceram iguais.

Tabela 3 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 120$ ,  $FPS = 60$ 

| JPG   |             |              |               |             |             |                      |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 5.21        | 74.81        | 238.91        | 0.99        | 0.99        | 12                   |
| VP9   | 3.21        | 73.00        | 424.37        | 0.99        | 0.99        | 91                   |
| H265  | 6.12        | 74.43        | 272.67        | 0.99        | 0.99        | 21                   |
| PNG   |             |              |               |             |             |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 5.46        | <b>77.02</b> | <b>144.65</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 44                   |
| VP9   | 3.13        | 74.73        | 327.73        | 0.99        | 0.99        | 120                  |
| H265  | <b>6.51</b> | 76.12        | 197.68        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 52                   |

Tabela 4 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 240$ ,  $FPS = 60$ 

| JPG   |             |              |               |             |             |                      |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 5.21        | 74.81        | 238.91        | 0.99        | 0.99        | 12                   |
| VP9   | 2.11        | 74.46        | 341.69        | 0.99        | 0.99        | 62                   |
| H265  | 6.12        | 74.43        | 272.67        | 0.99        | 0.99        | 21                   |
| PNG   |             |              |               |             |             |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 5.46        | <b>77.02</b> | <b>144.65</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 44                   |
| VP9   | 2.17        | 76.85        | 255.35        | 0.99        | 0.99        | 93                   |
| H265  | <b>6.51</b> | 76.12        | 197.68        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 52                   |

A tabela 4 ilustra resultados para  $bitrate$  240 Mbps e FPS 60. Os resultados para essa configuração ilustram de forma mais clara um comportamento verificado na tabela 3, porém desta vez em dois *codecs*, na tabela 4 verificamos que o H264 e H265 com os dois formatos de imagem repetem os mesmos resultados nas métricas apesar da mudança de configuração.

Tabela 5 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 30$ ,  $FPS = 120$ 

| JPG   |              |              |               |             |             |                      |
|-------|--------------|--------------|---------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC           | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 13.84        | 67.09        | 1458.02       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 12                   |
| VP9   | 17.32        | 62.77        | 4172.72       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 36                   |
| H265  | 14.32        | 70.44        | 687.33        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 19                   |
| PNG   |              |              |               |             |             |                      |
| Codec | TC           | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 13.87        | 67.43        | 1354.32       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 43                   |
| VP9   | <b>17.35</b> | 62.79        | 4157.50       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 67                   |
| H265  | 14.42        | <b>70.85</b> | <b>634.22</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 51                   |

A tabela 5 ilustra resultados para  $bitrate$  30 Mbps e FPS 120. As configurações desse teste resultaram em valores menores que a tabela 4, em especial, o ocorrido foi devido a redução do parâmetro  $bitrate$ , impactando diretamente as métricas PSNR e MSE, por um outro lado nota-se que ao aumentar o parâmetro FPS, neste caso, resultou em uma

taxa de compressão bem maior quando comparada aos resultados das tabelas anteriores (1, 2, 3 e 4), apesar do codec VP9 com PNG ter gerado a maior taxa de compressão entre todas as outras dessa tabela, o melhor candidato neste teste foi o codec H265 com PNG, tendo como parâmetro as métricas de similaridade superior entre todos os outros enquanto o codec VP9 com maior taxa de compressão, apresenta um dos piores valores nas métricas de similaridade.

Tabela 6 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 60$ ,  $FPS = 120$

| JPG   |             |              |               |             |             |                      |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 7.69        | 71.43        | 526.91        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 12                   |
| VP9   | 9.82        | 67.24        | 1418.42       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 44                   |
| H265  | 8.17        | 73.13        | 361.60        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 21                   |
| PNG   |             |              |               |             |             |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 7.74        | 72.58        | 410.43        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 43                   |
| VP9   | <b>9.84</b> | 67.32        | 1396.43       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 75                   |
| H265  | 8.23        | <b>74.47</b> | <b>277.21</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 52                   |

A tabela 6 ilustra resultados para  $bitrate$  60 Mbps e FPS 120. A configuração utilizada para esse teste ilustra que, assim como na tabela 5, o codec H265 se saiu melhor nas métricas de similaridade, um outro fator notado foi uma melhora dos valores nas métricas PSNR e MSE, seguido da queda da taxa de compressão em relação a tabela 5 de 14.42 para 9.84, porém houve um aumento quando comparado a tabela 4, além disso, ocorreu uma repetição dos valores SSIM e CC em relação a tabela 5.

Tabela 7 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 120$ ,  $FPS = 120$

| JPG   |             |              |               |             |             |                      |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 5.28        | 74.66        | 249.00        | 0.99        | 0.99        | 12                   |
| VP9   | 5.44        | 71.13        | 597.04        | 0.99        | 0.99        | 67                   |
| H265  | 6.14        | 74.41        | 273.33        | 0.99        | 0.99        | 21                   |
| PNG   |             |              |               |             |             |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 5.54        | <b>76.80</b> | <b>154.61</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 44                   |
| VP9   | 5.47        | 71.66        | 548.35        | 0.99        | 0.99        | 96                   |
| H265  | <b>6.51</b> | 76.12        | 197.93        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 53                   |

A tabela 7 ilustra resultados para  $bitrate$  120 Mbps e FPS 120. Para essa configuração, foi obtido resultados com pequenas diferenças nas métricas de similaridade PSNR, MSE, SSIM e CC, por outro lado é notado uma redução considerável na taxa de compressão do melhor resultado, TC igual a 6.51, em relação ao melhor resultado da tabela 6, enquanto a diferença entre os melhores valores de PSNR entre a tabela 7 e 6 foi de aproximadamente 2.33 e as métricas SSIM e CC a diferença foi de apenas 0.01.

Tabela 8 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 240$ ,  $FPS = 120$ 

| JPG   |             |              |               |             |             |                      |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 5.21        | 74.81        | 238.91        | 0.99        | 0.99        | 12                   |
| VP9   | 3.0         | 73.17        | 413.79        | 0.99        | 0.99        | 95                   |
| H265  | 6.12        | 74.43        | 272.67        | 0.99        | 0.99        | 21                   |
| PNG   |             |              |               |             |             |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 5.46        | <b>77.02</b> | <b>144.65</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 44                   |
| VP9   | 3.09        | 74.78        | 325.16        | 0.99        | 0.99        | 123                  |
| H265  | <b>6.51</b> | 76.12        | 197.68        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 53                   |

A tabela 8 ilustra resultados para  $bitrate$  240 Mbps e FPS 120. Na configuração escolhida para este teste nota-se valores das métricas de similaridade e da taxa de compressão idênticas às apresentadas na tabela 3 e 4 nos *codecs* H264 e H265, tal resultado pode indicar que há um comportamento de controle executado pelos algoritmos de detecção *intra-frame* e *inter-frame* presentes nos *codecs* mantendo uma proximidade de valores nas métricas de similaridade a partir de  $bitrate$  120 Mbps.

Tabela 9 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 30$ ,  $FPS = 240$ 

| JPG   |              |              |                |             |             |                      |
|-------|--------------|--------------|----------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC           | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 23.66        | 62.65        | 4050.65        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 12                   |
| VP9   | <b>28.15</b> | 59.10        | 9593.60        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 33                   |
| H265  | 24.19        | 66.00        | 1922.12        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 17                   |
| PNG   |              |              |                |             |             |                      |
| Codec | TC           | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 23.66        | 62.71        | 4002.72        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 43                   |
| VP9   | <b>28.15</b> | 59.10        | 9575.99        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 64                   |
| H265  | 24.19        | <b>66.11</b> | <b>1881.76</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 48                   |

A tabela 9 ilustra resultados para  $bitrate$  30 Mbps e FPS 240. A configuração escolhida para este teste ilustra um outro comportamento a ser notado, em especial, é verificado que ao utilizar o valor 240 no parâmetro FPS com o valor de 30Mbps no  $bitrate$  há uma notável diferença nas métricas de similaridade PSNR e MSE quando comparado às tabelas 1 e 5 com mesmo valor para  $bitrate$  mas com valores no parametro FPS menores, a diferença entre o melhor caso da tabela 9 e o melhor caso na tabela 1 chega a 8 no PSNR e pouco mais de 1600 em MSE, já em comparação ao melhor caso da tabela 5 a diferença em MSE é 1247 e na métrica PSNR é 4, um outro fator observado foi o aumento significativo da taxa de compressão, 28, um valor 10 pontos a mais ao maior caso de taxa compressão, 17.35, este apresentado na tabela 5.

A tabela 10 ilustra resultados para  $bitrate$  60 Mbps e FPS 240. Para esta configuração é observado nos resultados desde as métricas de similaridade à taxa de compressão, valores quase identicos aos ja apresentados na tabela 5 com os parâmetros  $bitrate$  30

Tabela 10 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 60$ ,  $FPS = 240$ 

| JPG   |              |              |               |             |             |                      |
|-------|--------------|--------------|---------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC           | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 13.82        | 67.10        | 1452.25       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 12                   |
| VP9   | <b>17.38</b> | 62.77        | 4139.37       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 36                   |
| H265  | 14.32        | 70.44        | 687.16        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 19                   |
| PNG   |              |              |               |             |             |                      |
| Codec | TC           | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 13.86        | 67.45        | 1348.48       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 43                   |
| VP9   | <b>17.38</b> | 62.79        | 4124.81       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 67                   |
| H265  | 14.42        | <b>70.84</b> | <b>634.54</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 51                   |

Mbps e FPS 120, a metade dos valores usados para este teste, nesse sentido é verificado novamente o melhor resultado utilizando *codecs* H265 com imagem PNG, onde o PSNR é igual a 70.84 e MSE 634.54.

Tabela 11 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 120$ ,  $FPS = 240$ 

| JPG   |             |              |               |             |             |                      |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 7.7         | 71.42        | 527.20        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 12                   |
| VP9   | 9.78        | 67.29        | 1409.17       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 44                   |
| H265  | 8.19        | 73.12        | 362.78        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 20                   |
| PNG   |             |              |               |             |             |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 7.75        | 72.55        | 412.28        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 43                   |
| VP9   | <b>9.82</b> | 67.36        | 1392.45       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 75                   |
| H265  | 8.26        | <b>74.45</b> | <b>278.16</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> | 52                   |

A tabela 11 ilustra resultados para  $bitrate$  120 Mbps e FPS 240. Com a configuração escolhida para este teste, nota-se um padrão atrelado ao parâmetro FPS, em especial, é notado que ao usar o valor de FPS 240 os seus resultados são bem semelhantes quando comparado resultados de testes com um determinado  $bitrate$  e a metade do seu valor, como é o caso verificado na tabela 11, onde a configuração  $bitrate$  120 Mbps e FPS 240 se assemelha em resultados quando comparada à tabela 6 cujo os parâmetros utilizados foram 60 Mbps em  $bitrate$  e FPS 120, este mesmo padrão já foi observado na tabela 10, a qual utilizou como parâmetros  $bitrate$  60 Mbps e FPS 240, obtendo resultados semelhantes aos gerados com os parâmetros 30 Mbps e FPS 120 da tabela 5, além disso, vemos o mesmo padrão acontecer com os parâmetros 240 Mbps em  $bitrate$  e FPS 240 na tabela 12.

Tabela 12 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 240$ ,  $FPS = 240$ 

| JPG   |             |              |               |             |             |                      |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 5.28        | 74.66        | 249.17        | 0.99        | 0.99        | 12                   |
| VP9   | 5.41        | 71.18        | 591.37        | 0.99        | 0.99        | 68                   |
| H265  | 6.14        | 74.41        | 273.33        | 0.99        | 0.99        | 21                   |
| PNG   |             |              |               |             |             |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 5.54        | <b>76.80</b> | <b>154.77</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 44                   |
| VP9   | 5.45        | 71.71        | 542.26        | 0.99        | 0.99        | 97                   |
| H265  | <b>6.51</b> | 76.12        | 197.93        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 53                   |

## 5.2 Avaliação de Resultados obtidos com o método aplicado à Tomografia Computadorizada

Os resultados ilustrados nessa seção foram obtidos com a aplicação do método no *dataset Pseudo-PHI-DICOM-Data*(RUTHERFORD et al., 2021).

Tabela 13 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 30$ ,  $FPS = 60$ 

| JPG   |              |              |              |             |             |                      |
|-------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC           | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 8.77         | 78.48        | 67.65        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 7                    |
| VP9   | 11.59        | 75.27        | 151.28       | <b>1.00</b> | 0.99        | 37                   |
| H265  | 8.74         | 79.04        | 59.82        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 13                   |
| PNG   |              |              |              |             |             |                      |
| Codec | TC           | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 9.16         | 80.78        | 43.34        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 31                   |
| VP9   | <b>11.88</b> | 75.68        | 142.53       | <b>1.00</b> | 0.99        | 60                   |
| H265  | 9.16         | <b>81.25</b> | <b>38.35</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 37                   |

A tabela 13 ilustra resultados para a configuração  $bitrate(Mbps) = 30$  e  $FPS = 60$ . Diferente dos resultados apresentados com o método aplicado às imagens de ressonância magnética apresentados na seção anterior, o método, quando aplicado ao *CT*, demonstra melhores valores nas métricas de similaridade entre os testes propostos, como é o caso do melhor candidato da tabela 13, com o codec H265 e imagem PNG, é observado um PSNR 81.25 e um MSE 38.35.

Os resultados encontrados com os parâmetros,  $bitrate(Mbps) = 60$  e  $FPS = 60$ , apresentados na tabela 14, trazem como melhor combinação o codec H264 com PNG, em sua métrica PSNR resultou 81.97 e MSE 29.23, o candidato que apresentou melhor taxa de compressão para esse teste foi o codec H265 com PNG uma taxa 8.68 enquanto o candidato com melhores taxas de similaridade H264 com PNG é 8.23, o resultado apresentado

Tabela 14 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 60$ ,  $FPS = 60$ 

| JPG   |             |              |              |             |             |                      |
|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 7.57        | 79.40        | 52.16        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 7                    |
| VP9   | 6.52        | 76.52        | 124.69       | <b>1.00</b> | 0.99        | 50                   |
| H265  | 7.98        | 79.42        | 51.99        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 13                   |
| PNG   |             |              |              |             |             |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 8.23        | <b>81.97</b> | <b>29.23</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 31                   |
| VP9   | 6.53        | 77.69        | 108.33       | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 71                   |
| H265  | <b>8.68</b> | 81.66        | 31.23        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 37                   |

por essa combinação se mostrou melhor que o melhor caso apresentado na tabela 13 nos índices de similaridade, PSNR 81.25 e MSE 38.35 da tabela 13, contra PSNR 81.97 e MSE 29.23 da tabela 14.

Tabela 15 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 120$ ,  $FPS = 60$ 

| JPG   |             |              |              |             |             |                      |
|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 7.50        | 79.46        | 50.93        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 7                    |
| VP9   | 3.96        | 78.01        | 104.02       | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 65                   |
| H265  | 7.90        | 79.46        | 50.91        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 13                   |
| PNG   |             |              |              |             |             |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 8.14        | <b>82.10</b> | <b>27.75</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 31                   |
| VP9   | 4.33        | 44.10        | 90.59        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 82                   |
| H265  | <b>8.60</b> | 81.72        | 30.21        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 37                   |

A tabela 15 demonstra resultados para a configuração  $bitrate(Mbps) = 120$ ,  $FPS = 60$ . Observando todos os dados apresentados até este teste é notado que as métricas SSIM e CC, apesar de importantes, se mostram pouco decisivas para separar as melhores combinações de resultados, demonstrando sempre valores entre 0.99 e 1.00 nas duas métricas, é o exemplo da tabela 15, onde todos os valores de SSIM e CC são iguais a 1.00, enquanto nas métricas PSNR e MSE há diferenças observáveis. O melhor caso de teste apresentado nessa tabela foi o codec H264 com imagem PNG, o PSNR é 82.10 e o MSE é 27.75.

Os resultados para a configuração  $bitrate(Mbps) = 240$ ,  $FPS = 60$  são exibidos na tabela 16. A tabela 16 demonstra um comportamento já observado anteriormente, é o exemplo das tabelas 3 e 4 que possuem resultados idênticos nos codecs H264 e H265 apesar das diferentes configurações de parâmetros. Na tabela 16 é observado que os valores resultantes dos *codecs* H264 e H265 são idênticos aos apresentados na tabela 15.

A tabela 17 contém resultados para a configuração  $bitrate(Mbps) = 30$  e  $FPS = 120$ . Neste caso de teste não é observado algum ganho sugestivo em relação aos testes

Tabela 16 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 240$ ,  $FPS = 60$ 

| JPG   |             |              |              |             |             |                      |
|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 7.50        | 79.46        | 50.93        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 7                    |
| VP9   | 3.54        | 78.54        | 98.86        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 35                   |
| H265  | 7.90        | 79.46        | 50.91        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 13                   |
| PNG   |             |              |              |             |             |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 8.14        | <b>82.10</b> | <b>27.75</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 31                   |
| VP9   | 3.78        | 81.01        | 81.55        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 58                   |
| H265  | <b>8.60</b> | 81.72        | 30.21        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 37                   |

Tabela 17 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 30$ ,  $FPS = 120$ 

| JPG   |              |              |              |             |             |                      |
|-------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | CR           | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 15.19        | 75.81        | 130.87       | <b>1.00</b> | 0.99        | 7                    |
| VP9   | 19.74        | 73.86        | 196.16       | <b>1.00</b> | 0.99        | 26                   |
| H265  | 16.01        | 76.80        | 103.95       | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 12                   |
| PNG   |              |              |              |             |             |                      |
| Codec | CR           | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 15.4         | 76.85        | 109.99       | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 31                   |
| VP9   | <b>20.15</b> | 74.00        | 191.71       | <b>1.00</b> | 0.99        | 49                   |
| H265  | 16.25        | <b>77.89</b> | <b>84.63</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 36                   |

realizados com as configurações anteriores, pelo contrário, é observado uma maior perda indicada pelo PSNR e MSE, o melhor caso da tabela 17, codec H265 com imagem PNG resultou em um PSNR 77.89 e MSE 84.63, valores de métricas que qualidade inferior ao já encontrado nos melhores candidatos ilustrados nas tabelas 13, 15 e 16.

Tabela 18 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 60$ ,  $FPS = 120$ 

| JPG   |              |              |              |             |             |                      |
|-------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC           | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 9.03         | 78.31        | 72.44        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 9                    |
| VP9   | 11.22        | 75.40        | 148.12       | <b>1.00</b> | 0.99        | 38                   |
| H265  | 8.85         | 78.98        | 61.90        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 13                   |
| PNG   |              |              |              |             |             |                      |
| Codec | TC           | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 9.43         | 80.52        | 48.80        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 31                   |
| VP9   | <b>11.38</b> | 75.82        | 139.38       | <b>1.00</b> | 0.99        | 59                   |
| H265  | 9.24         | <b>81.17</b> | <b>40.50</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 37                   |

Os parâmetros  $bitrate(Mbps) = 60$  e  $FPS = 120$  foram utilizados para a obtenção dos resultados presentes na tabela 18. Os resultados apresentados nessa tabela mostram um ganho do melhor candidato em relação ao melhor candidato da tabela 17, os *codecs* foram o mesmo, com imagem PNG, entretanto, há um ganho em relação a métrica PSNR a qual possui 81.17 nesta configuração contra 77.89 da tabela 17, o MSE obteve uma

diferença mais notável, 40.50, contra 84.63 da tabela 17, ou seja, um redução de pouco mais que a metade do valor.

Tabela 19 – Resultados com  $bitrate(\text{Mbps}) = 120$ ,  $\text{FPS} = 120$

| JPG   |             |              |              |             |             |                      |
|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 7.65        | 79.34        | 53.49        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 7                    |
| VP9   | 6.24        | 76.60        | 123.62       | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 50                   |
| H265  | 8.04        | 79.38        | 52.89        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 13                   |
| PNG   |             |              |              |             |             |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 8.31        | <b>81.87</b> | <b>30.77</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 31                   |
| VP9   | 6.30        | 77.75        | 107.46       | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 73                   |
| H265  | <b>8.74</b> | 81.60        | 32.18        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 37                   |

Para os resultados da tabela 19, foram utilizados os parâmetros  $bitrate(\text{Mbps}) = 120$ ,  $\text{FPS} = 120$ . Em relação à tabela 18 é notada uma pequena diferença na métrica PSNR, um aumento de 81.17 para 81.87 e uma redução no MSE de 40.50 para 30.77, a mudança mais notável foi a troca do codec, o qual o H264 com PNG obteve os melhores resultados nas métricas de similaridade para este teste, vale ressaltar que a combinação H264 com PNG obteve os melhores resultados nas métricas de similaridade de quase todos os testes realizados até a tabela 19.

Tabela 20 – Resultados com  $bitrate(\text{Mbps}) = 240$ ,  $\text{FPS} = 120$

| JPG   |             |              |              |             |             |                      |
|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 7.50        | 79.46        | 50.93        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 7                    |
| VP9   | 3.96        | 77.99        | 104.65       | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 66                   |
| H265  | 7.90        | 79.46        | 50.91        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 13                   |
| PNG   |             |              |              |             |             |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 8.14        | <b>82.10</b> | <b>27.75</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 31                   |
| VP9   | 4.33        | 79.38        | 91.45        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 82                   |
| H265  | <b>8.60</b> | 81.72        | 30.21        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 37                   |

A tabela 20 demonstra resultados para os testes com os parâmetros  $bitrate(\text{Mbps}) = 240$  e  $\text{FPS} = 120$ . Os resultados apresentados pelo melhor candidato na tabela 20, codec H264 com imagem PNG, já foram visualizados anteriormente nas tabelas 13, 15 e 16. a variação mais notável foi apenas no codec VP9 (JPG e PNG) que diferentemente da tabela 13 apresentou a menor taxa de compressão entre os concorrentes das tabelas 15, 16 e 20.

Para os parâmetros  $bitrate(\text{Mbps}) = 30$  e  $\text{FPS} = 240$ , os resultados, exibidos na tabela 21, demonstram as maiores taxas de compressão dos testes com  $CT$ , por outro lado, é observado uma queda de qualidade em quase todas as métricas de qualidade, o

Tabela 21 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 30$ ,  $FPS = 240$ 

| JPG   |              |              |               |             |      |                      |
|-------|--------------|--------------|---------------|-------------|------|----------------------|
| Codec | CR           | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC   | Tempo de execução(s) |
| H264  | 28.4         | 73.43        | 237.47        | 0.99        | 0.99 | 7                    |
| VP9   | 34.25        | 72.25        | 273.46        | 0.99        | 0.99 | 19                   |
| H265  | 30.07        | 74.88        | 169.13        | <b>1.00</b> | 0.99 | 10                   |
| PNG   |              |              |               |             |      |                      |
| Codec | CR           | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC   | Tempo de execução(s) |
| H264  | 28.61        | 73.89        | 220.90        | <b>1.00</b> | 0.99 | 31                   |
| VP9   | <b>34.72</b> | 72.29        | 271.93        | 0.99        | 0.99 | 43                   |
| H265  | 30.31        | <b>75.30</b> | <b>154.63</b> | <b>1.00</b> | 0.99 | 34                   |

melhor caso da tabela 21, H265 com PNG, ainda sim manteve um SSIM 1.00, enquanto o PSNR é 75.30, MSE 154.63 e a taxa de compressão chegou a 30.31.

Tabela 22 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 60$ ,  $FPS = 240$ 

| JPG   |              |              |              |             |             |                      |
|-------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC           | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 15.25        | 75.80        | 131.33       | <b>1.00</b> | 0.99        | 7                    |
| VP9   | 19.64        | 73.91        | 193.75       | <b>1.00</b> | 0.99        | 26                   |
| H265  | 16.05        | 76.79        | 104.10       | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 12                   |
| PNG   |              |              |              |             |             |                      |
| Codec | TC           | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 15.49        | 76.82        | 110.92       | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 31                   |
| VP9   | <b>20.00</b> | 74.08        | 188.59       | <b>1.00</b> | 0.99        | 49                   |
| H265  | 16.32        | <b>77.87</b> | <b>84.86</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 36                   |

A tabela 22 demonstra resultados com  $bitrate(Mbps)$  a 60 e  $FPS = 240$ , novamente é possível observar altos valores na taxa de compressão assim como ocorreu no teste ilustrado na tabela 21, também em relação a ela houve uma melhoria nas métricas PSNR e MSE para todos os casos, destacando-se como melhor caso de teste o codec H265 com PNG onde o PSNR é 77.87 e o MSE 84.86, a maior taxa de compressão foi atingida com o codec VP9 e PNG, valor 20, enquanto o melhor candidato para estes parâmetros de testes obteve taxa de compressão 16.32.

Tabela 23 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 120$ ,  $FPS = 240$ 

| JPG   |              |              |              |             |             |                      |
|-------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|----------------------|
| Codec | TC           | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 9.15         | 78.24        | 73.50        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 8                    |
| VP9   | 11.01        | 75.47        | 146.34       | <b>1.00</b> | 0.99        | 38                   |
| H265  | 8.90         | 78.96        | 62.07        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 13                   |
| PNG   |              |              |              |             |             |                      |
| Codec | TC           | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          | Tempo de execução(s) |
| H264  | 9.55         | 80.39        | 49.99        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 31                   |
| VP9   | <b>11.33</b> | 75.85        | 138.42       | <b>1.00</b> | 0.99        | 60                   |
| H265  | 9.26         | <b>81.15</b> | <b>40.57</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | 37                   |

Assim como na tabela 22, a tabela 23 demonstra como melhor candidato nas métricas de similaridade o codec H265 com PNG, PSNR 81.15 e MSE 40.57, por outro se apresenta entre as combinações com a menor taxa de compressão, essa que foi atingida com o codec VP9 com PNG. O codec VP9 com PNG no caso de teste da tabela 23,  $bitrate(\text{Mbps}) = 120$  e  $\text{FPS} = 240$ , por outro lado chegou a um valor MSE pouco maior que o dobro dos outros *codecs* com imagem PNG, H264 e H265, além disso, a versão do *codec* VP9 com imagem JPG obteve a maior valor de perda de acordo com métrica MSE, um MSE igual 146.34.

Tabela 24 – Resultados com  $bitrate(\text{Mbps}) = 240$ ,  $\text{FPS} = 240$

| JPG   |             |              |              |      |      |                      |
|-------|-------------|--------------|--------------|------|------|----------------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM | CC   | Tempo de execução(s) |
| H264  | 7.65        | 79.34        | 53.54        | 1.00 | 1.00 | 7                    |
| VP9   | 6.15        | 76.65        | 122.67       | 1.00 | 1.00 | 51                   |
| H265  | 8.04        | 79.38        | 52.89        | 1.00 | 1.00 | 13                   |
| PNG   |             |              |              |      |      |                      |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM | CC   | Tempo de execução(s) |
| H264  | 8.31        | <b>81.86</b> | <b>30.83</b> | 1.00 | 1.00 | 32                   |
| VP9   | 6.07        | 77.86        | 106.20       | 1.00 | 1.00 | 74                   |
| H265  | <b>8.74</b> | 81.60        | 32.18        | 1.00 | 1.00 | 37                   |

A tabela 24 traz resultados para os parâmetros  $bitrate(\text{Mbps}) = 240$  e  $\text{FPS} = 240$ . Os resultados encontrados ilustram o codec H264 com PNG como melhor candidato para esses parâmetros, de acordo com as métricas de similaridade, com PSNR 81.86 e MSE 30.36, os resultados ilustram também que o codec H265 com PNG obteve resultado próximo ao melhor candidato, chegando a PSNR 81.60 e MSE 32.18, adicionalmente apesar do codec H264 com PNG ter obtido melhores resultados nas métricas de similaridade, ele obteve uma taxa de compressão com uma pequena diferença em relação ao H265 com PNG.

## 5.3 Considerações

Ao longo dos testes realizados com as duas modalidades de imagem, foi possível obter algumas considerações frente ao comportamento geral do método. O primeiro ponto observado, é que das 4 métricas de similaridade escolhidas para avaliação, duas delas se mostraram mais efetivas para comparação entre as combinações, isso ocorreu devido o PSNR e MSE demonstrarem maior variabilidade de valores facilitando assim uma melhor classificação entre os candidatos, enquanto as métricas SSIM e CC se mantiveram com variações mínimas ou até mesmo nenhuma variação, o que impediu seu melhor uso.

O segundo ponto observado vem dos melhores resultados a partir das métricas de similaridade, estes que em sua totalidade foram obtidos com o codec H264 ou H265,

adicionalmente a isso temos que os melhores candidatos em sua totalidade se utilizaram de imagem PNG. Esse fato ocorre devido o formato JPG possuir perda em seu algoritmo, enquanto o formato PNG faz parte do grupo conhecido como compressão sem perdas (*lossless*), ou seja, compressão sem perda de informação.

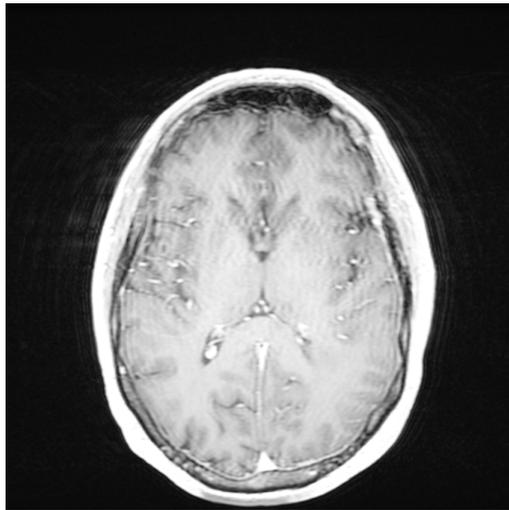
O terceiro ponto observado se mostrou em relação as melhores taxas de compressão, que em grande maioria foram obtidas com o codec VP9, porém a custo de grande perda de qualidade em relação aos *codecs* H264 e H265 de acordo com as métricas PSNR e MSE.

Um quarto ponto foi observado em relação aos parâmetros utilizados, onde foi notado que uma baixa taxa de bits implica diretamente em perda de qualidade mas por outro lado em aumento de taxa de compressão, os testes propostos também demonstraram que em alguns casos, mesmo com diferentes parametros, foi reproduzido o mesmo resultado para os codecs H264 e H265, ambos com PNG, como é o caso das tabelas 12 e 7 na *MRI* e as tabelas 16 e 20.

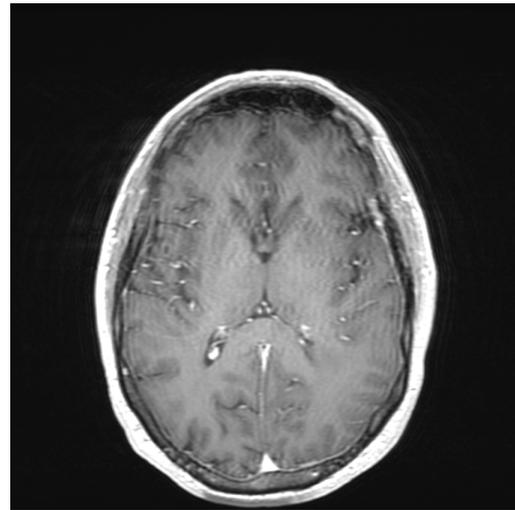
Os resultados gerados com o método aplicado à ressonância magnética ilustram que a melhor combinação de acordo com as métricas de similaridades foi encontrado no teste exibido na tabela 3, com o H264 com PNG, o PSNR resultante foi 77.02, o MSE 144.65, SSIM e CC 1.00. Quando, nesta mesma série de imagens *MRI*, comparado a sua taxa de compressão contra métodos conhecidos da literatura como JPEG-LS e J2K temos: JPEG-LS 2.43 e J2K 2.51 contra uma taxa de compressão 5.46 apresentado pelo melhor caso entre os testes para *MRI*, uma combinação de parâmetros  $bitrate(Mbps) = 120$  e  $FPS = 60$ .

As imagens 3a, 3b, 3c e 3d ilustram os principais resultados notados nos testes aplicados à *MRI*. A imagem 3a ilustra a imagem original antes da aplicação do processo; A imagem 3b ilustra o resultado após a aplicação da melhor combinação, segundo as métricas PSNR e MSE, codec H264 com PNG, com PSNR 77.02, MSE 144.65 e taxa de compressão 5.46 exibido na tabela 3 à  $bitrate$  120 Mbps e FPS 60, a qual resulta e uma redução do tamanho original(106 MB) para 19.41 MB; A imagem 3c mostra o resultado do segundo melhor candidato em relação a PSNR e MSE, também encontrado na tabela 2, com a combinação H264 com PNG, com PSNR 76.90, MSE 149.83 e taxa de compressão 5.51 à  $bitrate$  60 Mbps e FPS 60 resultando em uma redução para 19.23 MB; Por fim, a imagem 3d, traz a combinação que de acordo com PSNR e MSE, foi o pior caso entre os testes, mas, por outro lado demonstrou a maior taxa de compressão entre os testes aplicados à *MRI*, este resultado é visualizado na tabela 9, com parâmetros,  $bitrate$  30 Mbps e FPS 240, *codec* VP9 com JPG, resultando em PSNR 59.10, MSE 9593.60 e taxa de compressão 28.15, que ilustrou uma redução do tamanho original para 3.76 MB.

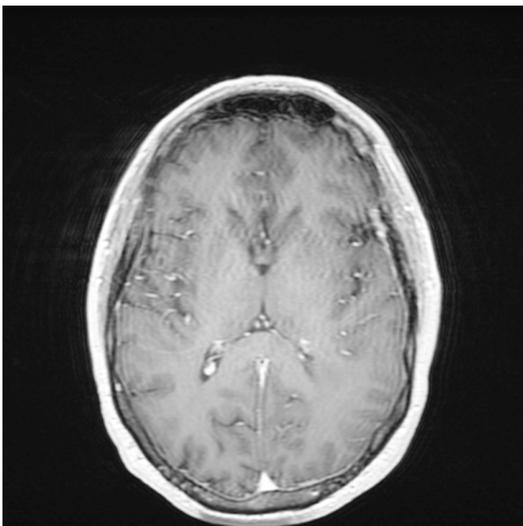
Os resultados encontrados com o método aplicado à tomografia computadorizada trazem como melhor combinação de parâmetros  $bitrate(Mbps) = 120$ ,  $FPS = 60$ , *codec* H264 com PNG, com essa combinação aplicada a série de imagens foi possível chegar



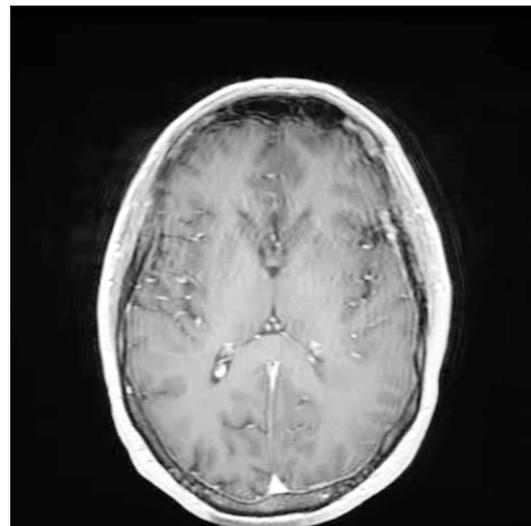
(a) Imagem Original



(b) Resultado com a combinação *bitrate* 120 Mbps, FPS 60, H264 e PNG: PSNR 77.02, MSE 144.65 e TC 5.46



(c) Resultado com a combinação *bitrate* 60 Mbps, FPS 60, H264 e PNG: PSNR 76.90, MSE 149.83 e TC 5.51



(d) Resultado com a combinação *bitrate* 30 Mbps e FPS 240, VP9 e JPG: PSNR 59.10, MSE 9593.60 e TC 28.15

Figura 3 – Resultados obtidos com variações do método aplicado à ressonancia magnetica.  
Fonte: Autor.

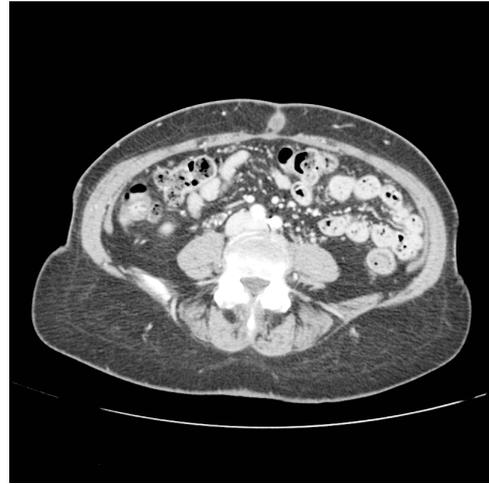
---

a um PSNR 82.10, MSE 27.75, SSIM e CC 1.00, esse resultado foi encontrado com os testes ilustrados na tabela 15. Essa combinação gerou uma taxa de compressão 8.14 valor notavelmente maior quando comparado a taxa de compressão dos métodos JPEG-LS e J2k aplicados a mesma série de imagem, estes que foram respectivamente 3.36 e 3.2.

As imagens 4a, 4b, 4c e 4d demonstram os principais resultados encontrados entre os testes realizados com *CT*. A imagem 4a ilustra a imagem de entrada, com o tamanho original de 76.3 MB; A imagem 4b demonstra o melhor resultado encontrado a partir das métricas PSNR e MSE, essa combinação foi encontrada com os testes plotados na tabela 15, sendo esta combinação usando bitrate 120 Mbps, FPS 60, H264 e PNG, com um PSNR 82.10, MSE 27.75 e TC 8.14, a qual gerou uma redução para 9.37 MB; A imagem 4c ilustra a segunda melhor combinação encontrada de acordo com PSNR e MSE, essa configuração foi *bitrate* 60 Mbps, FPS 60, H264 e PNG, e gerou um PSNR 81.97, MSE 29.23 e TC 8.23 apresentada na tabela 14, reduzindo o tamanho original para 9.27 MB; Já a imagem 4d demonstra a combinação que resultou a maior taxa de compressão valor encontrado com bitrate 30 Mbps e FPS 240, VP9 e PNG, e que resultou em PSNR 72.29, MSE 271.93 e TC 34.72, esse resultado obteve uma redução de tamanho para 2.1 MB e está presente na tabela 21.



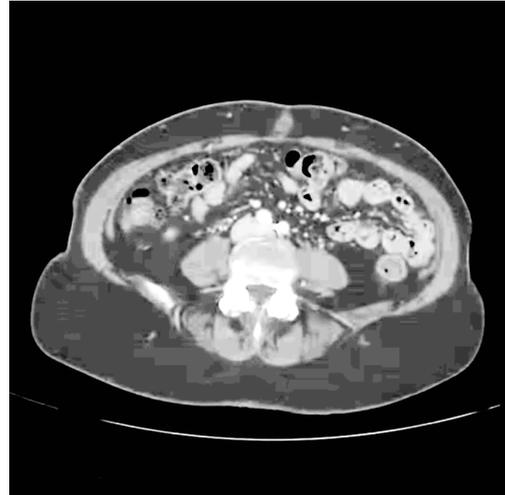
(a) Imagem Original



(b) Resultado com a combinação *bitrate* 120 Mbps, FPS 60, H264 e PNG: PSNR 82.10, MSE 27.75 e TC 8.14



(c) Resultado com a combinação *bitrate* 60 Mbps, FPS 60, H264 e PNG: PSNR 81.97, MSE 29.23 e TC 8.23



(d) Resultado com a combinação *bitrate* 30 Mbps e FPS 240, VP9 e PNG: PSNR 72.29, MSE 271.93 e TC 34.72

Figura 4 – Resultados obtidos com variações do método aplicado à tomografia computadorizada. Fonte: Autor.

---

## Conclusão

De maneira geral é possível concluir que a hipótese proposta foi avaliada de forma a contribuir ao campo de aplicações de compressão de imagens DICOM.

A avaliação do método se deu pelas métricas seguintes: PSNR, MSE, TC, SSIM e CC, nessa ordem de importância. Com a vasta gama de testes realizados notou-se a baixa importância das métricas SSIM e CC no trabalho proposto, deixando PSNR, MSE e TC como métricas de maior importância para classificação dos resultados.

Os resultados encontrados sugerem a aplicação do método com a combinação de parâmetros: *bitrate*(Mbps) 120, FPS 60, *codec* H264 e imagem PNG. Essa combinação trouxe os melhores resultados quando aplicado às duas modalidades de imagem testadas, *MRI* e *CT*. Por outro lado, nota-se a combinação *bitrate*(Mbps) 120, FPS 60, *codec* H265 e imagem PNG como concorrente direto do melhor caso, com uma pequena diferença nas métricas de similaridade, em especial uma maior perda, mas com taxa de compressão um pouco maior.

Os resultados também ilustram uma superioridade dos métodos com imagem PNG e além disso que o *codec* VP9 apesar de em várias vezes apresentar grande taxa de compressão, trouxe as maiores perdas quando comparado ao melhor caso em relação ao melhor caso de combinação. As perdas envolvidas no processo, vem através das transformações aplicadas na normalização das imagens somada aos algoritmos preditivos contidos no *codec* de vídeo.

Para trabalhos futuros planeja-se realizar um estudo mais vasto entre outros *codecs*, também pode-se realizar estudos para melhoria no processo de transformação dos pixels.

## 6.1 Publicações

O estudo conduzido neste trabalho forneceu conteúdo para uma publicação. Intitulado *Method for compressing DICOM images with bit-normalization and video CODECs*, o trabalho foi aceito para apresentação de trabalho completo para o *The 17th International Symposium on Medical Information Processing and Analysis (SIPAIM)*.

---

# Referências Bibliográficas

AKYAZI, P.; EBRAHIMI, T. Comparison of compression efficiency between hevc/h. 265, vp9 and av1 based on subjective quality assessments. In: IEEE. *2018 Tenth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*. [S.l.], 2018. p. 1–6.

BARMAN, N.; MARTINI, M. G. H. 264/mpeg-avc, h. 265/mpeg-hevc and vp9 codec comparison for live gaming video streaming. In: IEEE. *2017 Ninth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*. [S.l.], 2017. p. 1–6.

BINDU, K.; GANPATI, A.; SHARMA, A. K. A comparative study of image compression algorithms. *International Journal of Research in Computer Science*, Citeseer, v. 2, n. 5, p. 37, 2012.

BRUSAN, A.; DURMAZ, A.; OZTURK, C. A workflow for ensuring dicom compatibility during radiography device software development. *Journal of Digital Imaging*, Springer, p. 1–14, 2021.

CFM. Resolução cfm nº 1.821/2007. *Publicada no D.O.U. de 23 nov. 2007, Seção I, pg. 252*, v. 8, 2007.

CLARK, K. et al. The cancer imaging archive (tcia): maintaining and operating a public information repository. *Journal of digital imaging*, Springer, v. 26, n. 6, p. 1045–1057, 2013.

(CPTAC), N. C. I. C. P. T. A. C. Radiology data from the clinical proteomic tumor analysis consortium glioblastoma multiforme [cptac-gbm] collection [data set]. the cancer imaging archive. 2018. Disponível em: <<https://wiki.cancerimagingarchive.net/display/Public/CPTAC-GBM>>.

DEVI, S. S.; VIDHYA, K. Development of medical image compression techniques. In: IEEE. *International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA 2007)*. [S.l.], 2007. v. 3, p. 97–101.

EL JAOUHARI, S. et al. Introduction to dicom-rtv: a new standard for real-time video communication in hospitals. In: *2019 IEEE International Conference on E-health Networking, Application Services (HealthCom)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–6.

FFMPEG. 2021. Disponível em: <<https://ffmpeg.org/>>.

GANTI, A. Correlation coefficient. *Corporate Finance & Accounting*, v. 9, p. 145–152, 2020.

HERRMANN, M. D. et al. Implementing the dicom standard for digital pathology. *Journal of pathology informatics*, Wolters Kluwer–Medknow Publications, v. 9, 2018.

- HORE, A.; ZIOU, D. Image quality metrics: Psnr vs. ssim. In: IEEE. *Pattern Recognition (ICPR), 2010 20th International Conference on*. [S.l.], 2010. p. 2366–2369.
- HUSSIEN, H. H. A comprehensive intelligent compression method on dicom images. *Applied Medical Informatics.*, v. 41, n. 1, p. 33–39, 2019.
- IBANEZ, L. et al. The itk software guide. 2003.
- JOSHI, M. A. et al. *Image and video compression: Fundamentals, Techniques, and Applications*. [S.l.]: CRC press, 2014.
- KAHU, S. Y.; RAUT, R. B.; BHURCHANDI, K. M. Review and evaluation of color spaces for image/video compression. *Color Research & Application*, Wiley Online Library, v. 44, n. 1, p. 8–33, 2019.
- KAUSHIK, A.; GUPTA, M. Analysis of image compression algorithms. *International journal of engineering research and application*, 2012.
- KU, C.-W. et al. A high-definition h. 264/avc intra-frame codec ip for digital video and still camera applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, IEEE, v. 16, n. 8, p. 917–928, 2006.
- LAYEK, M. A. et al. Performance analysis of h. 264, h. 265, vp9 and av1 video encoders. In: IEEE. *2017 19th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*. [S.l.], 2017. p. 322–325.
- MUKHERJEE, D. et al. A technical overview of vp9—the latest open-source video codec. *SMPTE Motion Imaging Journal*, SMPTE, v. 124, n. 1, p. 44–54, 2015.
- NDONG, B. et al. Jpeg2000 compression for scintigraphic images of metastasis of the prostatic cancer. In: *2015 2nd World Symposium on Web Applications and Networking (WSWAN)*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–4.
- PANDEY, A. et al. Quality controlled ecg data compression based on 2d discrete cosine coefficient filtering and iterative jpeg2000 encoding. *Measurement*, Elsevier, v. 152, p. 107252, 2020.
- PANDIAN, R.; KUMARI, S. L. et al. Roi based hybrid compression for dicom images. *Journal of Scientific and Industrial Research (JSIR)*, v. 79, n. 8, p. 717–719, 2020.
- POLE, A.; SHRIRAM, R. 3-d medical image compression by using hevc. In: IEEE. *2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*. [S.l.], 2018. p. 1–5.
- RAHMAT, R. F. et al. Analysis of dicom image compression alternative using huffman coding. *Journal of healthcare engineering*, Hindawi, v. 2019, 2019.
- RUI, Y.; HUANG, T. S.; CHANG, S.-F. Image retrieval: Current techniques, promising directions, and open issues. *Journal of visual communication and image representation*, Elsevier, v. 10, n. 1, p. 39–62, 1999.
- RUTHERFORD, M. et al. A dicom dataset for evaluation of medical image de-identification. *Scientific Data*, Nature Publishing Group, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2021.

- SELVI, G. U. V.; NADARAJAN, R. Dicom image compression using bilinear interpolation. In: *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–4.
- SUBRAMANYA, A. Image compression technique. *IEEE potentials*, IEEE, v. 20, n. 1, p. 19–23, 2001.
- SULLIVAN, G. J. et al. Overview of the high efficiency video coding (hevc) standard. *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology*, IEEE, v. 22, n. 12, p. 1649–1668, 2012.
- TRIVEDI, D. N. et al. Dicom® medical image standard. In: *Dental Image Processing for Human Identification*. [S.l.]: Springer, 2019. p. 41–49.
- UHL, T. et al. Comparison study of h. 264/avc, h. 265/hevc and vp9-coded video streams for the service iptv. In: IEEE. *2018 26th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*. [S.l.], 2018. p. 1–6.
- WARNOCK, M. J. et al. Benefits of using the dcm4che dicom archive. *Journal of Digital Imaging*, Springer, v. 20, n. 1, p. 125–129, 2007.
- YAN, H.; LI, Y.; DAI, J. Evaluation of video compression methods for cone-beam computerized tomography. *Journal of applied clinical medical physics*, Wiley Online Library, v. 20, n. 9, p. 114–121, 2019.
- ZENG, H.; ZHANG, Z.; SHI, L. Research and implementation of video codec based on ffmpeg. In: IEEE. *2016 International Conference on Network and Information Systems for Computers (ICNISC)*. [S.l.], 2016. p. 184–188.
- ZHANG, X.-Y.; GE, L.; WANG, T.-F. Entropy-based local histogram equalization for medical ultrasound image enhancement. In: IEEE. *2008 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*. [S.l.], 2008. p. 2427–2429.

# Apêndices



---

## Resultados Complementares

### A.1 Avaliação de Resultados em DICOM com ruídos

#### A.1.1 Avaliação de Resultados obtidos com o método aplicado à Ressonância Magnética com Ruído

Os resultados ilustrados nessa seção foram obtidos com a aplicação do método no dataset *CPTAC-GBM* ((CPTAC), 2018). Adicionalmente foi aplicado um ruído gaussiano neste dataset para análise, esse ruído foi aplicado com sigma 40 e possui PSNR 64.28 e MSE 1600.26.

Tabela 25 – Resultados com  $bitrate(\text{Mbps}) = 30$ ,  $\text{FPS} = 60$

| JPG   |             |              |                |             |             |
|-------|-------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 7.22        | 66.78        | 1448.72        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | 8.52        | 62.28        | 3898.29        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 7.49        | 67.79        | 1140.64        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |             |              |                |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 7.24        | 67.28        | 1304.87        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>8.54</b> | 62.32        | 3873.14        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 7.46        | <b>68.31</b> | <b>1019.04</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

A tabela 25 demonstra os resultados encontrados com os parâmetros,  $bitrate(\text{Mbps}) = 30$  e  $\text{FPS} = 60$ , onde é notável altos valores de perda de acordo com a métrica MSE, com o pior caso sendo o codec VP9 com JPG resultando um MSE 3898.29 e o melhor caso sendo o codec H265 com PNG com um MSE 1019.04, o melhor caso na taxa de compressão com atingido aplicando o VP9 com PNG, um TC 8.54, mas o melhor candidato de acordo

com as métricas de similaridade foi o H265 com PNG obtendo um PSNR 68.31, a sua taxa de compressão foi de 7.46.

Tabela 26 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 60$ ,  $FPS = 60$

| JPG   |             |              |               |             |             |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 4.01        | 73.01        | 343.44        | 0.99        | 0.99        |
| VP9   | 4.96        | 65.12        | 2088.33       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 4.43        | 72.02        | 450.60        | 0.99        | 0.99        |
| PNG   |             |              |               |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 4.05        | <b>75.29</b> | <b>202.45</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | <b>4.99</b> | 65.26        | 2045.13       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 4.58        | 73.23        | 372.27        | 0.99        | 0.99        |

A tabela 26 demonstra um resultado um pouco diferente do visualizado na tabela 25, com os parâmetros para este teste,  $bitrate(Mbps) = 60$  e  $FPS = 60$ , é visualizado o codec H264 com PNG como melhor candidato, houve uma redução significativa na taxa de compressão em relação ao melhor candidato da tabela 25, de 7.46 para 4.05 na tabela 26, em contrapartida houve um aumento de qualidade de acordo com as métricas PSNR e MSE, a saber, PSNR de 68.31 para 75.29 na tabela 26 e MSE de 1019.04 pra 202.45 na tabela 26.

Tabela 27 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 120$ ,  $FPS = 60$

| JPG   |             |              |               |             |             |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 3.78        | 73.72        | 295.60        | 0.99        | 0.99        |
| VP9   | 3.04        | 67.77        | 1244.61       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 4.05        | 72.78        | 392.10        | 0.99        | 0.99        |
| PNG   |             |              |               |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 3.83        | <b>76.39</b> | <b>159.27</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | 3.05        | 68.25        | 1161.20       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | <b>4.23</b> | 74.34        | 314.79        | 0.99        | 0.99        |

A tabela 27 ilustra resultados para os parâmetros  $bitrate(Mbps) = 120$  e  $FPS = 60$ . Comparada a tabela 26 houve poucas modificações no melhor candidato, estas que ocorreram como um aumento em PSNR e uma redução MSE, a combinação do melhor caso continua a mesma para estes parâmetros, codec H264 com PNG, em relação a tabela 26 também houve uma redução da taxa de compressão, de 4.05 para 3.83 na tabela 27, uma outra modificação se deu no melhor caso na taxa de compressão, na tabela 27 sendo a combinação H265 com PNG.

Os resultados da tabela 28 demonstram uma repetição dos valores das métricas de similaridade e taxa de compressão já vistas na tabela 27 para os *codecs* H264 e H265 com

Tabela 28 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 240$ ,  $FPS = 60$ 

| JPG   |             |              |               |             |             |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 3.78        | 73.72        | 295.60        | 0.99        | 0.99        |
| VP9   | 1.80        | 71.58        | 625.91        | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 4.05        | 72.78        | 392.10        | 0.99        | 0.99        |
| PNG   |             |              |               |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 3.83        | <b>76.39</b> | <b>159.27</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | 1.83        | 73.16        | 515.50        | 0.99        | 0.99        |
| H265  | <b>4.23</b> | 74.34        | 314.79        | 0.99        | 0.99        |

JPG e PNG. Em ambas as tabelas o melhor caso foi o codec H264 com PNG, o PSNR resultante foi 76.39, o MSE 159.27, com uma taxa de compressão de 3.83, a diferença entre as duas tabelas se deu apenas no codec VP9 (JPG e PNG), com uma redução notável na taxa de compressão e do MSE da tabela 27 para a tabela 28, seguido de um aumento em PSNR.

Tabela 29 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 30$ ,  $FPS = 120$ 

| JPG   |              |              |                |             |             |
|-------|--------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Codec | TC           | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 13.56        | 62.47        | 3749.73        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>14.62</b> | 59.38        | 7829.85        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 13.44        | 64.11        | 2503.38        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |              |              |                |             |             |
| Codec | TC           | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 13.51        | 62.66        | 3603.39        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>14.62</b> | 59.40        | 7805.31        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 13.22        | <b>64.37</b> | <b>2379.32</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

A tabela 29 demonstra resultados obtidos com os parâmetros  $bitrate(Mbps) = 30$  e  $FPS = 120$ , onde observa-se que mesmo o melhor candidato, codec H265 com PNG, apresenta um alto valor de perda de acordo com a métrica MSE, igual 2379.32, valor várias vezes maior que o MSE apresentado no melhor candidato da tabela 28, 159.27.

Tabela 30 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 60$ ,  $FPS = 120$ 

| JPG   |             |              |                |             |             |
|-------|-------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 7.24        | 66.76        | 1437.33        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>7.89</b> | 62.67        | 3551.29        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 7.52        | 67.76        | 1150.27        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |             |              |                |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 7.26        | 67.24        | 1298.04        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>7.89</b> | 62.72        | 3528.43        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 7.48        | <b>68.29</b> | <b>1025.51</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

A tabela 30 apresenta os resultados obtidos com os parâmetros,  $bitrate(Mbps) = 60$  e  $FPS = 120$ . O melhor candidato foi o codec H265 com PNG assim como já visto na tabela 29, há uma melhoria nas métricas do PSNR e MSE da tabela 30 em comparação a tabela 29, mas ainda assim fica abaixo da qualidade já atingida nos testes exibidos na tabela 28.

Tabela 31 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 120$ ,  $FPS = 120$

| JPG   |             |              |               |             |             |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 4.1         | 72.72        | 366.29        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | 4.68        | 65.46        | 1954.53       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 4.46        | 71.98        | 454.84        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |             |              |               |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 4.14        | <b>74.82</b> | <b>225.76</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>4.74</b> | 65.57        | 1914.91       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 4.6         | 73.16        | 376.72        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

Os parâmetros,  $bitrate(Mbps) = 120$  e  $FPS = 120$ , utilizados para obtenção dos resultados apresentados na tabela 31, ilustram que o seu uso causa uma melhoria nos resultados em relação as tabelas 29 e 30, o resultado obtido com a combinação H264 com PNG se aproxima do melhor caso apresentado em 28, porem com valores MSE e PSNR indicando menor qualidade.

Tabela 32 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 240$ ,  $FPS = 120$

| JPG   |             |              |               |             |             |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 3.78        | 73.72        | 295.60        | 0.99        | 0.99        |
| VP9   | 2.95        | 67.96        | 1196.21       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 4.05        | 72.78        | 392.10        | 0.99        | 0.99        |
| PNG   |             |              |               |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 3.83        | <b>76.39</b> | <b>159.27</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | 2.95        | 68.48        | 1106.21       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | <b>4.23</b> | 74.34        | 314.79        | 0.99        | 0.99        |

Os valores encontrados na tabela 32, por outro lado, mostram mais uma vez valores já visualizados em combinações de várias outras tabelas, inclusive mantendo o melhor caso de combinação o codec H264 com PNG nas métricas, as tabelas foram: 27, 28.

Ao utilizar os parâmetros,  $bitrate(Mbps) = 30$  e  $FPS = 240$ , para obter os resultados ilustrados na tabela 33, é notado um comportamento já conhecido para esses parâmetros, uma alta taxa de compressão, porém com grande perda, a quantidade de bits utilizado se mostra ineficiente para manter uma quantidade mínima de perdas, no caso em questão o melhor candidato foi o codec H265 com PNG, que obteve um MSE

Tabela 33 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 30$ ,  $FPS = 240$ 

| JPG   |              |              |                |             |             |
|-------|--------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Codec | TC           | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 22.23        | 59.28        | 7529.84        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>25.16</b> | 56.67        | 14470.14       | <b>0.99</b> | 0.98        |
| H265  | 22.14        | 61.23        | 4598.56        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |              |              |                |             |             |
| Codec | TC           | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 22.23        | 59.33        | 7449.93        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>25.16</b> | 56.66        | 14525.37       | <b>0.99</b> | 0.98        |
| H265  | 21.91        | <b>61.37</b> | <b>4463.64</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

4463.64, outro comportamento observado ao correr dos testes se deu pelo fato de os melhores resultados sempre ficarem entre as variações com PNG.

Tabela 34 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 60$ ,  $FPS = 240$ 

| JPG   |             |              |                |             |             |
|-------|-------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 13.39       | 62.56        | 3685.93        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | 14.56       | 59.35        | 8046.60        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 13.39       | 64.13        | 2490.69        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |             |              |                |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 13.35       | 62.74        | 3537.44        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>14.6</b> | 59.36        | 7999.81        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 13.17       | <b>64.39</b> | <b>2368.70</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

A tabela 34 ilustra que os parâmetros,  $bitrate(Mbps) = 60$  e  $FPS = 240$ , não entregam um aumento de resultado relevante em comparação à tabela 33, na verdade, o melhor caso apresentado, codec H265 com PNG, apenas se aproxima dos resultados obtidos com  $bitrate$  30 e  $FPS$  120 exibidos na tabela 29, e fica bem abaixo do melhor caso entre todas as tabelas desta subseção, o codec H264 com PNG, ilustrado na tabela 27.

Tabela 35 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 120$ ,  $FPS = 240$ 

| JPG   |             |              |                |             |             |
|-------|-------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 7.15        | 66.88        | 1397.50        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | 8.11        | 62.55        | 3625.71        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 7.5         | 67.77        | 1147.11        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |             |              |                |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 7.16        | 67.37        | 1258.23        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>8.12</b> | 62.60        | 3585.03        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 7.46        | <b>68.30</b> | <b>1022.45</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

Os resultados obtidos na tabela 35, com H265 e PNG se equiparam aos visualizados

na tabela 30, com um PSNR 68.30 e MSE 1022.45 do H265 com PNG contra um PSNR 68.29 e MSE 1025.51 do melhor caso da tabela 30, H265 com PNG.

Tabela 36 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 240$ ,  $FPS = 240$

| JPG   |             |              |               |             |             |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 4.11        | 72.70        | 367.45        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | 4.81        | 65.34        | 1991.35       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 4.47        | 71.96        | 456.51        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |             |              |               |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 4.14        | <b>74.79</b> | <b>227.43</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>4.82</b> | 65.50        | 1950.02       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 4.61        | 73.12        | 378.95        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

A tabela 36 mostra que para estes parâmetros,  $bitrate(Mbps) = 240$  e  $FPS = 240$ , o melhor caso de testes foi H264 com PNG, o PSNR chegou a 74.79 e o MSE 227.43, ouve uma melhoria em relação ao melhor candidato da tabela 35 nas métricas de similaridade, porem com uma redução notável na taxa de compressão, na tabela 35 7.46 contra 4.14 da tabela 35.

## A.1.2 Avaliação de Resultados obtidos com o método aplicado à Tomografia Computadorizada com Ruído

Os resultados ilustrados nessa seção foram obtidos com a aplicação do método no *dataset Pseudo-PHI-DICOM-Data*(RUTHERFORD et al., 2021), após a aplicação de um ruído do tipo gaussiano, esse ruído foi aplicado com sigma 40 e possui PSNR 64.28 e MSE 1600.47.

Tabela 37 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 30$ ,  $FPS = 60$

| JPG   |             |              |               |             |             |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 7.16        | 70.24        | 431.73        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | 9.29        | 65.52        | 1296.88       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 7.72        | 70.50        | 405.00        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |             |              |               |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 7.18        | 70.71        | 394.73        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>9.36</b> | 65.58        | 1282.81       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 7.69        | <b>70.86</b> | <b>375.65</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

A tabela 37 ilustra os primeiros resultados da aplicação do método com parâmetros,  $bitrate(Mbps) = 30$  e  $FPS = 60$ , em imagem de tomografia computadorizada após a aplicação de um ruído gaussiano. O melhor candidato para essa configuração foi obtida com a combinação H265 com PNG, nota-se também que o melhor caso segundo a taxa de compressão veio com a combinação VP9 com PNG, porém, ao observar as métricas de similaridade PSNR e MSE é visualizado uma perda em relação ao melhor candidato, que obteve PSNR 70.86 e MSE 375.65 com uma taxa de compressão 7.69.

Tabela 38 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 60$ ,  $FPS = 60$

| JPG   |             |              |              |             |             |
|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          |
| H264  | 3.91        | 77.17        | 85.87        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | 5.78        | 67.08        | 927.79       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 4.12        | 76.17        | 111.06       | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| PNG   |             |              |              |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          |
| H264  | 3.92        | <b>79.57</b> | <b>49.67</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | <b>5.79</b> | 67.23        | 904.90       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 4.12        | 77.78        | 78.75        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |

A combinação de parâmetros  $bitrate(Mbps) = 60$  e  $FPS = 60$  na tabela 38, demonstram uma superioridade na métrica PSNR e MSE em comparação a tabela 37. A tabela 37 apresentou um PSNR 70.86 e MSE 375.65 em seu melhor candidato H265 com PNG, enquanto na tabela 38 o PSNR é 79.57 e o MSE 49.67 com a combinação H264 e PNG, a taxa da melhor combinação em 37 foi 7.69, já em 38 a taxa de compressão da melhor combinação é 3.92.

Tabela 39 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 120$ ,  $FPS = 60$

| JPG   |             |              |              |             |             |
|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          |
| H264  | 3.74        | 77.81        | 74.25        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | 3.33        | 70.25        | 504.21       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 3.65        | 77.43        | 80.96        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| PNG   |             |              |              |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          |
| H264  | <b>3.77</b> | <b>80.66</b> | <b>38.47</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | 3.39        | 70.46        | 490.77       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 3.69        | 79.74        | 47.41        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |

Os resultados apresentados na tabela 39 foram gerados com os parâmetros,  $bitrate(Mbps) = 120$  e  $FPS = 60$ , com essa configuração para tal teste o melhor resultado se deu com o *codec* H264 e PNG nas métricas de similaridade e na taxa de compressão, com uma taxa de compressão 3.77, um PSNR 80.66 e um MSE 38.47, o melhor resultado apresentado em relação aos demais resultados já apresentados nas tabelas 37 e 38.

Tabela 40 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 240$ ,  $FPS = 60$ 

| JPG   |             |              |              |             |             |
|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          |
| H264  | 3.74        | 77.81        | 74.25        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | 1.90        | 74.53        | 299.40       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 3.65        | 77.43        | 80.96        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| PNG   |             |              |              |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          |
| H264  | <b>3.77</b> | <b>80.66</b> | <b>38.47</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | 1.92        | 75.83        | 274.95       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 3.69        | 79.74        | 47.41        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |

A utilização dos parâmetros  $bitrate(Mbps) = 240$  e  $FPS = 60$  traz na tabela 40 resultados já visualizados dos *codecs* H264 e H265(JPG, PNG) na tabela 39, a diferença visualizada se deu apenas no codec VP9, o qual apresentou melhoria nas métricas PSNR e MSE em relação a tabela 39.

Tabela 41 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 30$ ,  $FPS = 120$ 

| JPG   |              |              |                |             |             |
|-------|--------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Codec | TC           | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 14.66        | 65.60        | 1222.32        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | 15.43        | 64.50        | 1590.13        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 14.66        | 66.29        | 1061.39        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |              |              |                |             |             |
| Codec | TC           | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 14.69        | 65.74        | 1184.62        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>15.49</b> | 64.54        | 1579.89        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 14.63        | <b>66.43</b> | <b>1032.43</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

A tabela 41 apresenta os resultados obtidos à  $bitrate(Mbps) = 30$  e  $FPS = 120$ , como já visto em diversas tabelas anteriores, um *bitrate* baixo, implica diretamente em uma maior quantidade erro nas métricas de similaridade. O resultado apresentado por essa configuração de longe é observado uma grande diferença entre os valores da métrica MSE do melhor caso, H265 com PNG, 1032.43, contra a tabela anterior, 40, onde o melhor caso, apresentou um MSE 38.47.

Os valores apresentados pela tabela 42 em seu melhor caso nas métricas de similaridade, codec H265 com PNG, se assemelham ao teste realizado com os primeiros parâmetros, na tabela 37, estes que foram  $bitrate(Mbps) = 30$  e  $FPS = 60$ , o melhor caso foi com a mesma combinação, H265 com PNG, taxa de compressão 7.69 e métricas PSNR 70.86 e MSE 375.65 contra uma taxa de compressão 7.69, PSNR 70.85 e MSE 378.93 da tabela 42.

A tabela 43 mostra resultados para  $bitrate(Mbps) = 120$  e  $FPS = 120$ , onde nota-se primeiramente que o melhor caso de taxa de compressão veio apenas em uma combinação

Tabela 42 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 60$ ,  $FPS = 120$ 

| JPG   |             |              |               |             |             |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 7.23        | 70.17        | 434.17        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>9.40</b> | 65.49        | 1291.13       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 7.72        | 70.50        | 408.71        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |             |              |               |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 7.25        | 70.60        | 397.34        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>9.40</b> | 65.57        | 1275.67       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 7.69        | <b>70.85</b> | <b>378.93</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

Tabela 43 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 120$ ,  $FPS = 120$ 

| JPG   |             |              |              |             |             |
|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          |
| H264  | 4.04        | 76.81        | 93.78        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | <b>5.71</b> | 67.12        | 909.44       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 4.21        | 75.96        | 118.24       | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| PNG   |             |              |              |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          |
| H264  | 4.05        | <b>78.96</b> | <b>57.78</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | 5.63        | 67.35        | 874.20       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 4.21        | 77.46        | 86.64        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |

com JPG, o VP9 com JPG, diferente do visualizado nas tabelas 42 e 41, a melhor combinação da tabela 43 foi H264 com PNG e suas métricas, PSNR e MSE demonstram uma melhoria em relação ao melhor caso das tabelas 41 e 42.

Tabela 44 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 240$ ,  $FPS = 120$ 

| JPG   |             |              |              |             |             |
|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          |
| H264  | 3.74        | 77.81        | 74.25        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | 3.26        | 70.45        | 483.01       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 3.65        | 77.43        | 80.99        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| PNG   |             |              |              |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          |
| H264  | <b>3.77</b> | <b>80.66</b> | <b>38.47</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | 3.29        | 70.76        | 462.79       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 3.69        | 79.74        | 47.43        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |

Os resultados em 44 trazem valores gerados com os parâmetros  $bitrate(Mbps) = 240$  e  $FPS = 120$ , para tais parâmetros os resultados indicam o *codec* H264 com PNG como melhor candidato, os valores nas métricas de similaridade PSNR e MSE, e a taxa de compressão, respectivamente, 80.86, 38.47 e 3.77. Esses valores são os mesmos dos já apresentados na tabela 40 com parâmetros,  $bitrate(Mbps) = 240$  e  $FPS = 60$ .

Os parâmetros,  $bitrate(Mbps) = 30$  e  $FPS = 240$  utilizados para os testes da tabela

Tabela 45 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 30$ , FPS = 240

| JPG   |              |              |                |             |             |
|-------|--------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Codec | TC           | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 25.81        | 64.09        | 1769.62        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | 26.80        | 63.82        | 1815.80        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | <b>27.48</b> | 64.36        | 1613.25        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |              |              |                |             |             |
| Codec | TC           | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 25.46        | 64.20        | 1742.59        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | 26.90        | 63.85        | 1807.18        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 27.38        | <b>64.43</b> | <b>1591.04</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

45, trazem como melhor candidato o *codec* H265 com PNG, entretanto também traz os piores resultados nas métricas de similaridade PSNR e MSE entre os testes realizados até então em *CT* com ruídos.

Tabela 46 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 60$ , FPS = 240

| JPG   |              |              |                |             |             |
|-------|--------------|--------------|----------------|-------------|-------------|
| Codec | TC           | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 14.41        | 65.67        | 1202.93        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | 15.4         | 64.51        | 1579.69        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 14.47        | 66.35        | 1046.89        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |              |              |                |             |             |
| Codec | TC           | PSNR         | MSE            | SSIM        | CC          |
| H264  | 14.41        | 65.83        | 1163.27        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>15.62</b> | 64.54        | 1571.41        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 14.44        | <b>66.50</b> | <b>1016.09</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

A tabela 46 demonstra que ao utilizar os parâmetros  $bitrate(Mbps)$  60 e FPS 240, há uma melhora em relação a tabela 45 onde o MSE foi 1591.04 contra 1016.09 da tabela 46 porém, este valor é pior que o melhor caso entre os testes em *CT*, apresentado na tabela 39 com H264 e PNG, onde foi obtido um MSE 38.47.

Tabela 47 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 120$ , FPS = 240

| JPG   |             |              |               |             |             |
|-------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 7.13        | 70.34        | 416.67        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | 9.33        | 65.51        | 1279.73       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 7.66        | 70.56        | 403.09        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| PNG   |             |              |               |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE           | SSIM        | CC          |
| H264  | 7.14        | 70.76        | 382.33        | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| VP9   | <b>9.38</b> | 65.58        | 1265.13       | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |
| H265  | 7.65        | <b>70.90</b> | <b>374.86</b> | <b>0.99</b> | <b>0.99</b> |

A tabela 47 trás como melhor candidato o *codec* H265 com PNG, essa configuração,  $bitrate(Mbps) = 120$  e FPS 240, também trouxe algumas melhorias nas métricas de

similaridade PSNR e MSE em relação as tabelas 45 e 46.

Tabela 48 – Resultados com  $bitrate(Mbps) = 240$ ,  $FPS = 240$

| JPG   |             |              |              |             |             |
|-------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          |
| H264  | 4.05        | 76.80        | 94.18        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | 5.54        | 67.29        | 874.01       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 4.22        | 75.95        | 118.50       | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| PNG   |             |              |              |             |             |
| Codec | TC          | PSNR         | MSE          | SSIM        | CC          |
| H264  | 4.06        | <b>78.93</b> | <b>58.21</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| VP9   | <b>5.55</b> | 67.44        | 851.29       | 0.99        | 0.99        |
| H265  | 4.22        | 77.45        | 86.83        | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |

A tabela 48 demonstra que os parâmetros,  $bitrate(Mbps)$  240 e  $FPS$  240, geram em seu melhor caso, PSNR 78.93 e MSE 58.21, esses valores são encontrados com a combinação H264 com PNG, também é encontrado com essa combinação uma taxa de compressão 4.06, mas ainda sim em relação as métricas de qualidade de reconstrução PSNR e MSE, a combinação ainda fica com resultado inferior ao já encontrado em 39.