



**UFU - Universidade Federal de Uberlândia  
Física Licenciatura - INFIS**

**WANDERSON SOUZA ARAÚJO**

**Inserção de imagem de Tomografia Computadorizada  
no código monte carlo MCNP**

**UBERLÂNDIA-MG**

**2021**

**WANDERSON SOUZA ARAUJO**

**INSERÇÃO DE IMAGEM DE TOMOGRAFIA  
COMPUTADORIZADA NO CÓDIGO MONTE CARLO  
MCNP**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Física como requisito para a obtenção do título de licenciado em Física pela Universidade Federal de Uberlândia

**Orientador: Prof. Dr. Lucio Pereira Neves**

**Uberlândia  
2021**

# RESUMO

O surgimento da tomografia computadorizada (TC) representou um grande avanço no diagnóstico por imagem, pois a imagem formada pela mesma era tridimensional e apresentava mais detalhes se comparada a radiografia convencional. Com o crescente uso da radiação para tratamentos e diagnósticos tornou-se necessário um maior controle das doses de radiação recebidas pelos pacientes e pelos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE). Os IOE's utilizam dosímetros com a finalidade de aferir as doses que são expostos. Já para os pacientes, devido a impossibilidade de medir a dose diretamente se torna necessário o uso de simulações da interação da radiação com a matéria afim de evitar que ocorra reações teciduais ou efeitos estocásticos. A simulação monte carlo realiza com perfeição essa função, porém há a necessidade de transformar a imagem de TC em um arquivo que será lido pelo MCNP. Neste trabalho realizamos a conversão de imagens de tomografia computadorizada para arquivos de entrada do MCNP, além de desenvolver um algoritmo para tornar a conversão mais rápida e eficiente.

**Palavras-chaves:** Método Monte Carlo; Tomografia Computadorizada; MCNP.

# ABSTRACT

The appearance of computer tomography (CT) represented a great advance in the imaging diagnosis, since the image formed by the same was three-dimensional and presented more details when compared to conventional radiography. With the increasing use of radiation for treatments and diagnoses, a greater control of radiation doses received by patients and occupationally exposed individuals (OEI) became necessary. OEI's use dosimeters to measure the doses that are exposed. For the patients, due to the impossibility of measuring the dose directly, it is necessary to use simulations of the interaction of radiation with matter in order to avoid tissue reactions or stochastic effects. The Monte Carlo simulation perfectly performs this function, but there is a need to transform the TC image into a file that will be read by MCNP. In this work we performed the conversion of computed tomography images to MCNP input files, in addition to developing an algorithm to make the conversion faster and more efficient.

**Keywords:** Monte Carlo Method; Computer Tomography; MCNP.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição da contribuição das fontes de radiação para a dose média anual Adaptado de (UNSCEAR, 2000) . . . . .	8
Figura 2 – Esquematização do PAC's Fonte: MA; SARTIPI, 2014 . . . . .	10
Figura 3 – Esquema da Tomografia (CAMPELO, 2019) . . . . .	13
Figura 4 – Unidades Hounsfield (VIEIRA, 2020) . . . . .	14
Figura 5 – Diferentes tipo de dosímetros (STAFF SUL, 2021) . . . . .	15
Figura 6 – Representação do monte carlo (YORIYAZ, 2009) . . . . .	16
Figura 7 – Algoritmo de conversão . . . . .	19
Figura 8 – Algoritmo para converter todos os arquivos . . . . .	20

# SUMÁRIO

	<b>LISTA DE FIGURAS . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS . . . . .</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>O DICOM . . . . .</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>A TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>A DOSIMETRIA E A SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>O ALGORÍTIMO DE CONVERSÃO . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS . . .</b>	<b>21</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>22</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A Tomografia Computadorizada trouxe um grande avanço no diagnóstico por imagem, diferentemente da radiografia, a imagem formada por ela era em 3D, feita de "tomos" ou fatias, permitindo uma maior qualidade e maior detalhes de informação (GARIB et al., 2007).

Com a evolução da tomografia e do diagnóstico por imagem um padrão se tornou necessário, com isso foi criado o DICOM, trazendo um padrão no imageamento, na transmissão e na integração dos aparelhos de diferentes fabricantes. (MILDENBERGER; EICHELBERG; MARTIN, 2002)

Procedimentos médicos utilizando radiação ionizante se tornaram cada vez mais frequentes e com isso, a preocupação de possíveis efeitos determinísticos e efeitos estocásticos.

Segundo Okuno (2013), as reações teciduais são efeitos determinísticos resultados de alta dose comumente surgindo a partir de um certo limite inferior, que varia de acordo com o tecido irradiado e com o tipo de radiação, apresentando efeitos proporcionais à dose recebida. Os principais efeitos são as queimaduras e morte celular, podendo ou não causar mau funcionamento de um órgão. Os efeitos estocásticos independem da dose, podendo ser causado até pela radiação natural porém, a possibilidade de ocorrer aumenta de acordo com a dose: os principais efeitos é o efeito hereditário e o câncer.

O ser humano é exposto a radiação desde sempre, sejam elas artificiais, naturais proveniente de fontes externas ou até mesmo as que estão presentes em seu próprio corpo. Na figura 1 podemos ver melhor o quanto cada fonte de radiação contribui na média anual da população.

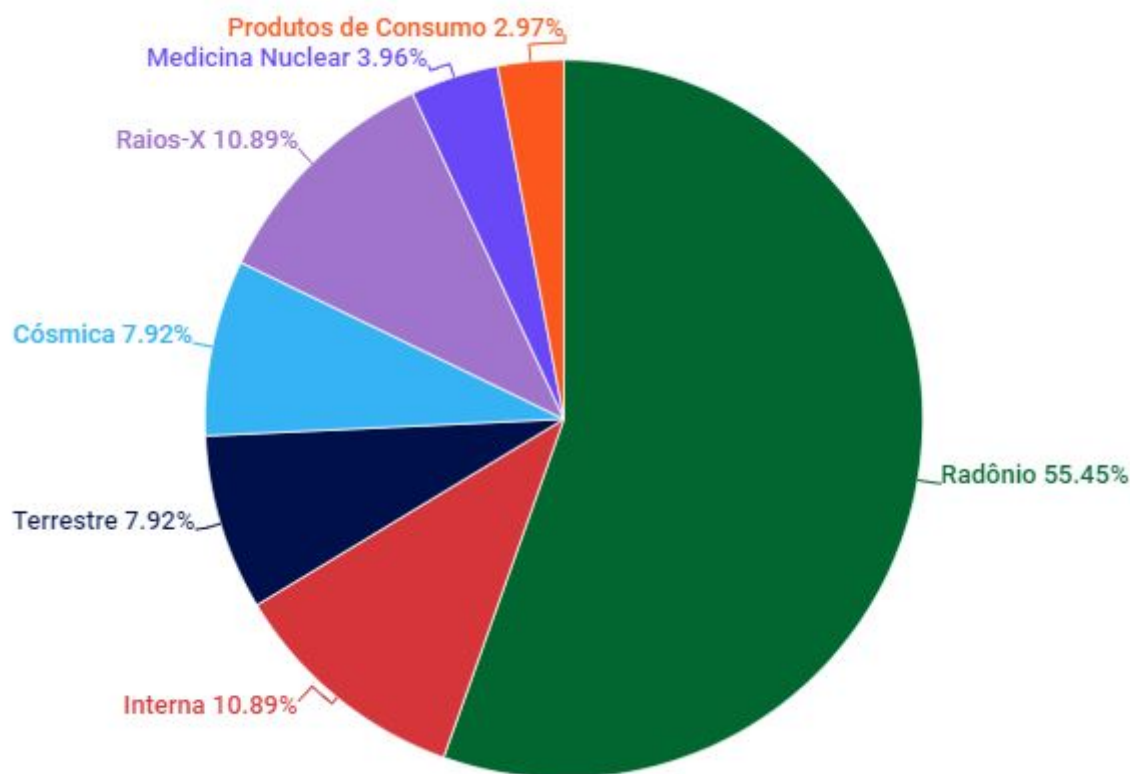


Figura 1 – Distribuição da contribuição das fontes de radiação para a dose média anual Adaptado de (UNSCEAR, 2000)

A dosimetria surge com a finalidade de aferir as doses de radiação, que o paciente ou profissionais receberão em algum tratamento médico. No caso de procedimentos de imagem ainda deve ter a preocupação para que a dose recebida consiga produzir uma imagem de qualidade. Todavia, diferentemente de uma sala ou ambiente qualquer, mensurar a dose recebida pelo paciente não pode ser feita com um dosímetro convencional, é onde entra a utilização de simuladores tanto do corpo humano quanto de sua interação com a radiação.

O método monte carlo é muito utilizado com a finalidade de simular as interações da radiação com a matéria, simulando as diferentes formas em que isso ocorre, seja através do efeito fotoelétrico, efeito compton ou produção de pares.



## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste projeto é através da imagem de tomografia computadorizada, realizar a dosimetria de pacientes usando o método monte carlo.

Para que isso seja possível é necessário cumprir os objetivos específicos abaixo:

1. Compreensão dos conceitos da tomografia computadorizada, do padrão DICOM, da dosimetria e do método monte carlo;
2. Utilização das bibliotecas pydicom e numpy;
3. Criação de um algoritmo que automatize a conversão das imagens;

## 2 O DICOM

Um dos primeiros sistemas de gerenciamento de imagens foi o Sistema de Comunicação e Arquivamento de Imagens (PACS), responsável por armazenar imagens médicas e facilitar a comunicação entre os setores de hospitais e clínicas. Isto era de responsabilidade de cada fabricante: cada um possuía seu próprio sistema que comumente era incompatível com os demais, ou seja, ter vários aparelhos de fornecedores diferentes se tornava um problema para o hospital (MA; SARTIPI, 2014).

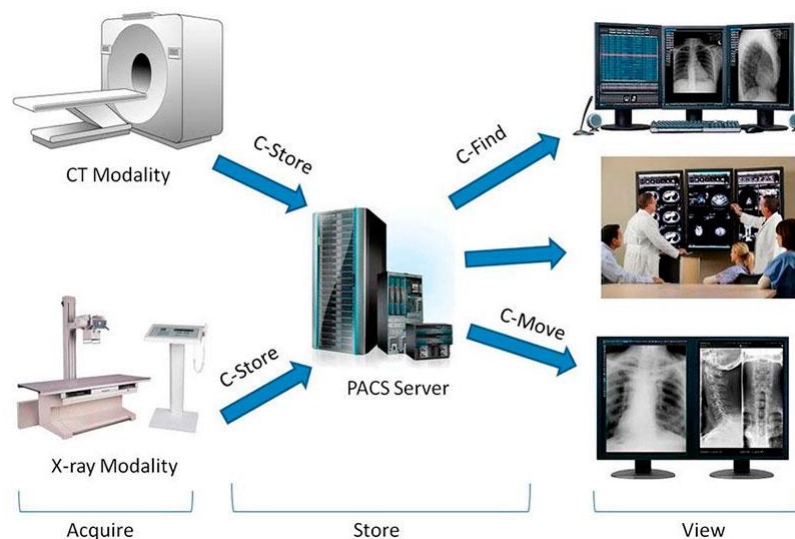


Figura 2 – Esquemática do PAC's Fonte: MA; SARTIPI, 2014

A NEMA (*National Electrical Manufactures Association*) e o ACR (*American College of Radiology*) viram a necessidade de padronizar um sistema, para que fosse possível a integração do imageamento em diferentes tipos de aparelho e também de diferentes fornecedores (BORTOLUZZI et al., 2003).

Em 1983 foi formado um comitê para definir qual e como seria o novo padrão que permitisse a comunicação independente do fabricante do aparelho, facilitasse a expansão do PACS e proporcionasse a criação de um banco de

dados que poderia ser consultada a distância.

Em 1985 surgiu o que então viria a ser chamado de DICOM (*Digital Communications in Medicine*), sistema descrito por uma arquitetura integrada na rede de dados e também aos softwares de aplicação, sendo o principal protocolo utilizado pelo PACS ao se trabalhar com imagens médicas, trazendo segurança e praticidade, além de uma maior difusão das imagens, seja para uso médico ou em pesquisas de estudantes de áreas correlatas (PIANYKH, 2012).

### 3 A TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

A base da Tomografia Computadorizada (TC) tem seu início por volta 1917 com Johann Radon, que desenvolveu uma equação matemática chamada "transformada de Radon". A transformada demonstrava que um objeto tridimensional poderia ser reproduzido a partir de projeções (CARVALHO, 2007).

Mais tarde, na década de 60, Allan Comarck, um físico e matemático daria uma grande contribuição para o problema da reconstrução de um objeto, remetendo a equação desenvolvida por Radon, porém invertida. A equação invertida de Radon seria a base matemática da Tomografia Computadorizada.

A primeira aquisição de uma imagem foi feita por Hounsfield, um engenheiro, que utilizou uma fonte de amerício-241, sendo o tempo necessário para a formação da imagem de nove dias. Posteriormente trocando a fonte de raios gama por um gerador de raios X o tempo para a aquisição da imagem passaria para nove horas, havendo uma melhora significativa na velocidade do processo.

Quando o equipamento de Hounsfield começou a ser comercializado o tempo de processamento já era de apenas seis minutos para a aquisição da imagem e dois minutos para o processamento da mesma. Em 1979 Hounsfield e Comarck foram laureados com o prêmio Nobel de medicina pela invenção da tomografia computadorizada (MOURÃO, 2018).

Segundo Garib et al. (2007) a TC é um método de diagnóstico que utiliza imagens reconstruídas por meio de um computador. Diferentemente da radiografia que apresenta imagens 2D, a tomografia é um exame não invasivo que utiliza Raios-X emitidos em 360° permitindo que seja feita uma imagem 3D formada por fatias, trazendo resultados mais detalhados e permitindo uma melhor visua-

lização anatômica, e da densidade dos tecidos conforme podemos ver na figura 3.

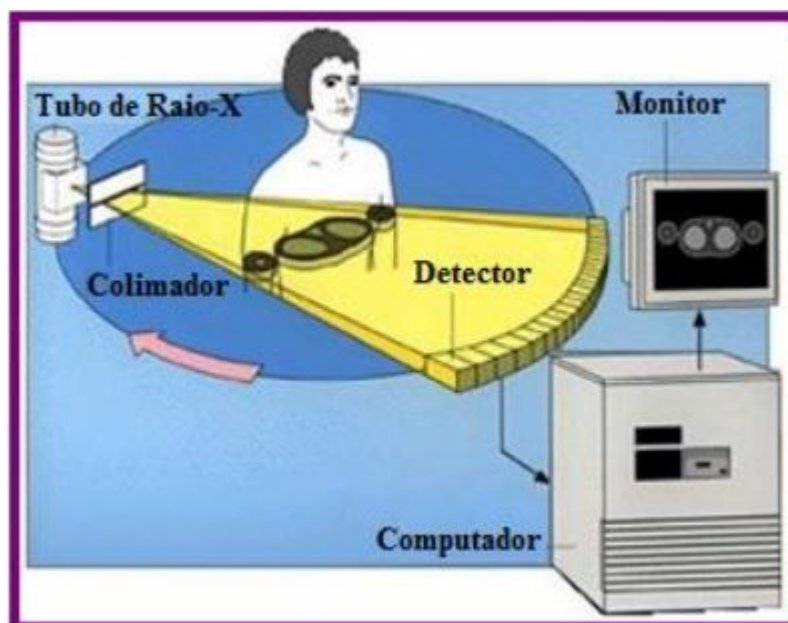


Figura 3 – Esquema da Tomografia (CAMPELO, 2019)

As partes do corpo humano tem diferentes densidades: enquanto ossos são mais densos, peles são menos densas. Isso influencia diretamente na absorção dos raios-x pelo corpo e conseqüentemente na formação da imagem, como podemos observar na figura 4, sendo os ossos radiopacos e o ar radiotransparente (BERTHERAT; MOSNIER-PUDAR; BERTAGNA, 2002).

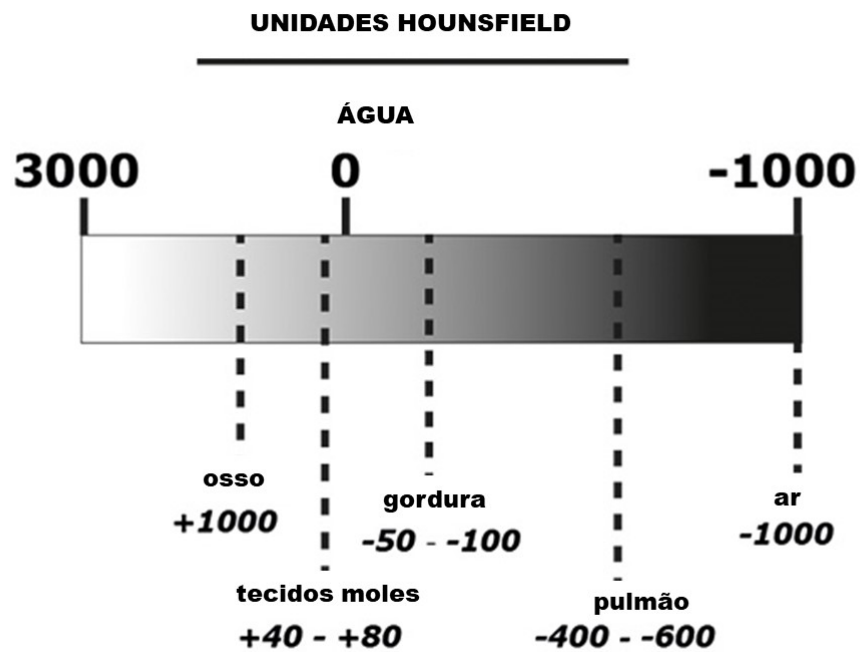


Figura 4 – Unidades Hounsfield (VIEIRA, 2020)

Por se tratar de radiação ionizante, que pode causar efeitos biológicos prejudiciais ao paciente, ao realizar a Tomografia Computadorizada é necessário ter uma preocupação com as altas doses de radiação recebidas pelo mesmo. Esse papel de mensurar as doses recebidas é desempenhado pela dosimetria, que é a medida da exposição ou da dose de radiação em um determinado lugar.

## 4 A DOSIMETRIA E A SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Desde o final do ano de 1895 com a descoberta dos raios-x por Wilhem Röntgen o uso da radiação cresceu exponencialmente, e por um bom período sem nenhum cuidado com os possíveis e até então desconhecidos danos que isso poderia ocasionar. Nem mesmo os pioneiros da radiologia acreditavam que os raios-x poderiam trazer algum malefício (FRANCISCO et al., 2005).

Porém, após centenas de mortes oriundas da exposição à radiação, em 1925 foi criada a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) um dos principais órgãos que regulamentam e padronizam a dosimetria.

Para os chamados Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) a utilização de dosímetro pessoal se tornou essencial e obrigatória em ambientes em que há frequente exposição a radiação, como podemos ver na figura 5, que apresenta dosímetros pessoais de tórax, pulseira e anel.



Figura 5 – Diferentes tipo de dosímetros (STAFF SUL, 2021)

Para os pacientes que serão expostos à radiação, seja para um tratamento

ou um diagnóstico, é importante também saber a dose de radiação necessária ao procedimento. Apesar de não existir limites de dose para os pacientes, mas é importante que os valores sejam adequados para evitar problemas como reações teciduais ou efeitos estocásticos. Devido a impossibilidade de inserção de um dosímetro no indivíduo, durante por exemplo uma tomografia, o método de Monte Carlo se torna de suma importância para conseguir medir a dose de radiação a ser depositada.

O método monte carlo é uma ferramenta matemática que simula processos estocásticos e tem esse nome devido ao projeto Manhattan e ao fato de a cidade de Monte Carlo ser conhecida pelos famosos cassinos (CHAN; DOI, 1983).

Partindo de um gerador de números aleatórios, ele simula a interação da radiação com a matéria, podendo ser descrito como uma família de partículas em que as coordenadas mudam aleatoriamente durante o processo. Entretanto o valor esperado das grandezas como fluxo, ou densidade de partículas, obedecem a equação de Boltzman (YORIYAZ, 2009).

Uma vantagem desse método, é que não há a necessidade de descrever equações matemáticas que representem o comportamento do sistema, porém é necessário que o processo em questão possa ser descrito por funções densidades de probabilidade, como visto em Peralta (2010). Na Figura 6 podemos ver uma representação de um processo usando o monte carlo.

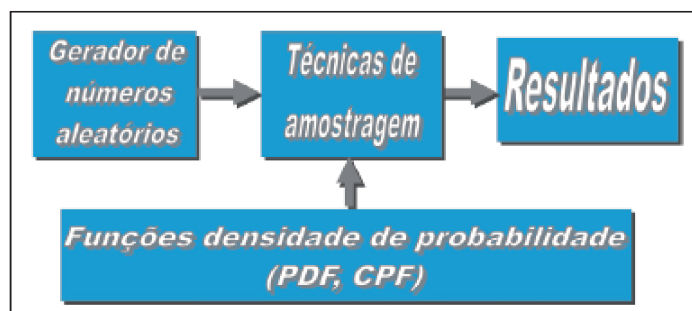


Figura 6 – Representação do monte carlo (YORIYAZ, 2009)



## 5 O ALGORÍTIMO DE CONVERSÃO

Todo o desenvolvimento e processamento foi realizado em um computador com um processador Xeon e5 2620 v3, com 16GB de RAM ddr4.

Primeiramente é necessário entender a estrutura dos dados de entrada do MCNP, que pode ser descrito da seguinte forma:

- Descrição da geometria espacial;
- Descrição dos materiais usados;
- Descrição da fonte radioativa, posição e característica;
- DATA Cards.

Por ser um processo com muitos detalhes, a construção de um cartão de entrada para o MCNP pode ser muito demorado e trabalhoso até para usuários experientes. Sua programação é realizada através de mnemônicos ou cartões. Na tabela abaixo podemos ver alguns tipos de mnemônicos que podem ser utilizados para a construção do arquivo de entrada.

Mnemônico	Tipo de Superfície	Descrição	Equação
P	Plano	Geral	$Ax + By + Cz - D = 0$
PX	Plano	Normal ao eixo X	$x - D = 0$
S	Esfera	Geral	$(y - \bar{y})^2 + (z - \bar{z})^2 - R^2 = 0$
SO	Esfera	Centrada na origem	$x^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0$
C/X	Cilindro	Paralelo ao eixo X	$(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2 + (z - \bar{z})^2 - R^2 = 0$
KX	Cone	No eixo X	$\sqrt{(y^2 + z^2)} - t(x - \bar{x}) = 0$
KY	Cone	No eixo Y	$\sqrt{(x^2 + z^2)} - t(y - \bar{y}) = 0$

Tabela 1 – Mnemônicos para superfícies MCNP (POSSANI, 2012)

Cada superfície tem um número de identificação, que é utilizado para criar as células, as estruturas básica do MCNP, podendo ser rotacionadas, transladas ou até mesmo repetidas inúmeras vezes.

As células definem um objeto que pode ser chamado de "objeto simulador", sendo que cada unidade pode ser composta de diferentes formas e densidades. Temos também o conceito de Universo, que é objeto de estudo deste trabalho, ou o objeto base, podendo ser uma ou mais células, tecidos com células iguais ou diferentes (POSSANI, 2012).

Após a definição do Universo, o mesmo pode ser utilizado de diferentes formas para se gerar outras definições geométricas, possibilitando a criação de estruturas a partir das informações obtidas na tomografia computadorizada, formando a estrutura que se deseja.

Um cartão de entrada do MCNP devem possuir obrigatoriamente 3 blocos de informações. No primeiro bloco especifica-se as células da simulação, no segundo as superfícies que compõe as células e no terceiro são definidas as características da fonte de radiação, composição de materiais, tempo de simulação, ou alguma outra informação relevante (CHENG, 2019).

O algoritmo desenvolvido e o utilizado neste trabalho foi escrito na linguagem Python e utiliza das bibliotecas `numpy` e `pydicom`.

Primeiramente é extraído a matriz da imagem DICOM utilizando o `pydicom`, através do `numpy` o tamanho da matriz é reduzido para uma resolução de 128 pixels. Após isso ocorre a fusão de pixels adjacentes transformando-os em cuboides, ou seja, começando a partir do primeiro pixel da primeira linha, se um pixel for igual ao próximo pixel é adicionado 1 unidade ao comprimento do cuboide, assim sucessivamente até a necessidade de criar um próximo cuboide

que seguirá o mesmo padrão.

Para gerar o arquivo de entrada para o MCNP, é necessário obedecer diversas especificações. O algoritmo utilizado consegue gerar com acurácia sendo esquematizado na figura abaixo.

```
1  import pydicom
2  import numpy as np
3  import os
4
5  def cell_card(dicom, file):...
50
51
52
53  def surface_card(dicom, file):...
84
85
86  def data_card(file):...
90
91
92  def parse_dicom(path_dicom, export_path):...|
04
05
06  #parse_dicom("80_dicom_125mm.dcm", "80_dicom_125mm.imp")
```

Figura 7 – Algoritmo de conversão

Para converter as imagens utilizando esse algoritmo em questão seria necessário colocar o caminho da imagem e sempre trocar quando mudar a imagem, como isso não seria prático, foi desenvolvido um código adicional para que automatiza essa função.

Esse algoritmo busca em pastas e subpastas arquivos no formato dicom, que são terminados em ".dcm". Caso o arquivo em questão seja um arquivo dicom o algoritmo de conversão é executado e posteriormente salvo em uma pasta criada com os resultados no formato ".imp"

```
1 import os
2 #import dicom_mcnp_parser
3 from dicom_mcnp_parser import parse_dicom
4
5 for subdir, dirs, files in os.walk('img'): #caminho do arquivo
6     for name in files:
7         if name.endswith('.dcm'):
8             dicomPath = subdir + os.sep + name
9             mcnpDir = subdir.replace('img', 'result')
10            mcnpName = name.split('.')[0] + '.imp'
11            mcnpPath = mcnpDir + os.sep + mcnpName
12
13            if not os.path.exists(mcnpDir):
14                os.makedirs(mcnpDir)
15
16            parse_dicom(dicomPath, mcnpPath)
```

Figura 8 – Algoritmo para converter todos os arquivos

## **6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS**

A tomografia computadorizada aliada com a simulação de monte carlo são grandes ferramentas para a dosimetria, porém ainda existe uma dificuldade no manejo de arquivos dicom em relação a criação do arquivo de entrada para o MCNP. Neste trabalho o algoritmo utilizado, juntamente com o criado para melhorar a aplicabilidade, cumprem com precisão suas funções de criar o arquivo de entrada para o MCNP, convertendo todos os arquivos com tempo de duração estimado em 3 segundos para cada imagem no Hardware utilizado.

Futuramente seria interessante desenvolver um algoritmo que venha a facilitar a exibição das imagens de uma só vez, ou ainda melhorar a acurácia de mesclagem de pixels do algoritmo utilizado. Pode-se ainda ser desenvolvido uma interface gráfica, ou até mesmo um site, para disponibilizar a ferramenta para que outras pessoas possam utilizar o conversor com facilidade.

## REFERÊNCIAS

BERTHERAT, J.; MOSNIER-PUDAR, H.; BERTAGNA, X. Adrenal incidentalomas. *Current opinion in oncology*, LWW, v. 14, n. 1, p. 58–63, 2002.

BORTOLUZZI, M. K. et al. Desenvolvimento e implementação de um editor de documentos estruturados no padrão dicom structured report. Florianópolis, SC, 2003.

CAMPELO, D. d. A. M. *Estimativa da dose em pacientes adultos submetidos a exames de tórax e abdômen em tomografia computadorizada no Brasil*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2019.

CARVALHO, A. C. P. História da tomografia computadorizada. *Revista Imagem*, v. 29, n. 2, p. 61–66, 2007.

CHAN, H. P.; DOI, K. The validity of monte carlo simulation in studies of scattered radiation in diagnostic radiology. *Physics in Medicine and Biology*, IOP Publishing, v. 28, n. 2, p. 109–129, feb 1983. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088%2F0031-9155%2F28%2F2%2F001>>.

CHENG, Y. *Development of a python based script for conversion of DICOM medical images to MCNP input files for Monte Carlo simulations*. Dissertação (B.S. thesis) — Høgskulen på Vestlandet/Western Norway University of Applied Sciences, 2019.

FRANCISCO, F. C. et al. Radiologia: 110 anos de história. *Rev Imagem*, v. 24, p. 281–6, 2005.

GARIB, D. G. et al. Tomografia computadorizada de feixe cônico (cone beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na ortodontia. *Rev Dental Press Ortod Ortop Facial*, SciELO Brasil, v. 12, n. 2, p. 139–56, 2007.

MA, W.; SARTIPI, K. An agent-based infrastructure for secure medical imaging system integration. In: IEEE. *2014 IEEE 27th International Symposium on Computer-Based Medical Systems*. [S.l.], 2014. p. 72–77.

MILDENBERGER, P.; EICHELBERG, M.; MARTIN, E. Introduction to the dicom standard. *European radiology*, Springer, v. 12, n. 4, p. 920–927, 2002.

MOURÃO, A. P. *Tomografia computadorizada: tecnologias e aplicações*. [S.l.]: Difusão Editora, 2018.

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de goiânia. *Estudos avançados*, SciELO Brasil, v. 27, p. 185–200, 2013.

PERALTA, L. Introdução aos métodos de simulação monte carlo no transporte de radiação. *Unviversidade de Lisboa*, v. 1, 2010.

PIANYKH, O. S. What is dicom? In: *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)*. [S.l.]: Springer, 2012. p. 3–5.

POSSANI, R. G. *Re-engenharia do software SCMS para uma linguagem orientada a objetos (Java) para uso em construções de phantoms segmentados*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2012.

RADIATION), U. U. N. S. C. on the Effects of A. *Sources and effects of ionizing radiation*. [S.l.]: United Nations New York, 2000.

STAFF. *Laboratório de Dosimetria*. 2021. Disponível em: <<http://www.staffsul.com.br/dosimetria/dosimetro-metrobras>>.

VIEIRA, S. *Incidentaloma Adrenal*. 2021. Disponível em: <<https://drasuzanavieira.med.br/2020/01/19/incidentaloma-adrenal/>>.

YORIYAZ, H. Método de monte carlo: princípios e aplicações em física médica. *Revista Brasileira de Física Médica*, v. 3, n. 1, p. 141–149, 2009.