

Márcio Teixeira Oliveira

Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade  
radiográfica.

Universidade Fernando Pessoa  
Porto, 2018



Márcio Teixeira Oliveira

Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade  
radiográfica.

Universidade Fernando Pessoa  
Porto, 2018

© 2018  
Márcio Teixeira Oliveira  
“TODOS OS DIREITOS RESERVADOS”

Márcio Teixeira Oliveira

Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.

Tese apresentada à Universidade Fernando Pessoa como parte dos requisitos para obtenção do grau de doutor em Ciências da Informação, sob a orientação do Professor Doutor Luís Manuel Borges Gouveia.

## RESUMO

MÁRCIO TEIXEIRA OLIVEIRA: Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.

(Sob orientação do Professor Doutor Luís Manuel Borges Gouveia)

Os raios-X descobertos em 1895, por Wihelm Conrad Roentgen, é uma importante fonte de diagnóstico por imagem, principalmente na investigação de fraturas ósseas, acompanhamento de remodelação óssea pós-fratura e a avaliação da densidade óssea. O exame radiográfico é de fácil execução e não invasiva. Porém a exposição excessiva do paciente (tecidos moles) podem causar danos biológicos significativos. Embora permita avaliar a densidade óssea o exame possui limitações em quantificar a densidade em perdas ósseas inferiores a 30%. Doenças ósseas e a osteoporose utilizam equipamentos de imagem para mensurar a densidade óssea. O DXA é o exame padrão ouro para mensuração de densidade óssea. O Sistema Único de Saúde do Brasil realiza o exame gratuito, entretanto o paciente deve obter o encaminhamento médico para agendamento do exame. Na rede privada de saúde possui custo estimado de € 22,22 à € 66.66 (dependendo da localização geográfica). O Brasil é dividido por 5 regiões (Norte, Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste). A região norte possui algumas particularidades (difícil acesso ambulatorial e diagnóstico por imagem, além de baixo Índice de Desenvolvimento Humano – IDH) que impossibilita o diagnóstico rápido de doenças. A Densitometria Radiográfica é uma técnica que permite mensurar densidade óssea por meio de imagens radiográfica. Para mensurar densidade esta técnica emprega análise estatística – modelo de análise de regressão. Entretanto não há consenso sobre a determinação da função de ajuste polinomial para calcular a densidade em milímetros de alumínio. O objetivo deste trabalho é a construção de um algoritmo de seleção polinomial que permita mensurar a densidade radiográfica. Para execução do algoritmo, foram realizadas 36 tomadas radiográficas de amostras ósseas bovina, além de estudo sobre possível aplicação da proposta na região norte do Brasil. Os resultados obtidos pelo algoritmo para as amostras 1, 2, 4 e 5 demonstraram grande precisão e exatidão, atestando a validade e confiabilidade do algoritmo proposto. Entretanto as amostras 3 e 6 observou-se exatidão, porém, baixa precisão.

**Palavras-chave:** Sistemas de informação - Identificação de imagem radiográfica e Computação em Informática Médica.

## ABSTRACT

MÁRCIO TEIXEIRA OLIVEIRA: A polynomial selection algorithm for measuring radiographic density.

(Under the guidance of research PhD Luís Manuel Borges Gouveia)

The X-rays discovered in 1895, by Wilhelm Conrad Roentgen, are an important source of imaging diagnosis, especially in the investigation of bone fractures, follow-up of post-fracture bone remodeling and bone density assessment. Radiographic examination is easy to perform and non-invasive. However, excessive patient exposure (soft tissue) can cause significant biological damage. Although it is possible to evaluate the bone density, the test has limitations in quantifying the density in bone loss inferior to 30%. Bone diseases and osteoporosis use imaging equipment to measure bone density. DXA is the gold standard test for measuring bone density. The Brazilian Unified Health System performs the free exam, however, the patient must obtain the medical referral to schedule the examination. In the private healthcare network, the estimated cost is between € 22.22 and € 66.66 depending on the geographical location. Brazil is divided into 5 regions (North, South, Southeast, Midwest and Northeast). The northern region has some peculiarities (difficult to access outpatient and diagnostic imaging, in addition to low Human Development Index - HDI) that makes it impossible to quickly diagnose diseases. Radiographic Densitometry is a technique that allows the measurement of bone density by means of radiographic images. To measure density this technique employs statistical analysis - regression analysis model. However, there is no consensus on the determination of the polynomial fit function to calculate the density in millimeters of aluminum. The objective of this work is the construction of a polynomial selection algorithm that allows to measure the radiographic density. For the execution of the algorithm, 36 radiographic samples of bovine bone samples were performed, besides a study about the possible application of the proposal in the northern region of Brazil. The results obtained by the algorithm for samples 1, 2, 4 and 5 demonstrated great accuracy and precision, attesting the validity and reliability of the proposed algorithm. However, samples 3 and 6 showed accuracy, but low precision.

**Keywords:** Information systems - Identification of radiographic image and Computation in Medical Informatics.

## RÉSUMÉ

MÁRCIO TEIXEIRA OLIVEIRA: Un algorithme de sélection polynomiale pour mesurer la densité radiographique.

(Sous la direction du professeur Luís Manuel Borges Gouveia)

Les rayons X découverts en 1895 par Wilhelm Conrad Roentgen sont une source importante de diagnostic d'imagerie, en particulier dans l'étude des fractures osseuses, le suivi du remodelage osseux post-fracture et l'évaluation de la densité osseuse. L'examen radiographique est facile à réaliser et non invasif. Cependant, une exposition excessive du patient (tissus mous) peut causer des dommages biologiques importants. Bien qu'il soit possible d'évaluer la densité, l'examen a des limites dans la quantification de la densité dans les pertes osseuses de moins de 30%. Les maladies osseuses et l'ostéoporose utilisent un équipement d'imagerie pour mesurer la densité osseuse. DXA est le test de référence pour mesurer la densité osseuse. Le système de santé unifié brésilien effectue l'examen gratuit, cependant, le patient doit obtenir la référence médicale pour planifier l'examen. Dans le réseau privé de santé, le coût estimé est compris entre 22,22 et 66,66 € selon la localisation géographique. Le Brésil est divisé en 5 régions (Nord, Sud, Sud-est, Midwest et Nord-Est). La région du nord présente quelques particularités (difficile d'accéder à l'imagerie ambulatoire et diagnostique, en plus de l'indice de développement humain faible - HDI) qui rend impossible le diagnostic rapide des maladies. La densitométrie radiographique est une technique qui permet de mesurer la densité osseuse au moyen d'images radiographiques. Pour mesurer la densité, cette technique utilise l'analyse statistique - modèle d'analyse de régression. Cependant, il n'y a pas de consensus sur la détermination de la fonction d'ajustement polynomiale pour calculer la densité en millimètres d'aluminium. L'objectif de ce travail est la construction d'un algorithme de sélection polynomiale qui permet de mesurer la densité radiographique. Pour l'exécution de l'algorithme, 36 échantillons radiographiques d'échantillons d'os bovins ont été réalisés, en plus d'une étude sur l'application possible de la proposition dans la région nord du Brésil. Les résultats obtenus par l'algorithme pour les échantillons 1, 2, 4 et 5 ont démontré une grande précision et exactitude, attestant la validité et la fiabilité de l'algorithme proposé. Cependant, les échantillons 3 et 6 ont montré une exactitude, mais une faible précision.

**Mots clés:** Systèmes d'information - Identification de l'image radiographique et calcul en informatique médicale.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Deus, a minha noiva Loiane Massunari, à minha família, aos meus amigos, e ao meu orientador Prof. Dr. Luís Manuel Borges Gouveia, por me auxiliarem nesta etapa tão importante de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me dar sabedoria e saúde para realização deste projeto.

Ao meus pais pela ajuda e incentivo nos estudos e em todos os momentos de minha vida.

A todos os meus familiares pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu amigo e orientador, professor Dr. Luis Manuel Borges Gouveia, por me aceitar com seu orientado e creditar sua confiança na construção deste trabalho.

A Loiane Massunari, por estar presente nos momentos mais difíceis de minha vida.

A todos as pessoas e o Hospital Escola da Universidade Fernando Pessoa por contribuírem para realização experimental deste trabalho.

Aos todos os colegas que fiz durante minha trajetória como aluno de pós-graduação, em especial Cristiane, Márcia, Mário, Paola e Paulo pelo incentivo e ajuda neste doutoramento.

Ao professor Dr. Mário Jefferson Quirino Louzada por “emprestar” vossos conhecimentos sobre densidade radiográfica.

A todos os professores do programa de pós-graduação - doutoramento em Ciência da Informação, em especial os professores Antônio Cardoso, Ana Sacau por compartilharem vossos conhecimentos.

## ÍNDICE

<b>TABELA DAS FIGURAS</b> .....	XV
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	XX
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	XXIII
<b>ÍNDICE DAS EQUAÇÕES</b> .....	XXIV
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	XXVI
<b>CAPITULO I – INTRODUÇÃO</b> .....	1
1. Introdução.....	1
1.1. História dos raios-X .....	1
1.2. Aplicações dos raios-X.....	5
1.3. Contexto e relevância.....	12
1.4. Problema e desafios .....	24
1.5. Objeto e limites da Pesquisa .....	31
1.6. Objetivos da pesquisa .....	31
1.7. Estrutura do trabalho.....	31
<b>CAPITULO II – A DENSIDADE RADIOGRÁFICA</b> .....	33
2. Introdução.....	33
2.1. Métodos para quantificar densidade óssea .....	34
2.2. O uso da técnica de Densitometria Radiográfica .....	38
2.3. Resumo do capítulo.....	39
<b>CAPÍTULO III - METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DE DENSIDADE RADIOGRÁFICA</b> .....	41
3. Introdução.....	41
3.1. Tipo de estudo.....	42
3.2. Delineamento e etapas da pesquisa .....	44
3.1. Obtenção das amostras.....	46
3.1.1. Coleta óssea .....	46

3.1.2.	Limpeza óssea .....	47
3.1.3.	Confecção dos blocos ósseos .....	48
3.2.	Confecção do artefato densitométrico .....	49
3.3.	Tomadas radiográficas .....	50
3.4.	Processo computacional para realização da técnica de densidade radiográfica.....	53
3.5.	Filtro de cor aplicado para verificação de absorção de raios-X. ....	57
3.6.	Acesso a informação .....	58
3.7.	Resumo do capítulo.....	58
<b>CAPÍTULO IV – PROPOSTA DE UM ALGORITMO DE SELEÇÃO POLINOMIAL PARA DENSITOMETRIA RADIOGRÁFICA. ....</b>		<b>60</b>
4.	Introdução .....	60
4.1.	Análise de regressão .....	62
4.1.1.	Modelo de regressão linear .....	62
4.1.2.	Modelo de regressão não linear .....	63
4.1.3.	Método dos mínimos quadrados – caso discreto .....	63
4.1.4.	Ajuste de curva polinomial.....	64
4.2.	A proposta .....	65
A.	Mensuração das variáveis X e Y .....	65
B.	Somatória das variáveis.....	67
C.	Regra de Cramer e determinantes .....	68
D.	Funções de ajuste polinomial de 2 <sup>a</sup> à 5 <sup>a</sup> ordem .....	69
I.	Mensuração polinomial de grau 2.....	70
II.	Mensuração polinomial de grau 3.....	72
III.	Mensuração polinomial de grau 4.....	74
IV.	Mensuração polinomial de grau 5.....	78
E.	Coefficiente de determinação .....	83
F.	Variância residual .....	84
G.	Variabilidade de variância residual .....	85

4.3.	Resumo do capítulo.....	86
<b>CAPÍTULO V – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DE DENSIDADE RADIOGRÁFICA E ESTUDO DEMOGRÁFICO.....</b>		
5.	Introdução.....	88
5.1.	Resultados de Densidade Radiográfica em milímetros de alumínio - mmAl.....	89
5.2.	Resultados da variabilidade da variância residual .....	91
5.3.	Resultados da reprodução tridimensional dos blocos .....	92
5.4.	Resultados de ajuste de curva polinomial do artefato densitométrico.....	93
5.5.	Resultados de absorção dos raios-X por meio de filtro de cores.....	112
5.6.	Resultado do estudo quantitativo de equipamentos de diagnóstico para densitometria óssea: DXA e Raios-X (Densitometria Radiográfica).....	119
5.7.	Resultado da análise da movimentação de pessoas para a realização do exame de densidade óssea (DXA) e raios-X.....	145
5.8.	Resumo do capítulo.....	155
<b>CAPÍTULO VI – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>		
6.	Introdução.....	156
6.1.	Discussão dos resultados obtidos .....	157
6.1.0.	Densidade Radiográfica.....	157
6.1.1.	Variabilidade de variância residual .....	158
6.1.2.	Ajuste de curva polinomial.....	159
6.1.3.	Absorção de raios-x por meio de filtro de cores .....	159
6.1.4.	Quantitativos de equipamentos DXA, raios-X e análise de redes.....	160
6.2.	Resumo do capítulo.....	161
<b>CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES.....</b>		
7.	Introdução.....	163
7.1.	Considerações Finais .....	163
7.2.	Os contributos do trabalho .....	164
7.3.	Limitações do trabalho.....	164

7.4.	Trabalhos Futuros.....	165
7.5.	Recomendações .....	165
7.6.	Publicações Resultantes da Pesquisa .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
	REFERÊNCIAS.....	167
	ANEXOS .....	179
	Anexo 1 – Parecer dos comitês de éticas da Universidade Fernando Pessoa e Hospital Escola da Fundação Fernando Pessoa.....	179
	Anexo 2 – Radiografias utilizadas nos experimentos.....	181
	Anexo 3 – Codificação complementar do algoritmo.....	187

## TABELA DAS FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Wilhelm Conrad Roentgen (1845 – 1923) .....	2
<b>Figura 2</b> - A primeira radiografia médica: a radiografia da mão esquerda de Anna Bertha Ludwing, feita por Roentgen em 1895. ....	2
<b>Figura 3</b> - A) A primeira radiografia realizada utilizando um ecrã fluorescente intensificador, feita pelo Professor Michael Pupin. B) Radiografia realizada com uma placa de alta definição em combinação com um filme de raio-X médico de emulsão única. ....	3
<b>Figura 4</b> - Tubo de raios-X de Coolidge, construído com o objetivo de uma maior produção de raios X e a dissipação rápida do calor (1913). ....	4
<b>Figura 5</b> - A) Radiografia evidenciando uma fratura transversal do fêmur esquerdo de um paciente, B) Radiografia do pós-operatório do fêmur do paciente. ....	5
<b>Figura 6</b> - A) Telerradiografia em norma lateral convencional, B)- Telerradiografia em norma lateral digital. ....	6
<b>Figura 7</b> - A) Exame sem lesão. B) Exame evidenciando uma assimetria do tipo Neodensidade, após um ano do exame mostrado em A. ....	7
<b>Figura 8</b> - Fluoroscópio - equipamento que consiste de uma fonte emissora de raios-X e de uma tela fluorescente que capta as imagens, ficando o paciente posicionado entre os dois. ....	7
<b>Figura 9</b> - Tomógrafo: apresenta uma moldura circular conhecida como “Gantry” que rotaciona com um tubo de raios-X montado em um lado e um detector no lado oposto. ....	8
<b>Figura 10</b> - Aparelho de radioterapia que utiliza a tecnologia 3D, que possibilita uma maior precisão na localização do tumor por meio de um exame de tomografia, e assim o feixe de raios formado por um acelerador linear consegue atingir o local exato, com doses precisas de radiação. ....	9
<b>Figura 11</b> - Radiografia para inspeção de solda (método não destrutivo). ....	10
<b>Figura 12</b> - Equipamento utilizado na técnica de absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA). ....	11
<b>Figura 13</b> - Mapa do Brasil com a região Norte em destaque, representada pelos seus sete estados. ....	12
<b>Figura 14</b> - Mapa do Brasil com o estado do Acre em destaque. ....	14
<b>Figura 15</b> - Mapa do Brasil com o estado do Amapá em destaque. ....	15
<b>Figura 16</b> - Mapa do Brasil com o estado do Amazonas em destaque. ....	17
<b>Figura 17</b> - Mapa do Brasil com o estado do Pará em destaque. ....	18
<b>Figura 18</b> - Mapa do Brasil com o estado de Rondônia em destaque. ....	20
<b>Figura 19</b> - Mapa do Brasil com o estado de Roraima em destaque. ....	21

<b>Figura 20</b> - Mapa do Brasil com o estado do Tocantins em destaque.....	22
<b>Figura 21</b> - A) Osso longo e as suas respectivas regiões: D = diáfise (porção média do osso); E = epífises (são as extremidades); M = metáfise (região onde se encontra a placa de crescimento ósseo em crianças e adolescentes). B) Imagem radiográfica do osso longo, evidenciando as áreas radiopacas (osso cortical) e radiolúcidas (osso esponjoso). .....	25
<b>Figura 22</b> – Classificação da pesquisa .....	43
<b>Figura 23</b> – Estágios da pesquisa metodológica. ....	44
<b>Figura 24</b> – Tecido bovino utilizado no procedimento experimental.....	47
<b>Figura 25</b> - Tecido ósseo após a obtenção das amostras cilíndricas. ....	47
<b>Figura 26</b> – Materiais e equipamentos de proteção utilizados na fase experimental.....	48
<b>Figura 27</b> – Equipamento de policorte fixado na plataforma e posicionado para efetuar o corte ósseo. ....	48
<b>Figura 28</b> – Método de corte para confecção dos blocos ósseos.....	49
<b>Figura 29</b> – Representação gráfica do artefato densitométrico cunha .....	50
<b>Figura 30</b> – Equipamento radiológico utilizado no experimento.....	51
<b>Figura 31</b> - Papel quadriculado para alinhamento, referencial densitométrico e objetos de estudo.....	52
<b>Figura 32</b> – Tomada radiográfica dos blocos 01, 02 e 04.....	52
<b>Figura 33</b> – Tomada radiográfica dos blocos 3, 5 e 6.....	53
<b>Figura 34</b> – Página inicial do software de processamento.....	54
<b>Figura 35</b> – Janela responsável por selecionar o arquivo radiográfico a ser processado.....	54
<b>Figura 36</b> – Janela responsável por selecionar o artefato densitométrico.....	55
<b>Figura 37</b> – Seleção do artefato densitométrico presente na imagem radiográfica. ....	55
<b>Figura 38</b> – Gráfico de dispersão gerado pelo processamento do referencial densitométrico. ....	56
<b>Figura 39</b> - Seleção do objeto de estudo presente na imagem radiográfica. ....	56
<b>Figura 40</b> – Reprodução tridimensional do objeto de estudo - malha .....	57
<b>Figura 41</b> – Projeção de cores tridimensional do objeto de estudo – filtro de cor .....	57
<b>Figura 42</b> – Exemplo de projeção do mapa de cores da imagem radiográfica. ....	58
<b>Figura 43</b> – Representação gráfica do modelo de análise de regressão linear para densitometria radiográfica. ....	62
<b>Figura 44</b> – Representação gráfica do modelo de análise de regressão não linear para densitometria radiográfica.....	63
<b>Figura 45</b> – Processo de seleção polinomial por meio da variabilidade da variância residual. ..	65
<b>Figura 46</b> – Funcionalidade algorítmica para mensuração da variável X.....	66
<b>Figura 47</b> – Funcionalidade algorítmica para mensuração da variável Y.....	67

<b>Figura 48</b> – Função algorítmica para calcular o somatório da matriz simplificada.....	68
<b>Figura 49</b> – Funcionalidade algorítmica para calcular o determinante das matrizes de ordem 2 a 5.....	68
<b>Figura 50</b> – Método para construção matricial com aplicação de determinantes para calcular ordem 2.....	71
<b>Figura 51</b> – Método para construção matricial com aplicação de determinantes para calcular ordem 3.....	74
<b>Figura 52</b> – Método para construção matricial com aplicação de determinantes para calcular ordem 4.....	78
<b>Figura 53</b> – Método para construção matricial com aplicação de determinantes para calcular ordem 5.....	82
<b>Figura 54</b> – Método para construção matricial com aplicação de determinantes para calcular ordem 5.....	83
<b>Figura 55</b> – Sub algoritmo para cálculo do coeficiente de determinação. ....	84
<b>Figura 56</b> – Sub algoritmo para cálculo de variância residual.....	85
<b>Figura 57</b> – Método para determinar a variância residual apropriada para cálculo de densidade radiográfica. ....	86
<b>Figura 58</b> – Médias das espessuras calculadas e reais dos blocos ósseos 1,2 e 3. ....	90
<b>Figura 59</b> – Médias das espessuras calculadas e reais dos blocos ósseos 4,5 e 6. ....	91
<b>Figura 60</b> – Reprodução tridimensional em milímetros de alumínio dos blocos 1, 2 e 3.....	93
<b>Figura 61</b> – Reprodução tridimensional em milímetros de alumínio dos blocos 4, 5 e 6.....	93
<b>Figura 62</b> – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 1; b) Radiografia 2; c) Radiografia 3 e d) Radiografia 4. ....	113
<b>Figura 63</b> – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 5; b) Radiografia 6; c) Radiografia 7; d) Radiografia 8; e) Radiografia 9 e f) Radiografia 10;.....	114
<b>Figura 64</b> – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 11; b) Radiografia 12; c) Radiografia 13; d) Radiografia 14; e) Radiografia 15 e f) Radiografia 16; .....	115
<b>Figura 65</b> – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 17 e b) Radiografia 18.....	115
<b>Figura 66</b> – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 19 e b) Radiografia 20.....	116

<b>Figura 67</b> – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 21; b) Radiografia 22; c) Radiografia 23; d) Radiografia 24; e) Radiografia 25 e f) Radiografia 26. ....	117
<b>Figura 68</b> – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 27; b) Radiografia 28; c) Radiografia 29; d) Radiografia 30; e) Radiografia 31 e f) Radiografia 32. ....	118
<b>Figura 69</b> – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 33; b) Radiografia 34; c) Radiografia 35 e d) Radiografia 36. ....	119
<b>Figura 70</b> – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado do Acre-AC..	120
<b>Figura 71</b> – Mapa demográfico do número de equipamentos de raios-X no estado do Acre-AC. ....	121
<b>Figura 72</b> – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado do Amapá-AP. ....	122
<b>Figura 73</b> – Mapa demográfico do número de equipamento de raios-X no estado do Amapá-AP. ....	122
<b>Figura 74</b> – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado do Amazonas-AM. ....	125
<b>Figura 75</b> – Mapa demográfico do número de equipamento de raios-X no estado do Amazonas-AM. ....	126
<b>Figura 76</b> – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado Pará-PA. ....	132
<b>Figura 77</b> – Mapa demográfico do número de equipamento de raios-X no estado do Pará-PA. ....	133
<b>Figura 78</b> – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado de Rondônia-RO. ....	135
<b>Figura 79</b> – Mapa demográfico do número de equipamento de raios-X no estado de Rondônia-RO. ....	136
<b>Figura 80</b> – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado de Roraima-RR. ....	137
<b>Figura 81</b> – Mapa demográfico do número de equipamento de raios-X no estado de Roraima-RR. ....	138
<b>Figura 82</b> – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado do Tocantins-TO. ....	144
<b>Figura 83</b> – Mapa demográfico do número de equipamento de raios-X no estado do Tocantins-TO. ....	145

<b>Figura 84</b> – Análise de redes de grafos para realização do exame de densitometria óssea (DXA) no estado do Acre-AC.....	146
<b>Figura 85</b> – Análise de redes de grafos para realização de exames de densitometria radiográfica (raios-X) no estado do Acre-AC. ....	146
<b>Figura 86</b> – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria óssea (DXA) no estado do Amazonas-AM. ....	147
<b>Figura 87</b> – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria radiográfica (raios-X) no estado do Amazonas-AM.....	147
<b>Figura 88</b> – Análise de redes de grafos para realização de exames de densitometria óssea (DXA) no estado do Amapá-AP.....	148
<b>Figura 89</b> – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria radiográfica (raios-X) no estado do Amapá-AP. ....	149
<b>Figura 90</b> – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria óssea (DXA) no estado do Pará-PA.....	150
<b>Figura 91</b> – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria radiográfica (Raio-X) no estado do Pará-PA. ....	151
<b>Figura 92</b> – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria óssea (DXA) no estado de Rondônia-RO. ....	152
<b>Figura 93</b> – Análise de redes de grafos para realização de exames de densitometria radiográfica (raios-X) no estado de Rondônia-RO.....	152
<b>Figura 94</b> – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria óssea (DXA) no estado do Tocantins-TO. ....	153
<b>Figura 95</b> – Análise de redes de grafos para realização de exames de densitometria radiográfica (raios-X) no estado do Tocantins-TO.....	154

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Porcentagem da população masculina com idade igual ou superior à 50 anos, de acordo com o censo de 2000 e 2010. ....	13
<b>Gráfico 2</b> - Gráfico da porcentagem da população feminina com idade igual ou superior à 50 anos, de acordo com o censo de 2000 e 2010.....	13
<b>Gráfico 3</b> - Gráfico ilustrando a distribuição da população do estado do Acre, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO. ....	15
<b>Gráfico 4</b> - Gráfico ilustrando a distribuição da população do estado do Amapá, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO.....	16
<b>Gráfico 5</b> – Ilustração da distribuição populacional do estado do Amazonas, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO. ....	17
<b>Gráfico 6</b> - Gráfico ilustrando a distribuição da população do estado do Pará, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO. ....	19
<b>Gráfico 7</b> – Ilustração da distribuição populacional do estado de Rondônia, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO. ....	20
<b>Gráfico 8</b> - Gráfico ilustrando a distribuição da população do estado de Roraima, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO.....	22
<b>Gráfico 9</b> – Ilustração da distribuição populacional do estado do Tocantins, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO. ....	23
<b>Gráfico 10</b> - Gráfico ilustrando a alteração da massa óssea em decorrência da faixa etária e sexo do indivíduo.....	33
<b>Gráfico 11</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 1 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	94
<b>Gráfico 12</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 2 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	95
<b>Gráfico 13</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 3 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	95
<b>Gráfico 14</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 4 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	96
<b>Gráfico 15</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 5 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	96
<b>Gráfico 16</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 6 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	97

<b>Gráfico 17</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 7 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	97
<b>Gráfico 18</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 8 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	98
<b>Gráfico 19</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 9 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	98
<b>Gráfico 20</b> - Curva de dispersão da tomada radiográfica 10 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	99
<b>Gráfico 21</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 11 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	99
<b>Gráfico 22</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 12 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	100
<b>Gráfico 23</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 13 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	100
<b>Gráfico 24</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 14 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	101
<b>Gráfico 25</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 15 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	101
<b>Gráfico 26</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 16 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	102
<b>Gráfico 27</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 17 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	102
<b>Gráfico 28</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 18 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	103
<b>Gráfico 29</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 19 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	103
<b>Gráfico 30</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 20 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	104
<b>Gráfico 31</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 21 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	104
<b>Gráfico 32</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 22 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	105
<b>Gráfico 33</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 23 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	105

<b>Gráfico 34</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 24 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	106
<b>Gráfico 35</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 25 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	106
<b>Gráfico 36</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 26 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	107
<b>Gráfico 37</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 27 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	107
<b>Gráfico 38</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 28 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	108
<b>Gráfico 39</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 29 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	108
<b>Gráfico 40</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 30 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	109
<b>Gráfico 41</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 31 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	109
<b>Gráfico 42</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 32 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	110
<b>Gráfico 43</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 33 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	110
<b>Gráfico 44</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 34 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	111
<b>Gráfico 45</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 35 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	111
<b>Gráfico 46</b> – Curva de dispersão da tomada radiográfica 36 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial. ....	112

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - População idosa, maior ou igual à 60 anos, no Brasil .....	27
<b>Tabela 2</b> - Distribuição de medicamentos para o tratamento da osteoporose pelo programa Farmácia Popular do Brasil.....	27
<b>Tabela 3</b> – Quantificação de altura dos blocos ósseos experimentais. ....	49
<b>Tabela 4</b> – Espessura média, desvio padrão, coeficiente de variância e erro experimental (em relação ao valor real de espessura dos blocos) obtidos pelo algoritmo por meio da imagem radiográfica dos blocos 1,2 e 3.....	89
<b>Tabela 5</b> – Espessura média, desvio padrão, coeficiente de variância e erro experimental (em relação ao valor real de espessura dos blocos) obtidos pelo algoritmo por meio da imagem radiográfica dos blocos 4,5 e 6.....	90
<b>Tabela 6</b> – Valores da variância residual presentes nas amostras radiográficas dos blocos 1,2 e 3, com a seleção do polinômio apropriado para obtenção da função de ajuste de curva.....	91
<b>Tabela 7</b> – Valores da variância residual presentes nas amostras radiográficas dos blocos 4,5 e 6, com a escolha do polinômio apropriado para obtenção da função de ajuste de curva.....	92
<b>Tabela 8</b> – Quantitativo de equipamentos de DXA e Raios-X presentes no estado do Acre-AC. ....	119
<b>Tabela 9</b> – Quantitativo de equipamentos DXA e Raios-X presentes no estado do Amapá-AP. ....	121
<b>Tabela 10</b> – Quantitativo de equipamentos DXA e raios-X presentes no estado do Amazonas-AM. ....	123
<b>Tabela 11</b> – Quantitativo de equipamentos DXA e raios-X presentes no estado do Pará-PA..	126
<b>Tabela 12</b> – Quantitativo de equipamentos DXA e raios-X presentes no estado de Rondônia-RO .....	133
<b>Tabela 13</b> – Quantitativo de equipamentos DXA e raios-X presentes no estado de Roraima-RR. ....	136
<b>Tabela 14</b> – Quantitativo de equipamentos DXA e raios-X presentes no estado de Tocantins-TO. ....	138

## ÍNDICE DAS EQUAÇÕES

<b>Equação 1</b> – Modelo matricial dos Métodos dos Mínimos Quadrados.....	64
<b>Equação 2</b> – Função de ajuste de curva polinomial.....	64
<b>Equação 3</b> – Modelo matricial não linear: a) Matriz incompleta; b) Matriz de incógnitas; c) Matriz dos termos independentes. ....	64
<b>Equação 4</b> – Modelo matricial não linear para apuração de determinantes. ....	69
<b>Equação 5</b> – Matriz de ajuste de curva polinomial com aplicação da Regra de Cramer. ....	69
<b>Equação 6</b> – Representação matricial do sistema de equação de segunda ordem.....	70
<b>Equação 7</b> – Representação das matrizes após a aplicação da regra de Cramer: a) Matriz para cálculo do determinante $DetA$ ; b) Matriz para cálculo do determinante $DetB$ e c) Matriz para cálculo do determinante $DetC$ . ....	70
<b>Equação 8</b> – Cálculo divisor dos determinantes para mensuração de função polinomial. ....	70
<b>Equação 9</b> - Função polinomial de 2ª ordem.....	72
<b>Equação 10</b> - Representação matricial do sistema de equação de terceira ordem. ....	72
<b>Equação 11</b> – Representação das matrizes após a aplicação da regra de Cramer: a) Matriz para cálculo do determinante $DetA$ ; b) Matriz para cálculo do determinante $DetB$ ; c) Matriz para cálculo do determinante $DetC$ e d) Matriz para cálculo do determinante $DetD$ .....	72
<b>Equação 12</b> – Cálculo divisor dos determinantes para mensuração de função polinomial de ordem 3. ....	73
<b>Equação 13</b> - Função polinomial de 3ª ordem.....	74
<b>Equação 14</b> - Representação matricial do sistema de equação de quarta ordem ..... 75	75
<b>Equação 15</b> – Representação das matrizes após a aplicação da regra de Cramer: a) Matriz para cálculo do determinante $DetA$ ; b) Matriz para cálculo do determinante $DetB$ ; c) Matriz para cálculo do determinante $DetC$ ; d) Matriz para cálculo do determinante $DetD$ e e) Matriz para cálculo do determinante $DetE$ . ....	75
<b>Equação 16</b> – Cálculo divisor dos determinantes para mensuração de função polinomial. ....	76
<b>Equação 17</b> - Função polinomial de 4ª ordem.....	78
<b>Equação 18</b> - Representação matricial do sistema de equação de quinta ordem. ....	78
<b>Equação 19</b> – Representação das matrizes após a aplicação da regra de Cramer: a) Matriz para cálculo do determinante $DetA$ ; b) Matriz para cálculo do determinante $DetB$ ; c) Matriz para cálculo do determinante $DetC$ ; d) Matriz para cálculo do determinante $DetD$ ; e) Matriz para cálculo do determinante $DetE$ e f) Matriz para cálculo do determinante $DetF$ . ....	79
<b>Equação 20</b> – Cálculo divisor dos determinantes para mensuração de função polinomial. ....	80
<b>Equação 21</b> - Função polinomial de 5ª ordem.....	82

<b>Equação 22</b> – Fórmula para cálculo de coeficiente de determinação $r^2$ .....	83
<b>Equação 23</b> – Função para mensuração da variância residual .....	84

## LISTA DE ABREVIATURAS

3D	Tridimensional
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Acre
AM	Amazonas
AP	Amapá
BMC	Bone Mineral Content
BMD	Bone Mineral Density
CNES	Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde
DATASUS	Departamento de Informática do SUS
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DMO	Densidade Mineral Óssea
DPA	Dual-Photon Absorptiometry
DXA	Dual Energy X-ray Absorptiometry
EUA	Estados Unidos da América
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
LILACS	Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde
MEDLINE	Medical Literature Analysis and Retrieval System Online
OMS	Organização Mundial da Saúde
PA	Pará
PNG	Portable Network Graphics
QCT	Quantitative Computed Tomography
RO	Rondônia
RR	Roraima
SCIELO	Scientific Electronic Library Online
SPA	Single photon Absorptiometry
SUS	Sistema Único de Saúde
TC	Tomografia Computadorizada
TO	Tocantins
WHO	World Health Organization

## CAPITULO I – INTRODUÇÃO

### 1. Introdução

#### 1.1. História dos raios-X

Os raios-X, descobertos por volta de 1895, pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (Figura 1), representa uma das fontes mais seguras de diagnóstico por imagem quando se trata de fraturas ósseas. Roentgen estava em uma sala escura, e pode assim notar que nas proximidades do tubo de vácuo, onde havia uma tela coberta com platinocianeto de bário, projetava-se uma luminosidade, resultante da fluorescência do material. Ao girar a tela, de modo que a face sem o material fluorescente ficasse de frente para o tubo de Crookes; ainda assim ele observou a fluorescência. Roentgen mostrou que os raios-X poderiam ter aplicações médicas, expondo a mão de sua esposa, Anna Bertha Ludwing a eles, e substituindo o ecrã por uma placa fotográfica, visto que o físico já sabia que os raios catódicos impressionavam essas placas. A revelação da placa produziu um registo permanente, capaz de comprovar os seus estudos (Figura 2). Na época ocorreu uma revolução no meio médico, trazendo um grande avanço no diagnóstico por imagem. O físico observava, pela primeira vez, aquilo que passou a ser denominado raios-X, uma das descobertas mais importantes na história da Física, a qual lhe valeu, em 1901, o primeiro prêmio Nobel da Física. (Pereira, 2012)



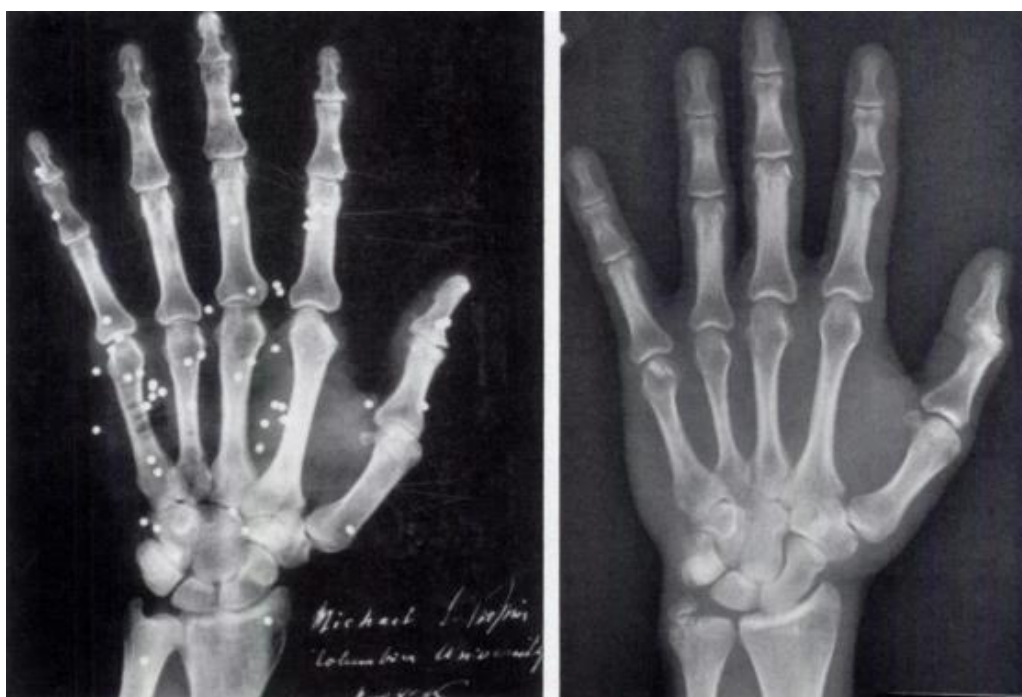
**Figura 1** - Wilhelm Conrad Roentgen (1845 – 1923)



**Figura 2** - A primeira radiografia médica: a radiografia da mão esquerda de Anna Bertha Ludwing, feita por Roentgen em 1895.

A partir da descoberta dos raios-X iniciou-se a busca por modificações capazes de reduzir a radiação ionizante à que o paciente seria exposto. Em 1896 o professor Michael Pupin foi o primeiro a utilizar uma tela de reforço, para

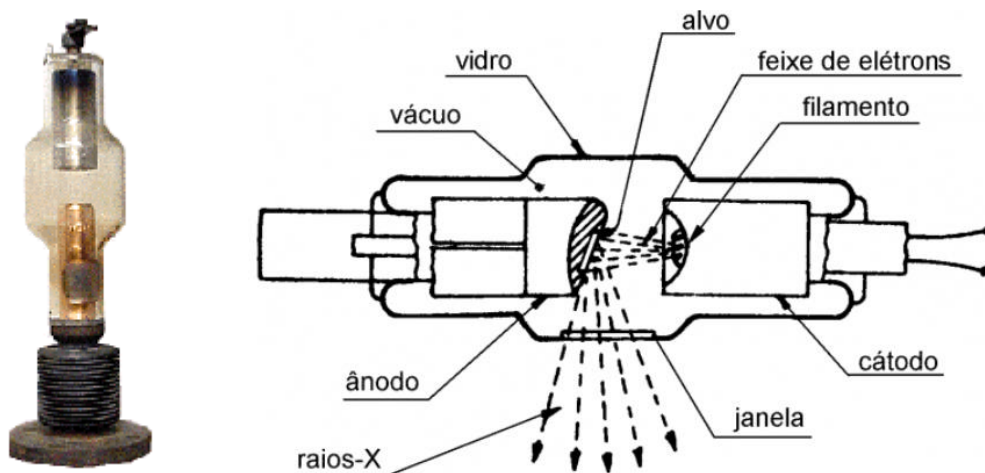
diminuir o tempo de exposição do paciente à radiação X, realizando uma radiografia utilizando a combinação placa fotográfica - ecrã fluorescente. O ecrã fluorescente foi colocado em contato com a placa fotográfica, a mão do paciente foi colocada sobre esse ecrã, e a radiografia obtida com uma exposição de poucos segundos (Figura 3-A). Devido à luminescência residual, à granulometria causada pela grande dimensão dos cristais que reduzia a definição da radiografia resultante, e à heterogeneidade da emulsão, os ecrãs fluorescentes não foram bem aceitos, inicialmente, pelos médicos radiologistas. Entretanto surgiram os ecrãs fluorescentes contendo tungstato de cálcio, sem granulação visível e com resultados de alta qualidade (Figura 3-B). (Pereira, 2012)



**Figura 3** - A) A primeira radiografia realizada utilizando um ecrã fluorescente intensificador, feita pelo professor Michael Pupin. B) Radiografia realizada com uma placa de alta definição em combinação com um filme de raio-X médico de emulsão única.

Em 1913 surgiu o tubo de raios-X de Coolidge, convertendo a energia elétrica em radiação X e calor, e em 1920 o aparelho móvel de radiografia para hospitais, ambos desenvolvidos pela empresa americana General Electric, foram sendo introduzidos, tornando os raios de Roentgen uma das mais revolucionárias invenções da história da medicina, possibilitando o aparecimento de uma nova especialidade médica, a radiologia. (Pereira, 2012)

O tubo de raios-X (Figura 4) é composto por um polo negativo (cátodo) - onde pelo efeito termiônico, gerado pela passagem de uma alta corrente elétrica e uma baixa diferença de potencial, temos uma nuvem eletrônica gerada nas camadas mais externas do fio do filamento, que está pronto para ser "acelerado" em direção ao alvo; e um polo positivo (ânodo) - projetado em cobre - que contém o alvo em tungstênio, material metálico com maior resistência a altas temperaturas, além de apresentar boa condutividade térmica e alto número atômico, o que contribui para uma melhor qualidade do feixe de raios X. Esse alvo é rotatório (com giro variando de 3.000 a 10.000 rpm) permitindo que o feixe de elétrons incida em vários pontos, aumentando a sua vida útil, além de permitir uma grande dissipação de calor. surgiu o tubo de raios-X de Coolidge. (Pereira, 2012)



**Figura 4** - Tubo de raios-X de Coolidge, construído com o objetivo de uma maior produção de raios-X e a dissipação rápida do calor (1913).

Os tópicos de interesse deste capítulo estão divididos em:

- ❖ Seção História dos raios-X;
- ❖ Seção Aplicações dos raios-X;
- ❖ Seção Contexto e relevância;
- ❖ Seção Problema e desafios;
- ❖ Seção Objeto e limites da Pesquisa;
- ❖ Seção Objetivos da pesquisa;
- ❖ Seção Estrutura do trabalho;

## 1.2. Aplicações dos raios-X

As inúmeras aplicações dos raios-X na medicina e na indústria, os tornaram o principal recurso em diversas áreas, que vai desde o diagnóstico/detecção por imagem até o tratamento de neoplasias. A radiografia convencional representa o método de diagnóstico por imagem mais empregado na medicina (Figura 5). Ela permite o estudo de áreas de interesse por meio de uma imagem bidimensional, obtida quando os raios-X emitidos atravessam o objeto/região a ser analisado, e atinge o filme radiográfico em diferentes tonalidades, devido a diferença de atenuação desses pelos diversos tecidos do corpo humano, ou seja, esses absorvem diferentes quantidades de radiação, fazendo com que raios-x atinjam o filme radiográfico com diferentes intensidades. Posteriormente o filme é processado e a sua fixação é obtida por reações de agentes químicos. (Abrahão et al., 2009)



**Figura 5** - A) Radiografia evidenciando uma fratura transversal do fêmur esquerdo de um paciente, B) Radiografia do pós-operatório do fêmur do paciente.  
Fonte: Flores Santos et al., 2013.

O equipamento de radiografia convencional é composto pelo tubo de raios X, filtros, colimadores, mesa de altura ajustável, detector ou receptor da imagem -

que corresponde ao filme radiográfico posicionado dentro do chassi, mesa de controle do operador e processadora dos filmes. Mais recentemente surgiu os raios-X digital (Figura 6), que se baseia nos mesmos princípios de emissão de raios-x para capturar as imagens, entretanto os exames apresentam maior definição, nitidez, contraste e diferenciação de densidade. As imagens são enviadas para o computador, onde podem ser analisadas, modificadas (rotacionando, ajustando, aumentando, alterando o contraste), armazenadas ou impressas, dispensando o uso de filmes radiográficos, representando assim um método mais sustentável. (Abrahão et al., 2009)

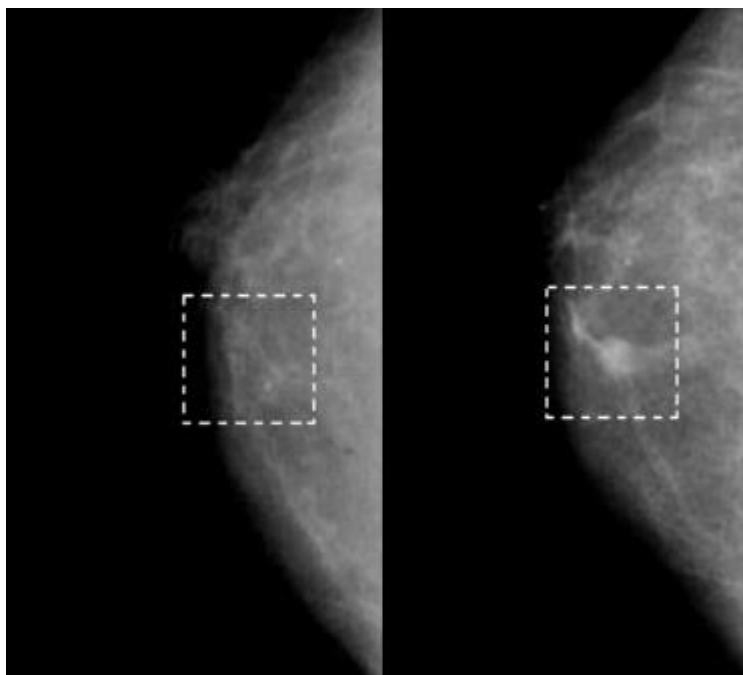


**Figura 6** - A) Telerradiografia em norma lateral convencional, B)- Telerradiografia em norma lateral digital.

Fonte: Abrahão *et al.*, 2009.

Outro exame bastante recomendado é a mamografia (Figura 7). Trata-se também de um exame não invasivo, onde ocorre a captura das imagens da região da mama, com um aparelho semelhante ao raio-X convencional, porém com algumas particularidades. O mamógrafo é utilizado em baixa quilovoltagem (kV) e alta miliamperagem/segundo (mAs), visando um alto contraste na imagem, facilitando a identificação das estruturas anatômicas da região da mama. Em 2004, o Ministério da Saúde recomendou a realização da mamografia para determinados grupos: mulheres entre 50 e 69 anos (com intervalo máximo de dois anos entre os exames) e mulheres a partir dos 35 anos que se encontram dentro do grupo de risco (exame anual) (Brasil, 2004). A mamografia permite detectar precocemente alguns sinais radiológicos do câncer de mama, como os nódulos, microcalcificações, assimetrias (focal ou difusa), dilatação isolada de um ducto, entre outras. O Ministério da Saúde publicou a Portaria 1.253/2013, estabelecendo a realização da mamografia pelo Sistema Único de Saúde (SUS)

em mulheres que se encontram na faixa prioritária de 50 a 69 anos. Contudo o órgão garante a realização do exame para mulheres brasileiras independente da faixa etária, desde que haja solicitação médica.



**Figura 7** - A) Exame sem lesão. B) Exame evidenciando uma assimetria do tipo Neodensidade, após um ano do exame mostrado em A.

A fluoroscopia (Figura 8) ou radioscopia também é um exame realizado a partir da emissão de raios-X, porém ao contrário do exame radiográfico convencional - que fornece imagens estáticas após o processo de revelação do filme radiográfico, ela produz imagens dinâmicas, em movimento e em tempo real em um monitor. (De Miranda, 2009)



**Figura 8** - Fluoroscópio - equipamento que consiste de uma fonte emissora de raios-X e de uma tela fluorescente que capta as imagens, ficando o paciente posicionado entre os dois.

Outro exame de imagem bastante empregado é a tomografia computadorizada (TC) (Figura 9), que também utiliza a radiação ionizante para gerar imagens, entretanto essas são obtidas em forma de tomos (cortes) dos segmentos/região que está sendo analisada. A TC baseia-se nos mesmos princípios da radiografia convencional, porém utiliza uma radiação maior. É um exame indicado para auxiliar no diagnóstico de nódulos, aneurismas, abscessos, lesões múltiplas, traumatismos, entre outros. Ele fornece imagens mais detalhadas do que as do raios-X convencionais, especialmente no caso de vasos sanguíneos e tecidos moles, tais como órgãos internos e músculos; além de permitir criar uma visualização 3D, e visões de diferentes ângulos. (Amato Filho, 2009)

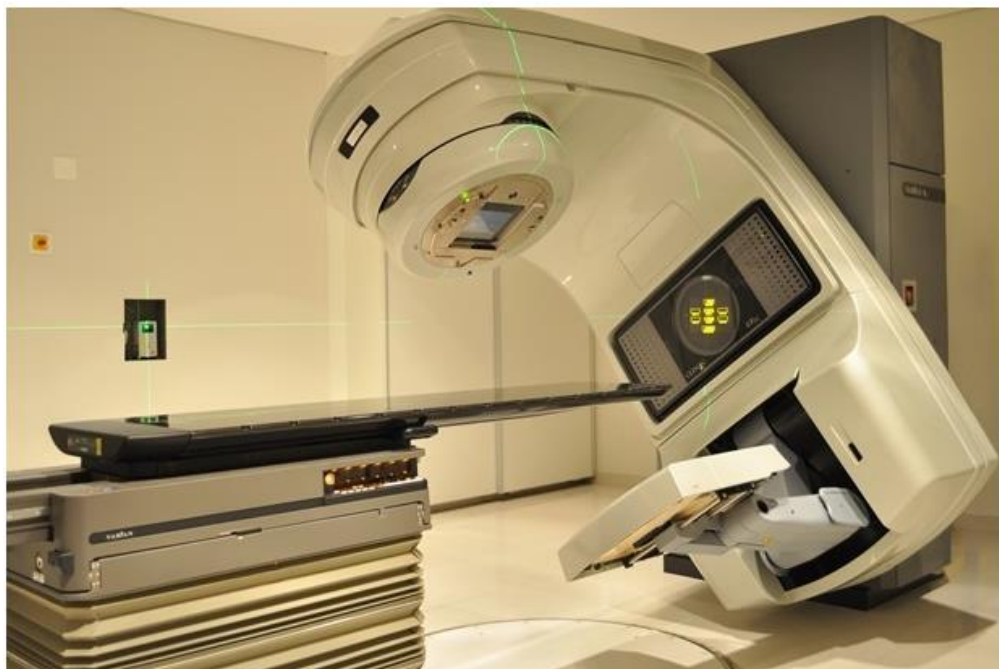


**Figura 9** - Tomógrafo: apresenta uma moldura circular conhecida como “Gantry” que rotaciona com um tubo de raios-X montado em um lado e um detector no lado oposto.

Um feixe de raios-X em formato de leque gira o tubo de raios-X e o detector em torno do paciente. Conforme o tomógrafo gira, milhares de imagens são tiradas em rotação resultando em uma imagem de secção transversal completa do corpo.

Na medicina, além de auxiliar no diagnóstico de diversas doenças, a radiação ionizante também pode ser empregada no tratamento de câncer, por meio da radioterapia. O uso terapêutico da radiação é possível devido o dano que os raios de alta energia causam nas células daquela região exposta, sendo que as células

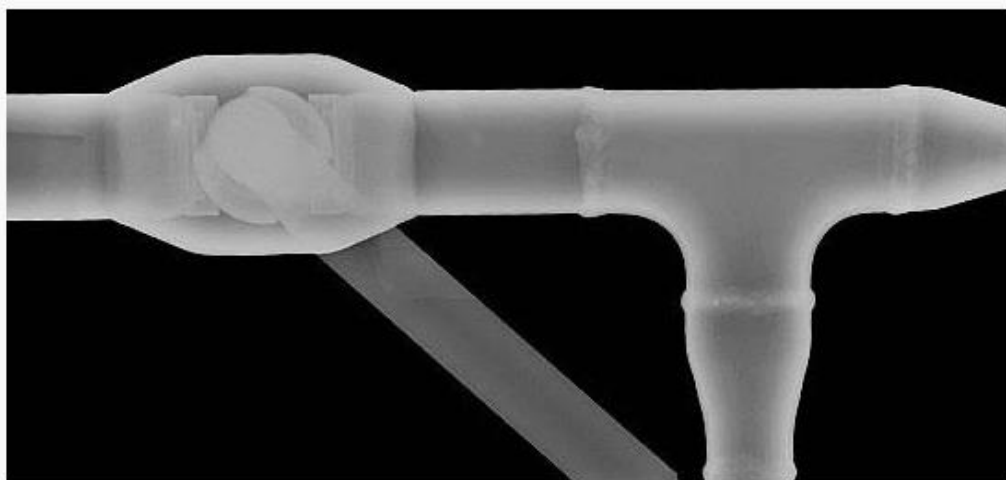
saudáveis se recuperam mais facilmente que as células tumorais, que são destruídas. Há aparelhos que geram radiação a partir da energia elétrica, liberando raios-X e elétrons, ou a partir de fontes de isótopo radioativo, como as pastilhas de cobalto, as quais geram raios gama. Em 1950 a radioterapia (Figura 10) era realizada com aparelhos de raios-X convencionais, que geravam energia de 300 kV. Com o avanço tecnológico, surgiu o acelerador linear - aparelho que utiliza ondas eletromagnéticas de alta frequência para acelerar elétrons. O feixe de elétrons pode ser usado para tratamentos superficiais ou interagir com um alvo e produzir raios-X de alta energia para tratamentos de regiões mais profundas. (Cuperschmid & Martins, 2014)



**Figura 10** - Aparelho de radioterapia que utiliza a tecnologia 3D, que possibilita uma maior precisão na localização do tumor por meio de um exame de tomografia, e assim o feixe de raios formado por um acelerador linear consegue atingir o local exato, com doses precisas de radiação.

Os raios-X também podem ser úteis em escala industrial. A radiologia industrial (Figura 11) permite a detecção de descontinuidades internas, sendo um método empregado para inspeção não destrutiva baseado na absorção diferenciada da radiação penetrante pela peça que está sendo inspecionada. Diferentes densidades e variações na espessura do material, ou mesmo diferenças nas características de absorção causadas por variações na composição do material, permite que diferentes regiões de uma peça absorvam quantidades diferentes da radiação penetrante (Andreucci, 2008), indicando a existência de uma falha

interna ou defeito no material (Rabello, 1995). A radiografia tem sido muito utilizada para detectar variação em espessura ou densidade comparada com uma região vizinha, sendo capaz de detectar com boa sensibilidade defeitos volumétricos (Andreucci, 2008). Na radioscopia, as imagens formadas da peça em ensaio é observada de modo dinâmico no monitor, permitindo assim uma visualização tridimensional das discontinuidades dentro das peças (Marques 2007).



**Figura 11** - Radiografia para inspeção de solda (método não destrutivo). Disponível em: <https://goo.gl/3FKQPV>

Alterações no conteúdo mineral ósseo variam de 0.5 a 2% por ano em adultos saudáveis, enquanto que em mulheres na menopausa, essas alterações ficam entre 2 a 5% (Gluer et al., 1995). Essas alterações refletem diretamente na densidade mineral óssea, que por sua vez pode ser analisada por meio da técnica de absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA) (Figura 12). Trata-se de uma técnica que utiliza uma fonte de radiação mais estável, além de permitir uma melhor resolução devido a diferença entre os níveis de radiação emitidos: 40kV e 70kV (Pietrobelli *et al.*, 1996).



**Figura 12** - Equipamento utilizado na técnica de absorciometria de raios-X de dupla energia (DXA).

Embora os exames citados acima sejam de fácil execução, a exposição excessiva ao tecido mole gera ionização, o que pode causar danos biológicos significativos (Thrall, 2010) devido o seu efeito prejudicial às células do corpo. No Brasil, a Portaria 453/98 e a Resolução Estadual SS 625/94 foram publicadas para orientar o uso correto das radiações no diagnóstico radiológico, estabelecendo alguns testes de controle de qualidade a serem realizados em equipamentos de radiografia convencional, odontológicos, fluoroscopia, mamografia e tomografia computadorizada dentro de um Programa de Garantia de Qualidade.

Alterações na densidade mineral óssea podem ser detectadas por meios invasivos e não-invasivos. Devido à maior facilidade, os não-invasivos são os mais utilizados atualmente, dividindo-se em radiológicos e não-radiológicos (ultrassom e ressonância magnética) (Louzada, 1994). Dentre os meios radiológicos, destaca-se a análise das imagens radiográficas, associadas ou não à cintilografia, caracterizando um método qualitativo; e os métodos quantitativos, que se caracterizam pela análise geométrica de radiografias (Schneider, 1984) absorção de fótons (Adachi & Webber, 1991), tomografia computadorizada (Schneider, 1984), densitometria radiográfica (Carvalho et al., 1976), entre outros. Há ainda os métodos semi-quantitativos que se baseiam em critérios de graduação (Cummings, 1985).

### 1.3. Contexto e relevância

A disponibilidade dos equipamentos de imagem em cada região sofre influência tanto das condições socioeconômicas, como das políticas públicas de atenção à saúde das mesmas. Com o objetivo de definir os critérios e parâmetros para o planejamento dos recursos da atenção especializada para determinada localização geográfica, o Ministério da Saúde preconiza, por meio da portaria GM nº 1.101 de 12/06/2002, a quantia de 1 aparelho de raio-X simples para cada 25.000 habitantes e 1 aparelho de raio-X para densitometria óssea (DXA) para cada 140.000 habitantes.

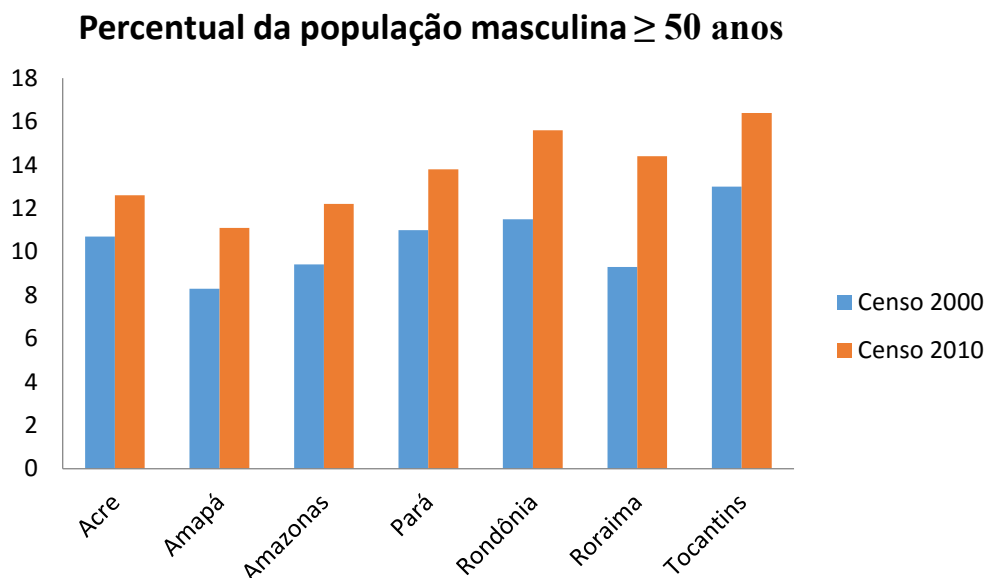
A região Norte do Brasil (Figura 13) possui a maior extensão territorial, abrangendo 42,27% do território nacional, e sendo formada por sete estados: Acre (AC), Amapá (AP), Amazonas (AM), Pará (PA), Rondônia (RO), Roraima (RR), e Tocantins (TO). Apesar de não ser uma região populosa, (correspondendo a apenas 8% da população total), a mesma concentra grande parte da população de baixa renda, sendo que 54% das crianças até 14 anos, dessa região, vivem na pobreza. (IBGE, 2010).



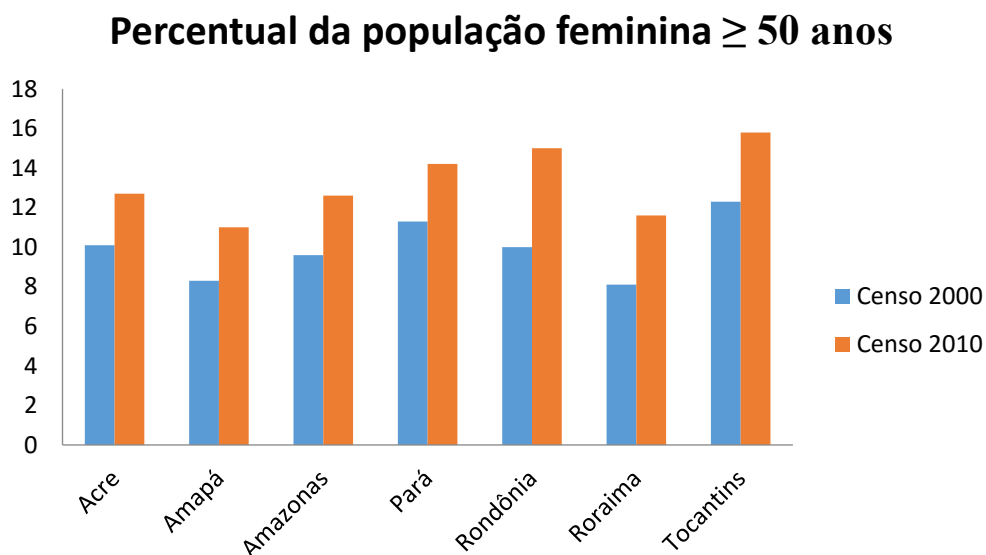
**Figura 13** - Mapa do Brasil com a região Norte em destaque, representada pelos seus sete estados.

Uma vez que a DMO tem sido indicada para determinados grupos, de modo geral, para pessoas acima dos 50 anos; cresce a demanda desses exames

conforme o aumento populacional. Os estados da região Norte, têm apresentado o aumento dessa população alvo, conforme mostra os dados extraídos dos dois últimos censos demográficos realizados pelo IBGE (Gráfico 1 e Gráfico 2)



**Gráfico 1** - Porcentagem da população masculina com idade igual ou superior à 50 anos, de acordo com o censo de 2000 e 2010.  
Fonte: (IBGE, 2010).



**Gráfico 2** - Gráfico da porcentagem da população feminina com idade igual ou superior à 50 anos, de acordo com o censo de 2000 e 2010.  
Fonte: (IBGE, 2010).

O estado do Acre (Figura 14) possui uma área de 164.123,737 km<sup>2</sup> e de acordo com o último censo (2010), uma população de 733.559 habitantes, apresentando uma densidade demográfica de 4,47 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

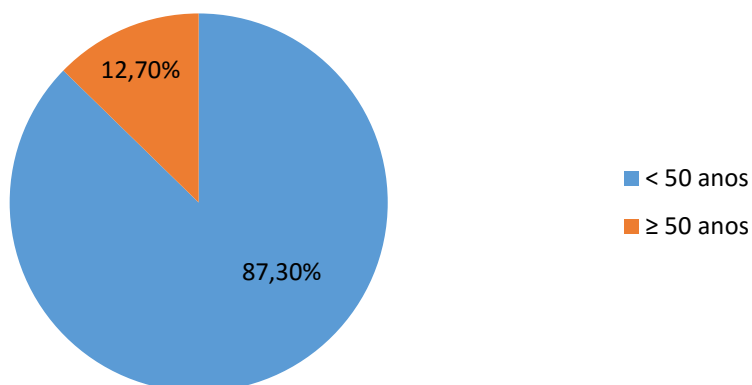


Figura 14 - Mapa do Brasil com o estado do Acre em destaque.

A sua capital, Rio Branco, possui 336.038 habitantes distribuídos em 8.834,942 km<sup>2</sup>, representando o principal centro financeiro, corporativo e mercantil do estado. Rio Branco possui o índice de desenvolvimento humano (IDH) de 0,727; sendo esse, superior ao do estado do Acre (0,663) (IBGE, 2010). O IDH é calculado considerando a educação, longevidade e renda da população, não se limitando apenas ao desenvolvimento econômico, mas permitindo que seja realizada uma comparação entre os índices de diferentes localidades ao longo do tempo, e assim possibilitando conhecer o perfil de um município e considerar estas informações na tomada de decisão, criação de políticas públicas visando a melhoria da qualidade de vida da população (NESP, 2016).

O gráfico abaixo (Gráfico 3) mostra que 12,7% da população do Acre possui 50 anos ou mais - público alvo para a realização da DMO.

## População do Acre



**Gráfico 3** - Gráfico ilustrando a distribuição da população do estado do Acre, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO.

Fonte: (IBGE, 2010)

O estado do Amapá (Figura 15) possui uma população de 669.526 habitantes, distribuídos em 142.828,521 km<sup>2</sup>, apresentando assim uma densidade demográfica de 4,69 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

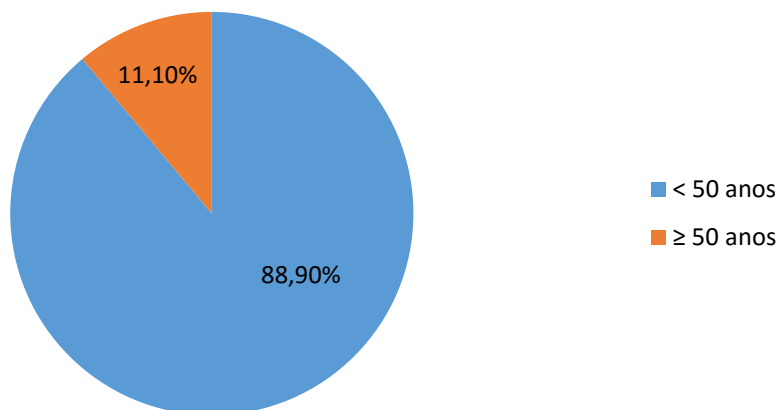


**Figura 15** - Mapa do Brasil com o estado do Amapá em destaque.

O IDH do estado é de 0,642; enquanto que a sua capital, Macapá, apresenta o IDH de 0,733 e uma densidade demográfica superior (62,14 hab/km<sup>2</sup>). A

população alvo para a realização do exame de DMO do estado do Amapá corresponde à 11,10% da população geral (Gráfico 4).

### População do Amapá



**Gráfico 4** - Gráfico ilustrando a distribuição da população do estado do Amapá, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO.  
Fonte: (IBGE, 2010)

O estado do Amazonas (Figura 16) possui 3.483.985 habitantes distribuídos em 1.559.146,876 km<sup>2</sup>, apresentando um IDH de 0,674 (IBGE, 2010). Representando o maior estado, não somente da região Norte, mas do país todo, o Amazonas possui baixa densidade demográfica (2,23 hab/km<sup>2</sup>). Essa baixa densidade demográfica se deve à diversos fatores, sendo o principal deles o predomínio da Floresta Amazônica e suas áreas de preservação, o que impede a expansão das moradias; associado à vasta área da floresta que é dominada por pesquisadores estrangeiros. Por outro lado, a sua capital, Manaus, abriga a maior parte da população do estado, sendo o município mais populoso do Norte do Brasil, com densidade demográfica de 158,06 hab/km<sup>2</sup>.

Manaus representa um importante polo econômico, onde destaca-se algumas atividades, como o turismo ecológico, mantido principalmente pelas belezas naturais da região, destacando-se o “encontro das águas” entre os rios Negro e Solimões. A Zona Franca de Manaus corresponde à uma área de livre comércio, criada para desenvolver a Amazônia Ocidental, e atualmente corresponde à um importante polo de atividade industrial e comercial do estado.



Figura 16 - Mapa do Brasil com o estado do Amazonas em destaque.

O gráfico abaixo (Gráfico 5) mostra a população do Amazonas, evidenciando a população alvo para a realização do exame de DMO nesse estado, sendo que essa corresponde à 12,4% da população geral.

### População do Amazonas

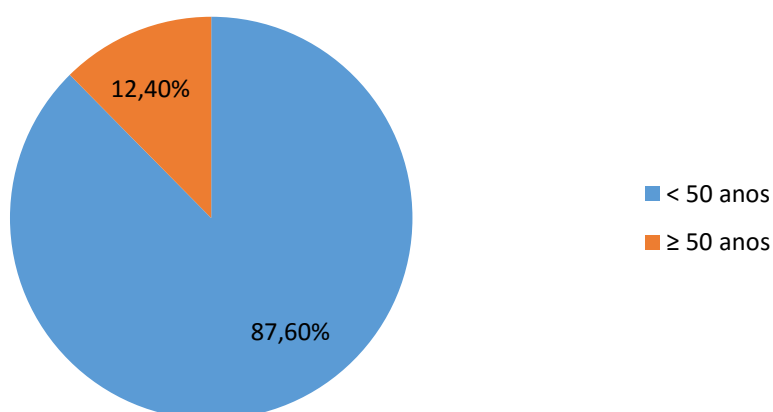


Gráfico 5 – Ilustração da distribuição populacional do estado do Amazonas, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO. Fonte: (IBGE, 2010).

De acordo com o censo demográfico (IBGE, 2010), o estado Pará (Figura 17) possui 7.581.051 habitantes distribuídos em 1.247.955,238 km<sup>2</sup>, com IDH de 0,646

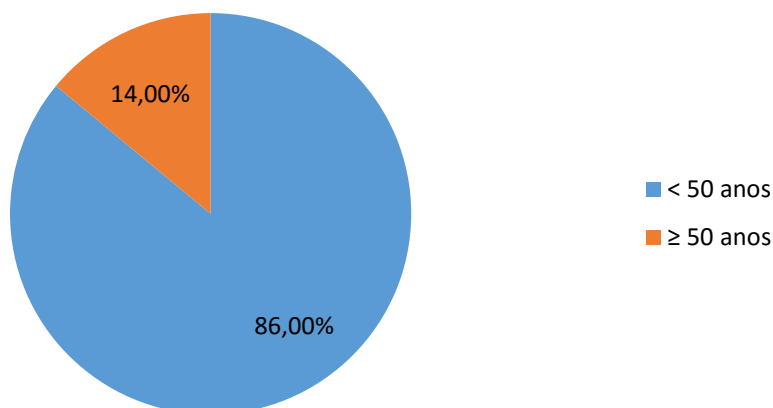


**Figura 17** - Mapa do Brasil com o estado do Pará em destaque.

A densidade demográfica do estado do Pará é de 6,07 hab/km<sup>2</sup>, enquanto que a sua capital, Belém, concentra grande parte da população desse estado, representando o município com maior densidade demográfica da região Norte, com 1.315,26 hab/km<sup>2</sup>. Belém foi a primeira região a ser habitada pela colônia de Portugal (1616), se tornando livre da exploração em 1970 com a construção da Rodovia Belém-Brasília. Iniciou-se então o ciclo da borracha na região, fortalecendo a economia da cidade.

A população alvo para a realização do exame de DMO no estado do Pará corresponde à 14,00% da população geral (Gráfico 6).

## População do Pará



**Gráfico 6** - Gráfico ilustrando a distribuição da população do estado do Pará, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO.

Fonte: (IBGE, 2010).

Rondônia (Figura 26) é um estado com 1.562.409 habitantes, distribuídos em 237.765,293 km<sup>2</sup>, apresentando assim 6,58 hab/km<sup>2</sup>. Sendo limitado pelo estado do Amazonas ao norte, Mato Grosso a leste, Bolívia ao sul e oeste e o Acre a oeste; possui uma economia baseada na agricultura e extrativismo de madeira, minérios e borracha. Sua capital, Porto Velho, situada nas margens do rio Madeira - o maior afluente da margem direita do rio Amazonas, também possui a economia baseada na agricultura e na mineração. A população alvo para a realização da DMO do estado de Rondônia corresponde à 15,33% da população geral (Gráfico 7).



Figura 18 - Mapa do Brasil com o estado de Rondônia em destaque.

## População de Rondônia

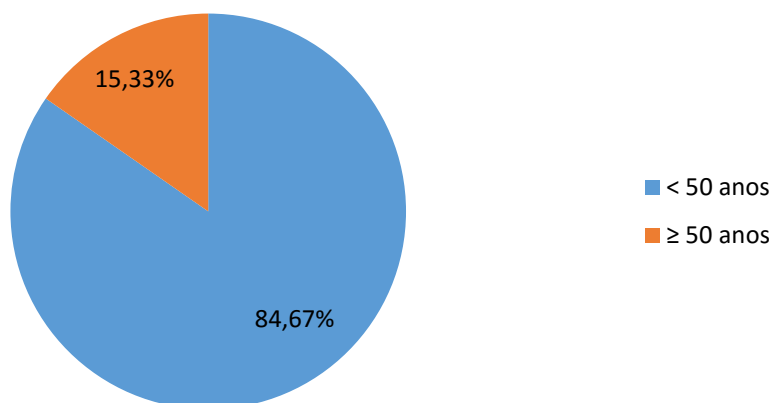


Gráfico 7 – Ilustração da distribuição populacional do estado de Rondônia, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO. Fonte: (IBGE, 2010).

Fazendo limite com a Venezuela ao norte e noroeste, Guiana a leste, Pará a sudeste e Amazonas a sudeste e oeste, Roraima (Figura 19) representa o estado menos populoso e menos povoado do Brasil, com uma população de apenas 450.479 habitantes distribuídos em 224.300,805 km<sup>2</sup> e uma densidade demográfica de 2,01 hab/km<sup>2</sup>. Abrigando mais da metade da população do

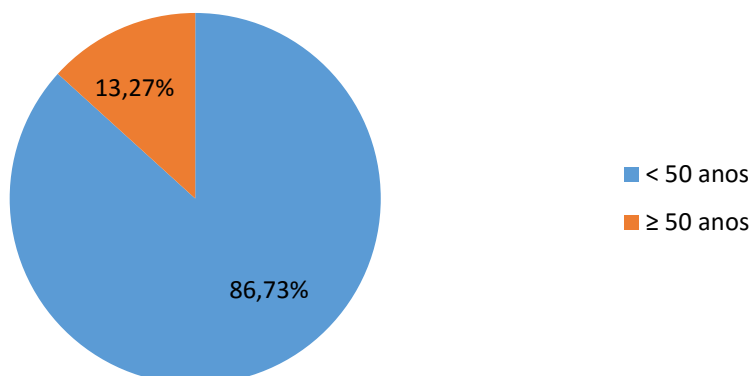
estado, a capital Boa Vista, localizada às margens do Rio Branco, possui 284.313 habitantes e uma densidade demográfica de 49,99 hab/km<sup>2</sup>. De acordo com a Fundação Nacional do Índio (FUNAI), a população indígena de Roraima é formada por aproximadamente 46.106 habitantes, distribuídos em diversas tribos. Um grande problema de Roraima são os conflitos pela posse da terra, sendo esse o fator responsável pela alta taxa de homicídios ocorridos.



**Figura 19** - Mapa do Brasil com o estado de Roraima em destaque.

O gráfico abaixo (Gráfico 8) mostra a população de Roraima, evidenciando a população alvo para a realização do exame de DMO nesse estado, representando 12,95% da população geral.

## População de Roraima



**Gráfico 8** - Gráfico ilustrando a distribuição da população do estado de Roraima, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO.  
Fonte: (IBGE,2010).

Criado em 1988, após ser separado do estado de Goiás, Tocantins é o estado mais novo do Brasil. Localizado no centro do país (Figura 20), faz limites com estados do Nordeste (Maranhão, Piauí e Bahia), Centro-Oeste (Goiás e Mato Grosso) e da Região Norte (Pará). Possui 1.383.445 habitantes e um território de 277.720,412 km<sup>2</sup>, com densidade demográfica de 4,98 hab/km<sup>2</sup>.

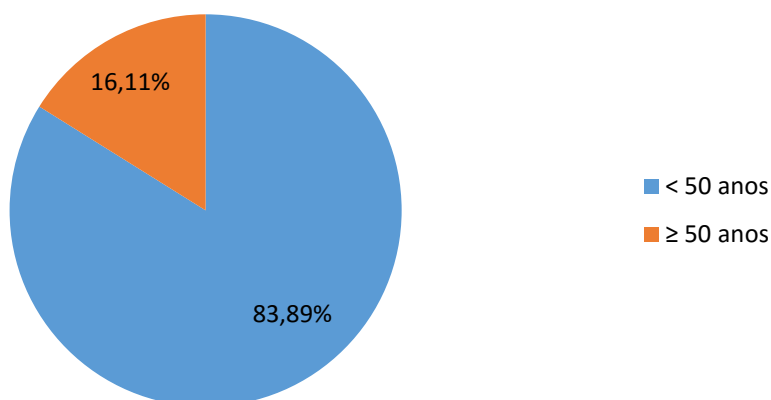


**Figura 20** - Mapa do Brasil com o estado do Tocantins em destaque.

Sua capital, Palmas, apresenta uma densidade demográfica de 102,90 hab/km<sup>2</sup>, e um IDH elevado (0,788); representando o maior índice não só do estado do Tocantins, mas o primeiro de toda a região Norte do Brasil. O índice de

longevidade é de 0,712, enquanto que o brasileiro é de 0,638. O estado do Tocantins possui a maior população alvo para a realização da DMO, representado por 16,11% da população geral (Gráfico 9).

### **População do Tocantins**



**Gráfico 9** – Ilustração da distribuição populacional do estado do Tocantins, de acordo com a faixa etária de interesse para a realização da DMO.  
Fonte: (IBGE,2010).

Dados estatísticos do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES) mostraram que o número de aparelhos de raio-X simples era de 6,01 para cada 100.000 habitantes no Norte do Brasil em 2008, suprimindo então a necessidade de acordo com a demanda populacional dessa região. Entretanto, o mesmo levantamento mostrou que há apenas 0,34 aparelhos de raio-X para DMO para cada 100.000 habitantes, evidenciando uma significativa deficiência desses equipamentos nessa região. Essa carência de equipamentos tipo DXA é agravada pela baixa densidade demográfica da região (aproximadamente 4,12 hab/km<sup>2</sup>, segundo o censo de 2010), reduzindo ainda mais a disponibilidade de exames para a população e aumentando a necessidade de deslocamento para os poucos locais que possuem esse tipo de aparelho de raio-X.

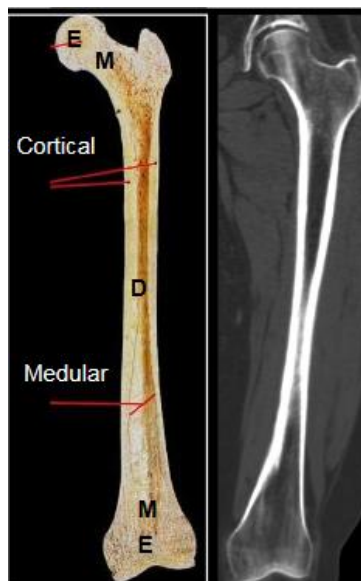
Apesar do problema do deslocamento não ser tão presente em regiões mais desenvolvidas, essas áreas tendem à apresentar taxas consideráveis de residentes

com 50 anos ou mais, o que aumenta significativamente a incidência de osteoporose, devido ao crescimento dessa população idosa.

Os meios de transporte rodoviário e ferroviário são bastante restritos no Norte do Brasil, devido às malhas insuficientes e também às condições das rodovias nos períodos de chuva. Dessa forma, a via de transporte mais utilizada nessa região é a hidroviária, sendo favorecida pela presença de rios extensos como o rio Amazonas e seus afluentes, rio Tocantins e Araguaia, onde transitam diariamente tanto os habitantes da região quanto as mercadorias.

#### **1.4. Problema e desafios**

Na grande maioria das doenças ósseas, o exame radiográfico convencional é eficaz no diagnóstico das mesmas, ficando os outros métodos de imagem como a ressonância magnética e o ultrassom restritos apenas aos casos de difícil identificação. O osso cortical, também conhecido como compacto, possui uma maior concentração da parte inorgânica (cálcio), o que resulta em uma imagem mais radiopaca (branca) na radiografia. Já o osso trabecular ou esponjoso, alojado na cavidade medular, possui uma maior parte orgânica, permitindo assim uma menor atenuação dos feixes de raio-X, o que resulta em uma imagem mais radiolúcida (escura). Segundo (Alcântara, 2006), a radiografia é um exame importante tanto para o diagnóstico como para o acompanhamento de alterações no sistema ósseo, apesar da limitação de não se conseguir detectar perdas ósseas inferiores a 30%.



**Figura 21** - A) Osso longo e as suas respectivas regiões: D = diáfise (porção média do osso); E = epífises (são as extremidades); M = metáfise (região onde se encontra a placa de crescimento ósseo em crianças e adolescentes). B) Imagem radiográfica do osso longo, evidenciando as áreas radiopacas (osso cortical) e radiolúcidas (osso esponjoso).

Disponível em: <https://goo.gl/zEf8mS>

Após a fase de crescimento, o tecido ósseo permanece em constante remodelamento ao longo da vida adulta, por meio dos processos de reabsorção - mediado por osteoclastos, e formação óssea - mediado por osteoblastos, mantendo a integridade anatômica e estrutural do nosso esqueleto (Frost, 1991).

O processo de remodelação óssea é fisiológico, entretanto pode ser influenciado por diversos fatores, como os hormonais. O estrógeno é um hormônio relacionado à diversas funções fisiológicas, como o crescimento, diferenciação e função de muitos tecidos, além de ser empregado em terapias de reposição hormonal após a menopausa e na anticoncepção (Compston, 2001). Visto que os ovários são a principal fonte de estrógeno, pacientes que passaram por ooforectomia (remoção cirúrgica dos ovários) ou que se encontram no período da menopausa, podem apresentar uma perda óssea acelerada. Além do estrógeno possuir receptores em osteoblastos (Eriksen et al., 1988; Komm et al., 1988), já está bem determinado a ação desse hormônio na reabsorção óssea, uma vez que o estrógeno pode prevenir a perda óssea excessiva antes e após a menopausa, por induzir apoptose (morte celular programada) em osteoclastos (Hughes et al., 1996).

A osteoporose é uma doença que se caracteriza pela diminuição da massa óssea e deterioração da estrutura óssea tecidual, resultando no aumento da fragilidade óssea e da susceptibilidade a fraturas (Kanis, 2002). As fraturas decorrentes da osteoporose, principalmente em vértebras e quadril, podem resultar na incapacidade física do paciente, reduzindo assim a qualidade de vida, e levando à necessidade de ambientes institucionalizados para os mesmos. Além do maior risco de fraturas, há também um aumento da mortalidade, principalmente após a fratura de quadril (Kanis et al., 2008), podendo estar associada à outros fatores como a presença de doenças concomitantes, idade avançada e complicações clínicas/cirúrgicas. Dessa forma, o diagnóstico e tratamento precoce da osteoporose, reduz não somente a taxa de fraturas ósseas, mas também a taxa de mortalidade (Pinheiro, 2008).

A prevalência da osteoporose está aumentando consideravelmente, em consequência do envelhecimento populacional. Segundo o IBGE, a expectativa de vida dos brasileiros, que hoje é de aproximadamente 75,8 anos, irá aumentar, chegando à média de 81 anos em 2060. A transição demográfica, decorrente do aumento da população idosa, acompanha uma transição epidemiológica, aumentando a incidência de doenças crônico-degenerativas, como a osteoporose. (brasil, 2018)

De acordo com um estudo epidemiológico realizado no Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia, do Ministério da Saúde do Brasil, a prevalência da osteoporose em pacientes do sexo masculino com idade superior a 50 anos foi de 19,5% (Silveira et al., 2005). O risco de fratura associado à osteoporose é de aproximadamente 40% para as mulheres e 13% para os homens (WHO, 2003). (Pinheiro et al., 2010), utilizando os critérios de diagnóstico da Organização Mundial da Saúde (OMS), observaram que 33% das mulheres apresentam osteoporose na coluna lombar ou no fêmur após a menopausa. Atualmente as fraturas de quadril osteoporóticas são aproximadamente 121.700 fraturas por ano, e com o aumento da expectativa de vida, estima-se que chegarão à 140.000 fraturas anuais até 2020 (Clark et al., 2009).

**Tabela 1** - População idosa, maior ou igual à 60 anos, no Brasil

Ano	População idosa	Expectativa de vida (idade)
1940	4,0%	42,7
2000	7,8%	70,4
2009	10,0%	73,1
2012	12,8%	74,0
2016	14,4%	75,8

Fonte: Organização Mundial da Saúde, 2011 e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

O sistema privado de saúde brasileiro não realiza o reembolso dos medicamentos para osteoporose; entretanto um estudo revelou que o custo médio da hospitalização para tratamento cirúrgico de fratura osteoporótica de quadril, é de aproximadamente R\$ 24.000,00 por paciente (Araujo *et al.*, 2005). Já o sistema de saúde federal possui o programa Farmácia Popular, onde realiza a distribuição de determinados medicamentos para osteoporose. Estima-se que o gasto com esses medicamentos foram cerca de R\$ 17.523.352,64 no ano de 2017 (Tabela 2).

**Tabela 2** - Distribuição de medicamentos para o tratamento da osteoporose pelo programa Farmácia Popular do Brasil

Patologia	Ano	Und. Farmacotécnicas	Valor Pago MS <sup>1</sup>
Osteoporose	2014	8.697.278	R\$ 28.751.077,06
	2015	11.049.154	R\$ 36.510.904,21
	2016	11.325.538	R\$ 20.827.959,95
	2017	10.636.638	R\$ 17.523.352,64

Fonte: DATASUS

Mesmo em países desenvolvidos, como os Estados Unidos, há a preocupação com os gastos oriundos da fratura osteoporótica. O custo total dessas fraturas de quadril nos EUA é de 10 bilhões de dólares por ano, sem incluir os custos do tratamento domiciliar. Devido ao constante aumento da expectativa de vida, o número de fraturas de quadril pode aumentar de 1,7 milhões em 1990 para 6,3

<sup>1</sup> MS – Ministério da Saúde

milhões em 2050. Estima-se que 71% destas fraturas ocorrerão em países em desenvolvimento. Dessa forma, essa expectativa só será modificada se os pacientes com maior risco de desenvolver a doença forem precocemente diagnosticados e tratados (WHO, 2003)

A absorciometria radiográfica de dupla energia – DXA é exame recomendado pela organização mundial de saúde para mensuração da densidade óssea, seu custo no Brasil varia de R\$ 100,00 a R\$ 300,00. O Sistema Único de Saúde – SUS oferece o exame gratuito, porém o paciente necessita de solicitação médica para realizar o agendamento, onde o tempo médio de espera pode chegar até 6 meses de espera (REVISTA VIVA SAÚDE, 2018).

(Fortes *et al.*, 2008) realizaram um estudo prospectivo em dois hospitais públicos da cidade de São Paulo – Brasil, onde analisaram 56 pacientes com mais de 60 anos que foram internados consecutivamente nestas instituições com o diagnóstico de fratura de fêmur proximal. Desses pacientes, 3.6% evoluíram para óbito antes da cirurgia, 5.4% receberam tratamentos conservadores e 91% tratamento cirúrgico. Os autores reavaliaram esses pacientes após seis meses da fratura, e observaram que a taxa de mortalidade foi de 23%. Embora 35% dos pacientes apresentassem histórico de fratura anteriormente, apenas 12% desses foram previamente diagnosticados com osteoporose. De uma forma geral, de todos os pacientes avaliados, apenas 5.3% realizavam o tratamento para osteoporose; e mesmo após a alta hospitalar, somente 13.9% receberam o diagnóstico de osteoporose durante o acompanhamento ambulatorial. Nesse contexto, permanece grande a falha no diagnóstico da osteoporose e consequentemente no tratamento adequado, não sendo realizadas medidas preventivas de novas fraturas nessa população de alto risco (Fortes *et al.*, 2008).

A densitometria radiográfica é um método de baixo custo, que determina a relação existente entre a quantidade de luz recebida por uma película sensível e a quantidade de sal de prata que irá se reduzir (Louzada, 1994). Algumas padronizações são necessárias na técnica radiológica e posicionamento adequado do objeto/mineral, além do emprego de um padrão de referência

(Schneider, 1984). Há diversas variáveis que dificultam a padronização da tomada radiográfica, como a voltagem, amperagem, o efeito anódico e o tempo de exposição (Vogel & Anderson, 1971). Uma opção frente os problemas relacionados à técnica radiográfica – como o posicionamento do objeto e o tempo de exposição - e ao processamento do filme – como o tempo e a temperatura do revelador, é a conversão dos valores de densidade radiográfica em valores de altura (em milímetros de alumínio) de um referencial densitométrico, radiografado junto ao objeto analisado (Price, 1901). Essa conversão permite que as variações citadas acima não afetem as medidas densitométricas (Duinkerke *et al.*, 1978). A mensuração em milímetros de alumínio é possível por meio da confecção de uma curva de calibração, sendo esta obtida a partir da densidade radiográfica pela altura em milímetros com o emprego da função de ajuste de curva polinomial.

(Pelá *et al.*, 1990) propuseram a confecção de uma curva característica (expressa como a densidade radiográfica em função da correspondente espessura dos degraus do penetrômetro - referencial densitométrico em formato de escada) por meio da densidade radiográfica em função da quantidade de radiação no filme. Para tanto, os autores desenvolveram um programa computacional empregando o método matemático dos mínimos quadrados, onde são dados os valores de densidade radiográfica obtidos da imagem radiográfica dos degraus de um penetrômetro. Após confrontar as espessuras em milímetros de alumínio de 126 imagens radiográficas, com as calculadas pela expressão proposta, os autores obtiveram uma precisão com erro de 1,5 a 2,5%.

A densidade mineral óssea é medida por meio do DXA, e quando se encontra reduzida indica que o paciente apresenta uma alta propensão à fratura (Melton *et al.*, 1993). De acordo com a Secretaria de Atenção à Saúde (Portaria 224, 2014) a densitometria óssea não possui ampla aplicação devido o seu alto custo e baixo poder preditivo, uma vez que o escore T indica o risco relativo de fraturas. Entretanto, quando restringida aos pacientes que apresentam fatores de risco para diminuição da densidade mineral óssea, o escore T permite identificar esses grupos, ou seja, aqueles que apresentam um maior risco à fratura. Dentre

os principais fatores de risco para o desenvolvimento da osteoporose, pode-se citar o uso de determinados medicamentos como glicocorticoides e anticonvulsivantes, idade avançada, baixo índice de massa corporal, menopausa precoce, e principalmente os fatores de risco para queda como as alterações de equilíbrio e deficiências cognitivas; visto que essas são responsáveis por mais de 90% das fraturas de quadril (Portaria 224, 2014). Dessa forma, tem se indicado a DMO para determinados grupos, como: mulheres a partir dos 65 anos e homens a partir dos 70 anos, independente da presença de fatores de risco; mulheres na pós-menopausa e homens entre 50 e 69 anos, que apresentam fatores de risco para fratura; mulheres na perimenopausa que apresentem fatores de risco específicos associados a um risco aumentado de fratura, adultos que sofreram fratura após os 50 anos, indivíduos que possuem anormalidades vertebrais radiológicas, adultos que apresentam condições associadas à baixa massa óssea, como a artrite reumatóide, entre outras (Portaria 224, 2014). O reconhecimento desses fatores de risco associado ao diagnóstico precoce da doença, permite o rápido estabelecimento de medidas preventivas, que objetivam um melhor prognóstico e/ou resultado terapêutico desses casos.

A osteoporose é uma das principais causas de morbidade e mortalidade em idosos. Atualmente, no Brasil, a mensuração da densidade óssea pela DXA se limita aos núcleos urbanos, ficando esses sobrecarregados devido à sua própria demanda associada à das cidades carentes, desprovidas desses aparelhos. Devido à dificuldade de se realizar a DXA e o alto custo do tratamento para o sistema de saúde, faz se necessário o desenvolvimento de métodos que facilitem a identificação da doença, seja em seu estágio inicial, determinando posteriormente medidas preventivas de fraturas osteoporóticas, ou ainda na fase onde a osteoporose já está estabelecida, como em pacientes que já apresentam baixa densidade mineral óssea ou fraturas; determinando nesses casos, um tratamento que vise prevenir a perda óssea adicional.

### **1.5. Objeto e limites da Pesquisa**

Embora o DXA seja um exame não invasivo que tem se mostrado eficaz na quantificação da massa óssea e diagnóstico da osteoporose, o seu emprego no Brasil, especificamente na região Norte, é limitado devido ao número de aparelhos disponíveis. Essa carência de equipamentos é agravada pela dificuldade de deslocamento dos habitantes para as cidades que dispõem de tais equipamentos (DXA), resultando muitas vezes no diagnóstico tardio já associado à fratura, ou ainda na ausência de diagnóstico. Devido ao maior número, e conseqüentemente melhor distribuição, os equipamentos de raios-X simples possibilitariam outra realidade para o diagnóstico da osteoporose, aumentando a abrangência do exame em regiões carentes.

### **1.6. Objetivos da pesquisa**

O presente trabalho visa propor um algoritmo de seleção polinomial por meio da técnica de densitometria radiográfica. Dessa forma, será possível determinar a densidade óssea utilizando-se apenas aparelhos de raios-x, o que possibilitaria uma maior cobertura, principalmente em regiões carentes, como o Norte brasileiro. O emprego rotineiro da técnica proposta permitiria então o diagnóstico precoce da doença em regiões desfavorecidas, que não possuem aparelhos DXA, abrangendo uma maior parte da população de risco com um custo reduzido.

### **1.7. Estrutura do trabalho**

Neste tópico é descrita a apresentação e organização do doutoramento. A tese é dividida em sete capítulos que estão organizados em:

- ✓ CAPITULO I – INTRODUÇÃO: Apresenta a introdução geral da tese; o contexto e relevância do trabalho; problema e desafio;

- ✓ CAPITULO II – A DENSIDADE RADIOGRÁFICA: Descrição sucinta sobre métodos de quantificação óssea e densidade radiográfica.
  
- ✓ CAPÍTULO III - METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DE DENSIDADE RADIOGRÁFICA: o capítulo descreve os aspectos metodológicos como tipo de estudo, delineamento e etapas da pesquisa, obtenção das amostras ósseas, processamento computacional, filtro de cores e acesso a informações de saúde.
  
- ✓ CAPÍTULO IV – PROPOSTA DE UM ALGORITMO DE SELEÇÃO POLINOMIAL PARA DENSITOMETRIA RADIOGRÁFICA. Apresentação da proposta de um algoritmo para seleção polinomial por meio da variabilidade de variância residual.
  
- ✓ CAPÍTULO V – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DE DENSIDADE RADIOGRÁFICA E ESTUDO DEMOGRÁFICO.: Neste capítulo são apresentados os resultados de densidade radiográfica, variância residual, curva característica, quantitativo de equipamentos DXA e raios-X, além de projetar uma análise de movimentação por meio de rede de grafos.
  
- ✓ CAPÍTULO VI – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS: É neste capítulo que são discutidos os resultados obtidos no capítulo V. Além de compara-los com pesquisa semelhantes já realizadas.
  
- ✓ CAPITULO VII – CONCLUSÕES: Este capítulo apresenta as principais conclusões do trabalho, recomendações, trabalhos futuros e as limitações deste trabalho.

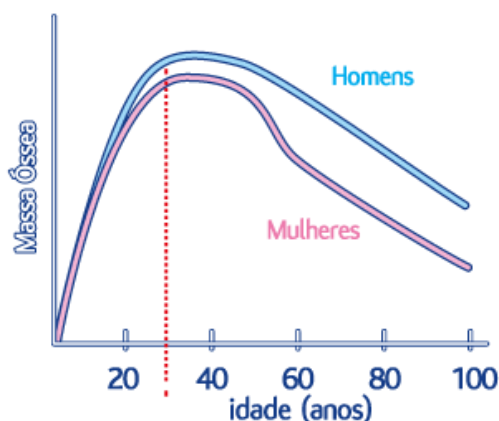
## CAPITULO II – A DENSIDADE RADIOGRÁFICA

### 2. Introdução

A densidade mineral óssea de qualquer região anatômica pode ser determinada por meio do diagnóstico por imagem pela densitometria óssea, auxiliando dessa forma no diagnóstico de diversas doenças ósseas metabólicas, como a osteoporose, além de permitir o acompanhamento do tratamento de escolha.

A massa óssea varia, fisiologicamente, de acordo com a idade do indivíduo. O Gráfico 10 ilustra essa variação, de forma que o pico de massa óssea é a quantidade máxima que o indivíduo acumula desde o nascimento até a maturidade do esqueleto (aproximadamente aos 30 anos). Após cessar o crescimento e atingir o pico de massa óssea, há então um predomínio da taxa de reabsorção óssea sobre a taxa de formação, resultando numa diminuição gradual da massa óssea com a idade. De forma geral, para ambos os sexos, a taxa de perda de massa óssea varia entre 0,5 e 1% ao ano. Entretanto, as mulheres apresentam massa óssea menor, independente da faixa etária; além da taxa de perda óssea ser maior do que em homens, o que fica evidente no gráfico com a redução acentuada da massa óssea em mulheres após a menopausa. Enquanto as mulheres perdem cerca de 40% da sua massa óssea durante toda a sua vida, os homens perdem apenas 25% (Revista Brasileira de Reumatologia, 2002).

ALTERAÇÃO DA MASSA ÓSSEA COM A IDADE:



**Gráfico 10** - Gráfico ilustrando a alteração da massa óssea em decorrência da faixa etária e sexo do indivíduo.

Disponível em: <https://goo.gl/DwNYkr>

No caso da osteoporose há então uma diminuição da massa óssea, aumentando assim a fragilidade óssea e a susceptibilidade à fratura. A força do osso é diretamente proporcional à massa óssea, dessa forma a mensuração da massa óssea, também conhecida como densidade óssea, permite tanto diagnosticar a osteoporose, quanto estimar o risco de fratura do paciente (Blake, 1999).

## **2.1. Métodos para quantificar densidade óssea**

O esqueleto humano é constituído, aproximadamente, por 80% de osso cortical e 20% de osso trabecular. O osso trabecular apresenta uma maior relação superfície/volume, o que aumenta o turnover/remodelamento ósseo em aproximadamente 8 vezes em relação ao osso compacto, dessa forma o osso trabecular apresenta-se altamente responsivo a estímulos metabólicos, sendo o sítio primário para a detecção de perdas ósseas precoces, assim como para o monitoramento da eficácia dos diferentes tratamentos (Bianco, 1991).

A análise quantitativa da massa óssea pode ser dada pela mensuração do conteúdo mineral ósseo (Bone Mineral Content) em g/cm, ou da densidade mineral óssea (Bone Mineral Density) em g/cm<sup>2</sup>. Ambos parâmetros permitem monitorar as mudanças da massa óssea com o tempo, de modo que os valores mensurados devem ser comparados ou com valores normais de jovens do mesmo sexo (T score), ou com valores de indivíduos normais de mesmo sexo, idade e etnia (Z score); para que assim seja possível estabelecer o diagnóstico da osteoporose.

Em 1994, a OMS propôs os critérios para o diagnóstico da osteoporose, utilizando os valores obtidos pelo escore T: Normal - escore T até -1; Osteopenia - entre -1 e -2,5, Osteoporose - igual ou inferior a -2,5 e Osteoporose estabelecida - igual ou inferior a -2,5 associada a fratura por fragilidade óssea. Dessa forma, para o diagnóstico da osteoporose, a densidade mineral óssea deve ser igual ou inferior a 2,5 desvios padrão abaixo do pico de massa óssea encontrada no adulto jovem (WHO, 2014). De forma semelhante, a Fundação Nacional de Osteoporose estabelece que os casos de densidade mineral óssea abaixo de 2,5

desvios padrão, associados à uma fratura por fragilidade óssea, caracterizam o quadro de osteoporose grave (NOF, 2010). Assim, para determinar a presença da doença, deve-se considerar o escore T, que resulta do valor correspondente à diferença entre a densidade mineral óssea do indivíduo examinado e a de adultos jovens normais do mesmo sexo, dividido pelo desvio-padrão da média desses jovens normais.

A radiografia convencional não é sensível para detectar a perda de massa óssea, evidenciando-a apenas após uma redução expressiva - em torno de 30 à 50%, não sendo portanto eficaz para o diagnóstico precoce da osteoporose. Diferentes técnicas têm sido desenvolvidas com a finalidade de analisar quantitativamente a massa óssea. Dentre essas, podemos citar: a densitometria por Single Photon Absorptiometry (SPA) e Dual Photon Absorptiometry (DPA), Dual-Energy X-ray Absorptiometry (DXA), Quantitative Computed Tomography (QCT) e ultrassom.

A técnica da absorptometria por fóton único (Single photon Absorptiometry – SPA) surgiu em 1963/1964 com John Cameron e James Sorenson, e baseia-se na medição da atenuação de um feixe de fótons com um único nível de energia, emitido por uma fonte externa (Iodo  $^{125}\text{I}$  - 28keV ou Amerício  $^{241}\text{Am}$  - 60keV). A principal limitação dessa técnica é que a atenuação causada pelos tecidos moles não é corrigida, de modo que a massa óssea na região analisada não indica com muita exatidão o estado metabólico dos locais críticos para fraturas, como a coluna vertebral e o fêmur proximal. O método permite mensurar a massa óssea de forma limitada à avaliação de apenas uma única região anatômica (antebraço). Basicamente, a intensidade transmitida por um ponto contendo osso mais tecido mole e a intensidade transmitida por um ponto de mesma espessura, mas contendo apenas tecido mole eram medidas. Sendo que na primeira medida temos a redução da intensidade do feixe devido à contribuição dos dois tecidos (osso + tecido mole) e, na segunda, somente devido à atenuação do tecido mole,

---

<sup>2</sup> São fontes seladas radioativas que permanecem hermeticamente encapsuladas, ou seja sem que o material radioativo se dissipe em condições normais de uso, evitando a contaminação do meio; podendo somente ser aberta caso seja destruída

resultando em duas equações que permitiam calcular os valores de BMC e BMD (Silva, 2012).

Nos anos 80 surgiu a absorptometria por fótons de dupla energia (*Dual Photon Absorptiometry* - DPA), cuja a técnica baseia-se na análise da atenuação de um feixe puntiforme de radiação de uma fonte externa (Gadolínio 153), com dois níveis de energia (44 e 100 KeV). Ao atravessar o paciente no sentido pósterio-anterior, o feixe é captado por um detector de cintilação, dessa forma a relação entre a atenuação dos dois picos de energia possibilita corrigir a atenuação das partes moles, permitindo o acesso à medição da massa óssea de regiões de maior interesse clínico, como a coluna lombar e o fêmur proximal, com erro de precisão. Entretanto algumas desvantagens inerentes à técnica permaneceram, como: tempo de varredura longo, aproximadamente 20 - 40 minutos para exames de alta precisão de quadril e coluna; a resolução limitada (4 - 8 mm); e a troca anual da fonte radioativa, implicando em um custo considerável além de dificuldades de importação da fonte de Gd-153 (Silva, 2012).

Substituindo a fonte externa de gadolínio por uma fonte de raios-X, surgiu em 1987, a absorptometria radiográfica de dupla energia (*Dual Energy X-ray Absorptiometry* - DXA). O tubo de raios-X apresenta um aumento na intensidade da saída do fluxo de radiação, ou seja um alto fluxo de fótons, permitindo que o exame se torne mais rápido, levando de 4 à 6 minutos, além de um menor erro de precisão (~1%), menor dose de radiação e uma melhor resolução das imagens (Mazess *et al.*, 1989). A densidade de cada amostra é calculada pelo programa por meio da radiação que alcança o detector em cada pico de energia de acordo com a equação de transmissão de fótons; expressando o peso mineral ósseo em gramas pela área analisada em cm<sup>2</sup>. Os dados obtidos são então utilizados na construção de uma imagem, permitindo a identificação e a análise de regiões de interesse (Marone *et al.*, 1989).

A primeira geração dos aparelhos DXA utiliza um feixe de radiação colimado e um detector localizado no braço do aparelho, que percorrem tanto longitudinal quanto transversalmente, varrendo o seguimento num trajeto em serpentina.

Dessa forma, as imagens se formam a partir da soma das linhas de varredura. A segunda geração desses equipamentos, denomina-se “fan-beam” e utiliza um leque de feixes acoplados a um conjunto de detectores alinhados e localizados no braço scanner, realizando a varredura em um único movimento sobre o paciente durante o exame. O aparelho permite uma maior resolução da imagem, diminuindo o tempo de exame e reduzindo o erro de precisão, apesar de aumentar a dose de radiação no paciente.

Para determinar os índices BMD e BMC os equipamentos DXA utilizam a técnica do chaveamento de energia ou da filtração do feixe com filtros de terras raras. No sistema de chaveamento de energia, o potencial de aceleração dos elétrons no tubo de raios-X é chaveado entre dois diferentes valores - em geral, 70kVp e 140kVp - e portanto, a energia máxima do feixe emitido alterna entre 70kVp e 140kVp. Por se tratar de um tubo de raios-X, o feixe de radiação emitido é composto com fótons de várias energias, sendo as energias máximas numericamente iguais ao potencial aplicado no tubo de raios-X. Dessa forma, devido ser um feixe policromático, faz-se necessário algumas correções, que são realizadas automaticamente pelo sistema (Silva, 2012). Nos sistemas que usam filtros de terras raras, o feixe emitido pelo tubo de raios-X passa por um filtro de terras raras com bordas de absorção de energia característica específicas (k-edge). O uso dos filtros k-edge divide o espectro de raios-X emitido em duas porções: de alta energia e baixa energia. Neste caso, como no sistema DPA com fonte radioativa de Gd-153, as energias alta e baixa são emitidas simultaneamente, ao contrário do sistema de chaveamento, possibilitando a adaptação de um sistema DPA para DXA com o mínimo de ajustes nos detectores e no software de análise (Silva, 2012).

Com o auxílio do equipamento convencional de tomografia computadorizada adaptado, a tomografia computadorizada quantitativa (QCT) baseia-se na análise da atenuação de radiação mono ou duo-energética. Essa técnica permite analisar o osso trabecular e o cortical isoladamente, o que representa uma grande vantagem, principalmente nos ossos vertebrais; além de fornecer valores volumétricos verdadeiros da densidade mineral óssea em g/cm<sup>3</sup>. Entretanto, a

técnica não está totalmente estabelecida e sua aplicação clínica tem sido limitada por diversos fatores, como a alta dose de radiação, alto custo, maior interferência do conteúdo gorduroso da medula óssea e baixa reprodutibilidade entre equipamentos (Mazess, 1983).

O estudo do tecido ósseo por meio dos feixes de ultrassom é uma técnica que avalia a velocidade, atenuação e reflexão do ultrassom no tecido ósseo; sem envolver radiação ionizante. Apesar de não ser empregada rotineiramente, tem se estabelecido o consenso internacional de que o estudo ultrassonográfico do calcâneo fornece a sensibilidade diagnóstica de fratura vertebral comparativa àquela atingida pela densitometria da coluna, além disso a técnica tem se mostrado bastante sensível para se estimar o risco relativo de fratura do fêmur proximal (Baran *et al.*, 1988).

## **2.2. O uso da técnica de Densitometria Radiográfica**

Cientificamente o primeiro relato de utilização desta técnica foi elaborado por (Price, 1901), para estimar a densidade de osso e dentina utilizando um referencial densitométrico confeccionado em cobre. Já (Louzada, 1994) utilizou uma escada de alumínio de liga específica (material com característica de absorção de raios-x similar ao osso) em suas avaliações de densidade óssea.

(Ligesh e Shanker, 2011) no experimento “*Estimation of Bone Mineral Density from the Digital Image of the Calcaneum Bone*” utilizaram a hidroxiapatita de cálcio como material base para confeccionar o referencial densitométrico e avaliar a correlação entre a média de tons cinzentos e aos degraus da escada de alumínio.

(Erdogan *et. al.*, 2009) e (Suedam *et. al.*, 2010) utilizaram o aplicativo ImageJ (software *open source* de manipulação de imagens) para extrair informações de tons de cinza e, combinado com os softwares SPSS e Microsoft Excel, processaram numericamente as imagens. Já (Kinds *et. al.*, 2011) e (Marijnissen

et. al., 2011) processaram imagens radiográficas com o software *Knee Images Digital Analysis* (KIDA) para mensurar a densidade óssea de tíbia de seres humanos e apresentar os valores de densidade óssea.

(Dendere et. al., 2014), para mensurarem a densidade dos quirodáctilos, fizeram uso da ferramenta numérica MATLAB para processar a imagem e obtiveram valores de densidade óssea através de funções matemáticas.

(Bowen et.al., 2013) utilizaram os softwares Metron-DVM e Statistical R para processar e inferir a densidade do osso do terceiro metacarpo equino. (Oliveira, 2014) demonstra na construção da ferramenta ODR-ATA capacidade de processar imagens e, com o auxílio de software numérico, mensurou a densidade de artefato densitométrico confeccionado em alumínio ABNT 6063, cuja característica é a absorção dos raios-X semelhantes ao osso

### **2.3. Resumo do capítulo**

Este capítulo apresenta um estudo sobre os métodos disponíveis atualmente para quantificação de densidade óssea e suas propriedades. Além disto, detalha as características de quantificação para o diagnóstico de massa óssea do indivíduo.

CAPÍTULO III - METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DE DENSIDADE RADIOGRÁFICA detalha sobre o tipo de estudo, etapas da pesquisa além da confecção das amostras ósseas, procedimento para realização das tomadas radiográficas e processamento computacional.

O CAPÍTULO IV – PROPOSTA DE UM ALGORITMO DE SELEÇÃO POLINOMIAL PARA DENSITOMETRIA RADIOGRÁFICA. especifica uma descrição do algoritmo polinomial, incluído as suas funcionalidades matemáticas e o seu funcionamento.

Já no CAPÍTULO V – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DE DENSIDADE RADIOGRÁFICA E ESTUDO DEMOGRÁFICO. descreve os

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

---

resultados de densidade radiográfica expressos em milímetros de alumínio. E por fim é apresentado os capítulos CAPÍTULO VI – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS e CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES.

## CAPÍTULO III - METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DE DENSIDADE RADIOGRÁFICA

Segundo (Oliveira, 1997) o conceito de metodologia pode ser definido como: *“estudo dos meios ou métodos de investigação do pensamento correto e do pensamento verdadeiro, procura estabelecer a diferença entre o que é verdadeiro e o que não é, entre o que é real e o que é ficção”*.

Para (Tozoni-Reis, 2010) a metodologia de pesquisa é *“o caminho a ser trilhado pelo pesquisador no processo de produção de conhecimentos sobre a realidade que se busca conhecer. Também pode ser visto como um conjunto de procedimento que não se resume à utilização das técnicas e instrumentos de pesquisa, mas que as incluem. Não se resume a ela porque as reflexões teóricas têm importância fundamental. A articulação entre os estudos teóricos e a aplicação de técnicas e instrumentos deve estar presente durante todo o processo de investigação”*.

Neste contexto, (Gil, 2008) define o conceito de pesquisa como *“processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. Objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimento científicos.”*

### 3. Introdução

O objetivo principal deste estudo é propor a criação de um algoritmo capaz de realizar a seleção polinomial por meio da variabilidade da variância residual para mensurar a densidade radiográfica. A investigação foi direcionada aos seguintes temas: densidade radiográfica, aplicações computacionais para mensurar a densidade radiográfica, gastos públicos com a osteoporose, bem como o quadro atual de equipamentos no Brasil.

A realidade brasileira principalmente nos estados situados na região norte do Brasil resulta na tese de que equipamentos radiológicos podem ser úteis na mensuração da densidade óssea, com custo reduzido por meio do algoritmo

proposto. O trabalho é ainda mais oportuno visto que nas cidades do interior, especialmente no estado do Amazonas a população não dispõe de equipamentos de diagnóstico por imagem de alta complexidade no Sistema Único de Saúde - SUS, como o DXA (*Dual Energy X-Ray Absorptiometry*) - equipamento recomendado pela Organização Mundial de Saúde para quantificar o Conteúdo Mineral Ósseo - CMO dos pacientes e diagnosticar um indivíduo com osteoporose - justificando a proposta para um algoritmo para mensuração de densidade óssea tendo como base a densitometria radiográfica.

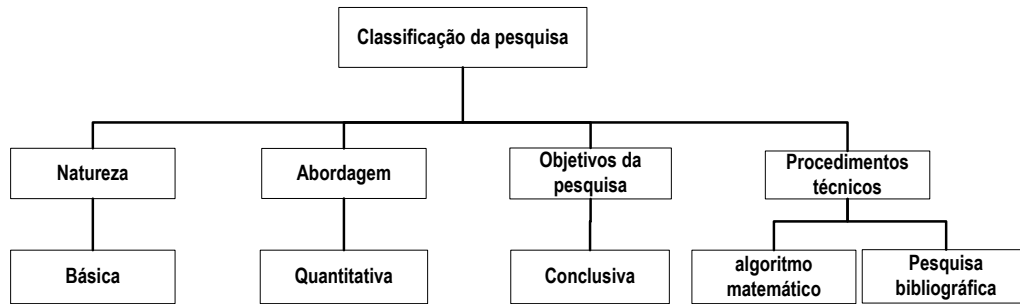
Os tópicos de interesse deste capítulo estão divididos em:

- ❖ Seção Tipo de estudo;
- ❖ Seção Delineamento e etapas da pesquisa;
- ❖ Seção Obtenção das amostras;
- ❖ Seção Confeção do artefato densitométrico;
- ❖ Seção Tomadas radiográficas;
- ❖ Seção Processo computacional para realização da técnica de densidade radiográfica;
- ❖ Seção Acesso a informação;
- ❖ Seção Resumo do capítulo;

### **3.1. Tipo de estudo**

O presente tópico metodológico apresentará os aspectos referente ao método de pesquisa, tipo de estudo, classificação do problema, delineamento e as etapas da pesquisa.

O estudo realizado pode ser classificado como pesquisa científica (natureza básica), de abordagem quantitativa, com objetivos conclusivos utilizando a proposta de um modelo matemático/algoritmo, utilizando o procedimento técnico de pesquisa bibliográfica (Silva & Menezes, 2005) (Will & Bertrand, 2002) (Figura 22)



**Figura 22** – Classificação da pesquisa  
Adaptado de Silva & Meneze (2005)

A classificação deste estudo é de natureza básica capaz de produzir novos aprendizados para o avanço da ciência sem aplicação prática. Sua abordagem possui enfoque quantitativo, sendo as informações captadas por meio de números e então comparadas ou/e analisadas. (Silva & Menezes, 2005)

Os objetivos podem ser classificados como conclusivos, visto que a pesquisa é centrada em termos procedimentais, além da procedência dos dados serem bem definidas e a análise dos dados ser unicamente quantificável. Com relação ao procedimento técnico, é enquadrado como modelagem matemática/algoritmo, havendo a utilização de procedimentos matemáticos para descrição e resolução de um problema, desejando prever os efeitos das mudanças no sistema. E por fim, pesquisa bibliográfica utilizando consulta em livros, dissertações, teses e principalmente artigos científicos. (Silva & Menezes, 2005) (Berto & Nakano, 1999)

Com relação à pesquisa bibliográfica, foi dado um enfoque especial na consulta de artigos científicos em bases indexadas como: IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, Medline - *Medical Literature Analysis and Retrieval System Online*, Lilacs - *Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde*, PubMed, Scielo *Scientific Electronic Library Online*, Scopus, Science direct e Wiley). As palavras chaves utilizadas foram: *bone density, radiographic, aluminum, curve fitting, residual variance*.

### 3.2. Delineamento e etapas da pesquisa

Para alcançar o êxito nos objetivos propostos nesta tese foi necessário instituir um modelo estratégico metodológico (Figura 23) para o andamento das atividades. A estratégia utilizada neste estudo foi dividida em 8 etapas:

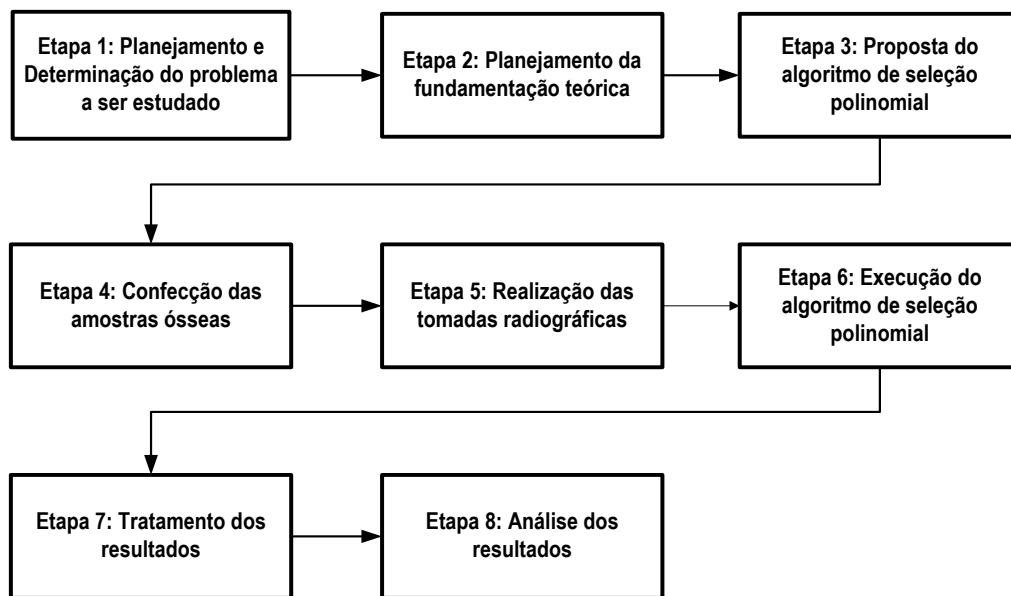


Figura 23 – Estágios da pesquisa metodológica.  
Adaptado de Silva & Meneze (2005)

#### ✓ Etapa 1: Planejamento e Determinação do problema a ser estudado

O embasamento para o planejamento e determinação do problema a ser estudado ocorreu após a pesquisa sobre modelos matemáticos de ajuste de curva que possibilitam mensurar a densidade radiográfica. (Dubrez et al., 1992) e (Oliveira et al., 2015) descrevem o uso de função de ajuste de curva polinomial de 3<sup>a</sup> ordem, entretanto não há relatos literários sobre a forma de escolha do polinômio apropriado para inferir a densidade.

#### ✓ Etapa 2: Planejamento da fundamentação teórica

Foi realizado levantamento bibliográfico por meio de pesquisa de artigos sobre aplicativos que possibilitam mensurar a densidade radiográfica e realizar a

seleção polinomial melhorando o entendimento do tema a ser pesquisado, possibilitando apurar os tipos de variáveis e parâmetros relacionados ao objetivo do presente trabalho, resultando no embasamento para construção do algoritmo.

✓ **Etapa 3: Proposta do algoritmo de seleção polinomial**

Na revisão literária sobre modelos matemáticos para seleção polinomial, (Filho, 2007) descreve que a variância residual pode ser empregada como seletor polinomial por meio de sua variabilidade. Com isto, formulou-se o algoritmo de seleção polinomial e possibilitou elaborar e definir o problema a ser estudado.

✓ **Etapa 4: Confecção das amostras ósseas**

A confecção das amostras ósseas a partir do fêmur bovino foi essencial para o sucesso no processamento do algoritmo, visto que os valores de densidade radiográfica expresso em milímetros de alumínio foram calculados tendo como base os tecidos ósseos.

✓ **Etapa 5: Realização das tomadas radiográficas**

As tomadas radiográficas realizadas podem ser consideradas como a principal etapa deste estudo. Ao radiografar o artefato densitométrico e o objeto de estudo, foi possível obter os arquivos de imagem DICOM aptos a executar a técnica de densitometria radiográfica.

✓ **Etapa 6: Execução do algoritmo de seleção polinomial**

Por meio das tomadas radiográficas digitais, foi possível executar o algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade óssea tendo como base a densidade radiográfica.

✓ **Etapa 7: Tratamento dos resultados**

Os valores de densidade radiográfica obtidos por meio do algoritmo, foram transferidos para uma tabela que possibilitou sua organização em gráficos para uma melhor análise.

✓ **Etapa 8: Análise dos resultados**

Os resultados de densidade radiográfica foram analisados quantitativamente com o auxílio do método de análise de regressão.

**3.1. Obtenção das amostras**

Nesta fase do processo de investigação, será transcrita a obtenção das amostras, sua coleta, limpeza e confecção, além de descrever o processo para aquisição das tomadas radiográficas e a descrição do uso do software.

Todo procedimento experimental utilizando animais, foram aprovados pelos comitês de ética da Universidade Fernando Pessoa – UFP e comitê de ética para saúde do Hospital-Escola da Fundação Fernando Pessoa (CES-KE-FFP), conforme parecer nº 09/2016 (Anexo A).

**3.1.1. Coleta óssea**

Neste estudo foi utilizado um fêmur bovino (Figura 24), obtido a partir de um animal sem raça definida, com idade e sexo desconhecidos, cedido por um estabelecimento alimentício situado no município de Vila Nova de Gaia – Portugal.



**Figura 24** – Tecido bovino utilizado no procedimento experimental

### 3.1.2. Limpeza óssea

Posteriormente foi efetuada a remoção dos tecidos moles presentes no fêmur com o auxílio de um bisturi, e a secção da peça com a ferramenta de corte modelo tico-tico, obtendo-se três amostras cilíndricas semelhantes (Figura 25).



**Figura 25** - Tecido ósseo após a obtenção das amostras cilíndricas.

### 3.1.3. Confeção dos blocos ósseos

Na confecção dos blocos ósseos foram utilizados equipamentos para prevenção de acidentes (Figura 26), como óculos de proteção visual e luvas de látex para evitar o contato dos tecidos com o operador. O mecanismo de corte (micro retífica) foi inserido e fixado em uma base de apoio (Figura 27), juntamente com a amostra cilíndrica.



**Figura 26** – Materiais e equipamentos de proteção utilizados na fase experimental.



**Figura 27** – Equipamento de policorte fixado na plataforma e posicionado para efetuar o corte ósseo.

A amostra cilíndrica foi seccionada de acordo com as imagens ilustrativas ( Figura 28): I) remoção da primeira camada do tecido ósseo cortical por secção vertical; II) remoção da segunda camada do osso cortical abrangendo parte do osso trabecular esponjoso por secção vertical; III) remoção das extremidades; IV) recorte horizontal do tecido ósseo; V) bloco ósseo experimental. Com isto, foram confeccionados 06 blocos experimentais a serem analisados metrologicamente.

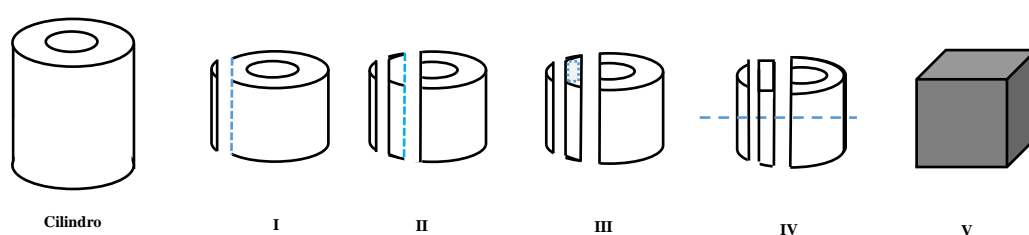


Figura 28 – Método de corte para confecção dos blocos ósseos

Os 06 blocos experimentais foram submetidos a análise metrológica com a utilização de paquímetro analógico, modelo Zaas Precision, com escala de precisão de 0.05 mm. A medição de altura dos blocos foi realizada individualmente obtendo-se os seguintes valores:

Tabela 3 – Quantificação de altura dos blocos ósseos experimentais.

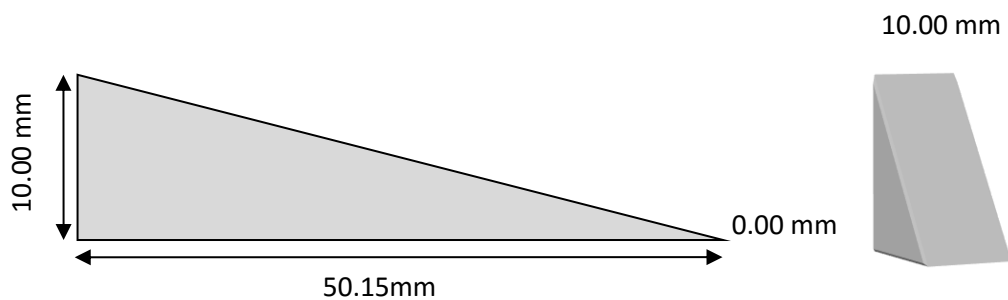
Bloco	Altura milímetros
01	7.30 mm
02	5.90 mm
03	2.75 mm
04	3.25 mm
05	1.50 mm
06	1.00 mm

### 3.2. Confeção do artefato densitométrico

A quantificação da densidade radiográfica somente é possível por meio de referenciais densitométricos. Estes artefatos devem possuir característica de absorção de raios-X semelhante a curva de absorção óssea. Os mesmos devem ser incluídos no exame radiográfico como artefato para medição da densidade. A hidroxiapatita, componente presente na formação da matriz óssea (30 a 70%

da massa óssea), tem sido empregada como referencial densitométrico em experimentos para estimar a densidade mineral óssea do osso calcâneo. Entretanto com este componente orgânico não é possível a realização de exames em larga escala, visto que a matéria prima é confeccionada em micropartículas. Outro importante aliado é o alumínio, que apresenta características absorptiva semelhante ao osso. No Brasil, este material é denominado ABNT - Liga 6063 (Duinkerke *et al.*, 1978).

No experimento descrito acima foi utilizado o alumínio ABNT 6063 e equipamento CNC router (fresa) para recorte do referencial densitométrico. O artefato foi confeccionado com as respectivas medidas: altura máxima 10.00 mm; comprimento de 50.15 mm e 10.00 mm de largura (Figura 29).



**Figura 29** – Representação gráfica do artefato densitométrico cunha

### **3.3. Tomadas radiográficas**

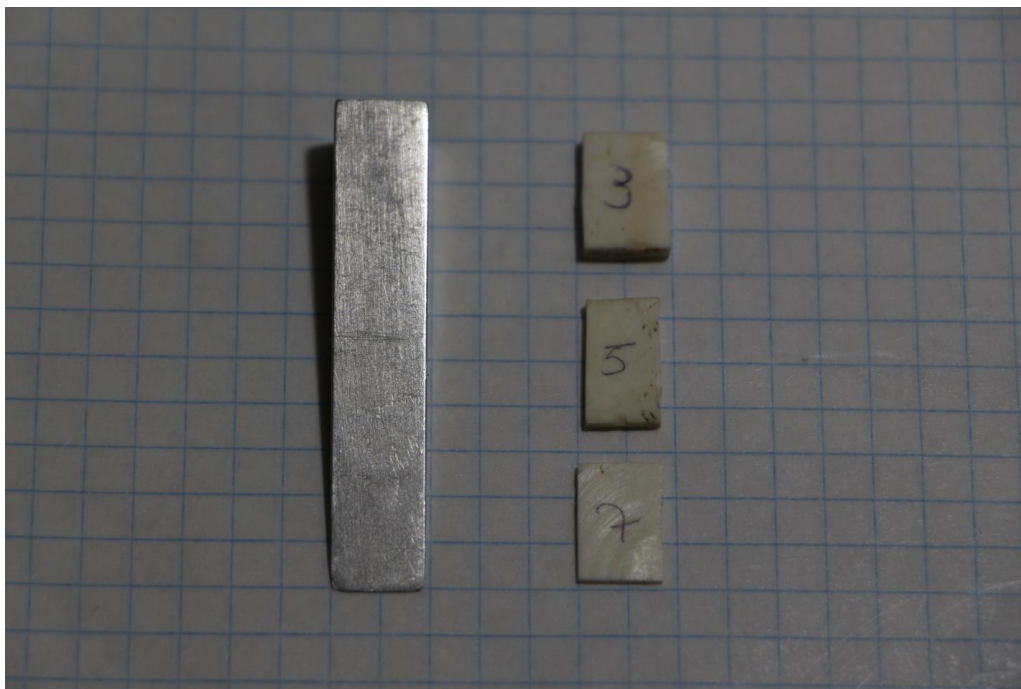
Para realizar as tomadas radiográficas utilizou-se equipamento de raios-X cedido pelo Hospital-Escola da Fundação Fernando Pessoa, marca Siemens, modelo AXIOM Luminos dRF, com sistema digital pós-processamento de imagem Fluorospot Compact. O equipamento foi calibrado com distância de foco de 1 metro, foco-filme, com ajuste de 55kVp e 5mAs. A região focal foi indicada ao centro do artefato densitométrico (Figura 30). Após o ajuste do aparelho foram inseridas sobre a mesa radiográfica, o papel quadriculado, artefato densitométrico e o objeto de estudo.



**Figura 30** – Equipamento radiológico utilizado no experimento

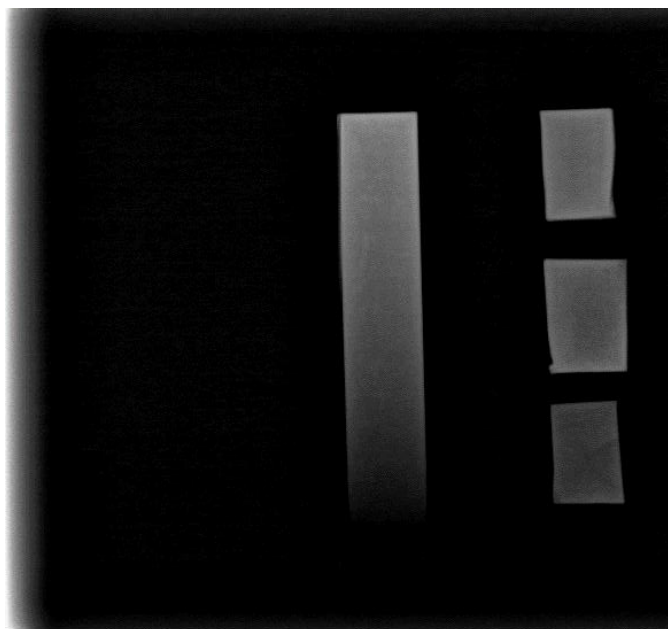
A folha de papel quadriculada (Figura 31) foi utilizada no posicionamento dos objetos para obtenção do melhor esquadramento junto a imagem radiográfica. Para melhor durabilidade, a folha de papel foi revestida de papel plástico de contato (plástico contact<sup>®</sup>) encontrado em facilmente em livrarias.

O artefato densitométrico e o bloco ósseo foram sobrepostos ao papel quadriculado de forma centralizada. A distância recomendada entre o referencial densitométrico e o objeto de estudo é de aproximadamente de 2 a 4 centímetros (Figura 31).

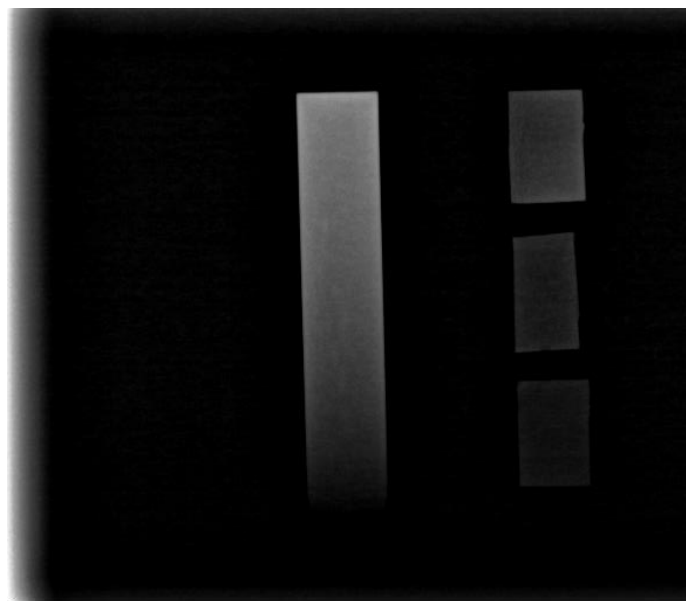


**Figura 31** - Papel quadriculado para alinhamento, referencial densitométrico e objetos de estudo

Foram realizadas 32 tomadas radiográficas dos blocos ósseos: 18 dos blocos 01, 02 e 04 (Figura 32) e 03, 05 e 06 (Figura 33) respectivamente.



**Figura 32** – Tomada radiográfica dos blocos 01, 02 e 04



**Figura 33** – Tomada radiográfica dos blocos 3, 5 e 6

### **3.4. Processo computacional para realização da técnica de densidade radiográfica**

Em seguida será descrito os procedimentos para realização do exame de densidade radiográfica por meio de software de análise de densitometria radiográfica.

O software computacional apresenta em sua janela principal (Figura 34) a opção de selecionar a imagem radiológica, seleção do artefato densitométrico (altura), ferramentas de desenho, desenho retangular do referencial densitométrico, escolha do objeto de estudo, geração de gráfico de dispersão de densidade radiográfica bem como a altura em milímetros de alumínio e por fim a opção de projeção tridimensional do objeto de estudo.

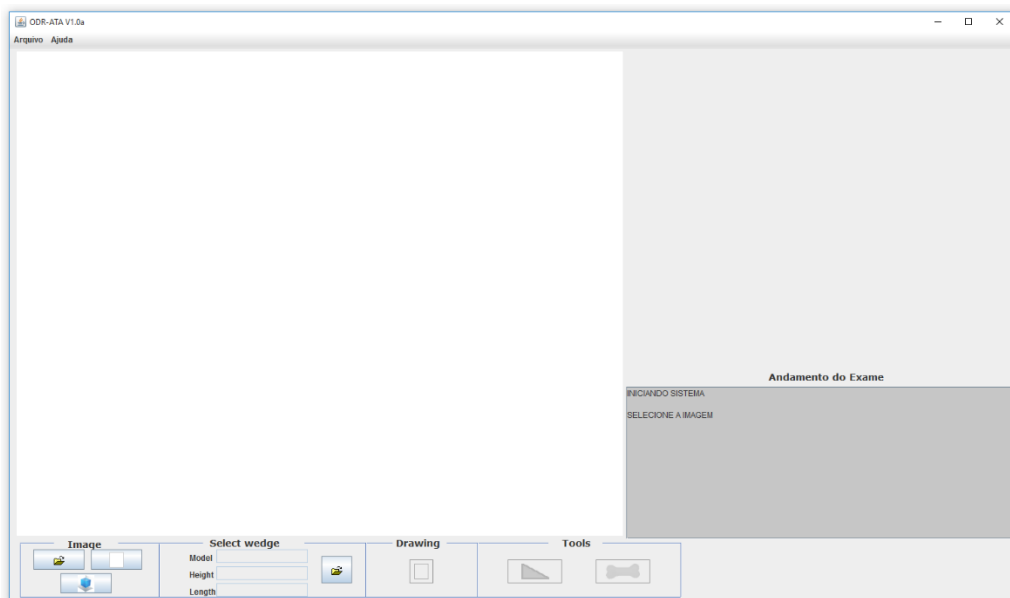


Figura 34 – Página inicial do software de processamento.

Com o software em execução, selecionou-se a imagem radiográfica (extensão PNG ou DICOM) (Figura 35). Em seguida, com a imagem recuperada, selecionou-se por meio do acionador “*abrir cunha*”, o referencial densitométrico utilizado no estudo, com a possibilidade de realizar operações de inserir, alterar e excluir (Figura 36).

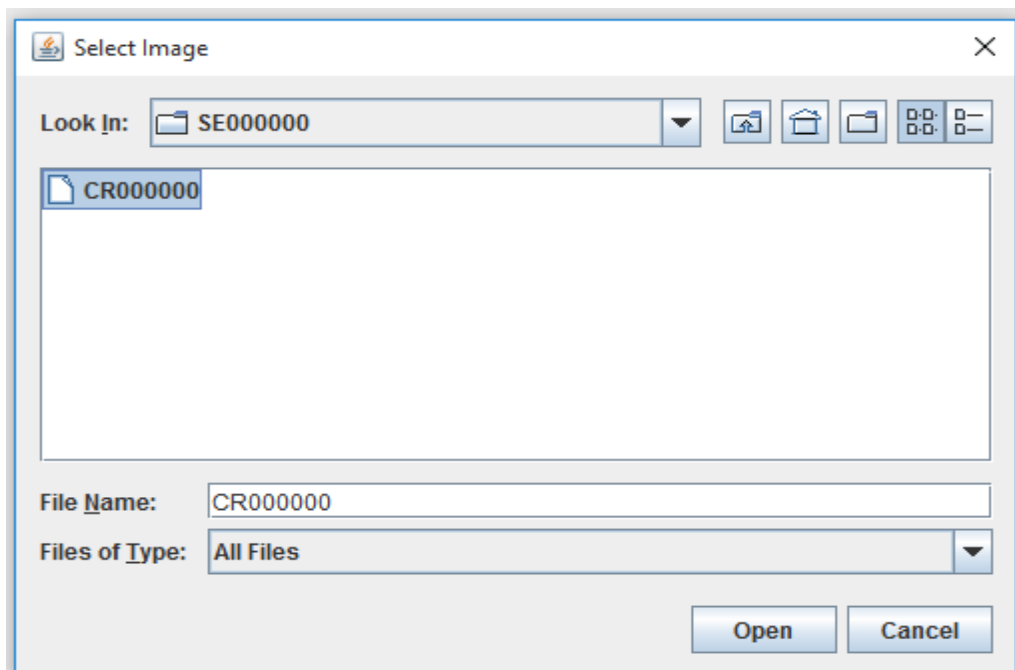


Figura 35 – Janela responsável por selecionar o arquivo radiográfico a ser processado.

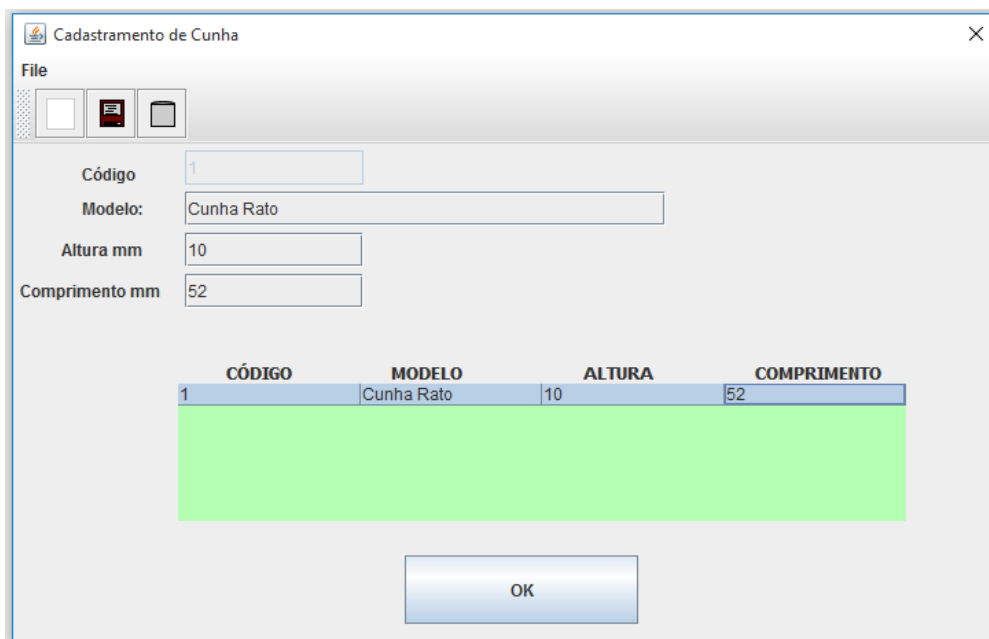


Figura 36 – Janela responsável por selecionar o artefato densitométrico.

Com auxílio do rato (*mouse*), foi realizada por meio da opção retângulo a seleção do referencial densitométrico presente na imagem selecionada (Figura 37). Para concluir utilizou-se o botão cunha para análise e processamento numérico.

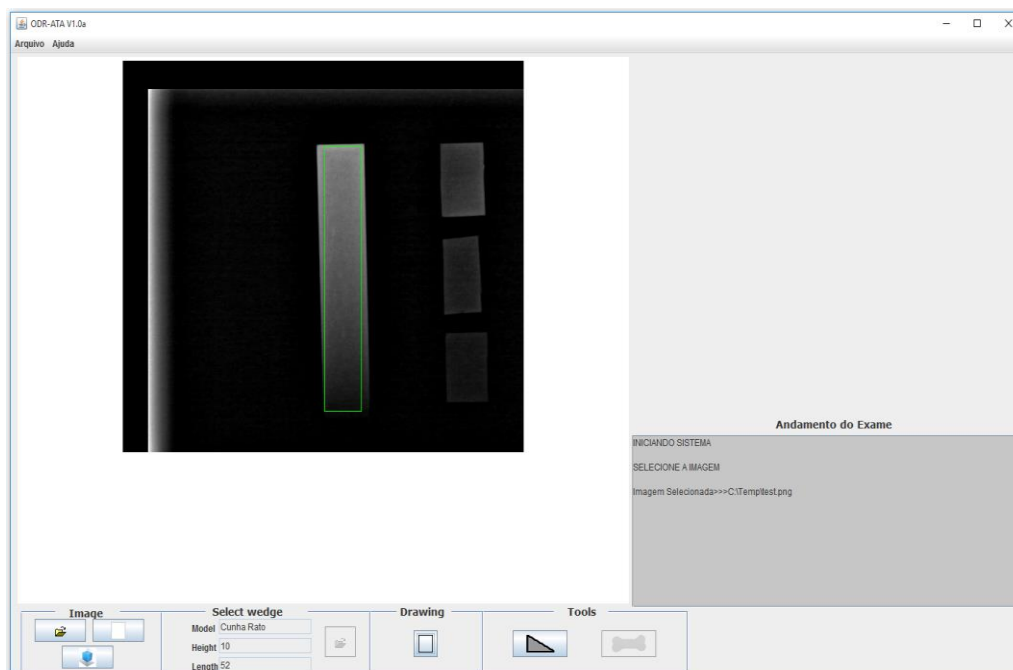
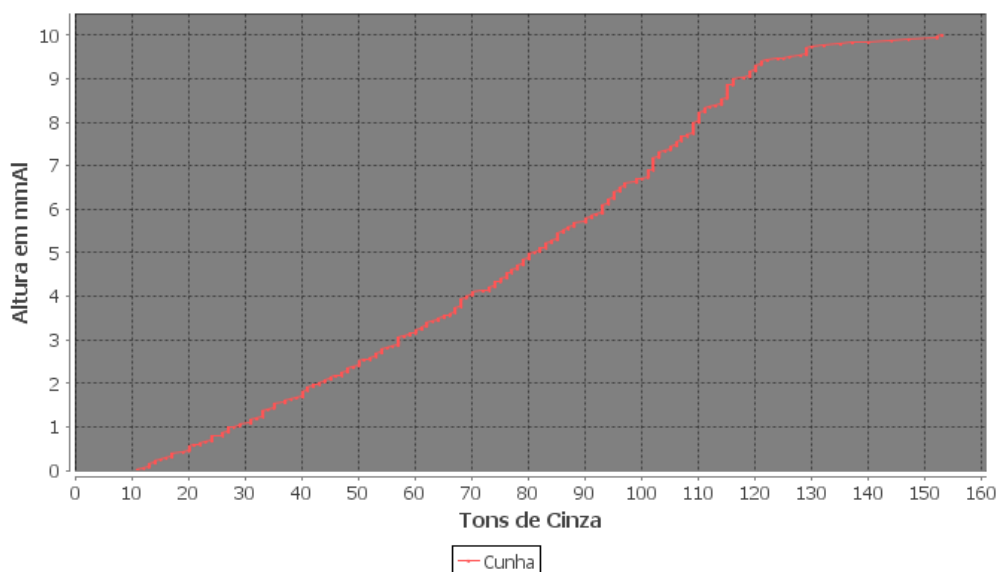


Figura 37 – Seleção do artefato densitométrico presente na imagem radiográfica.

Ao concluir a análise numérica o sistema computacional projetou um gráfico de dispersão (tons de cinza versus Altura em milímetros) (Figura 38). Tons de cinza é representado pela média dos *pixels* de cada linha do referencial densitométrico

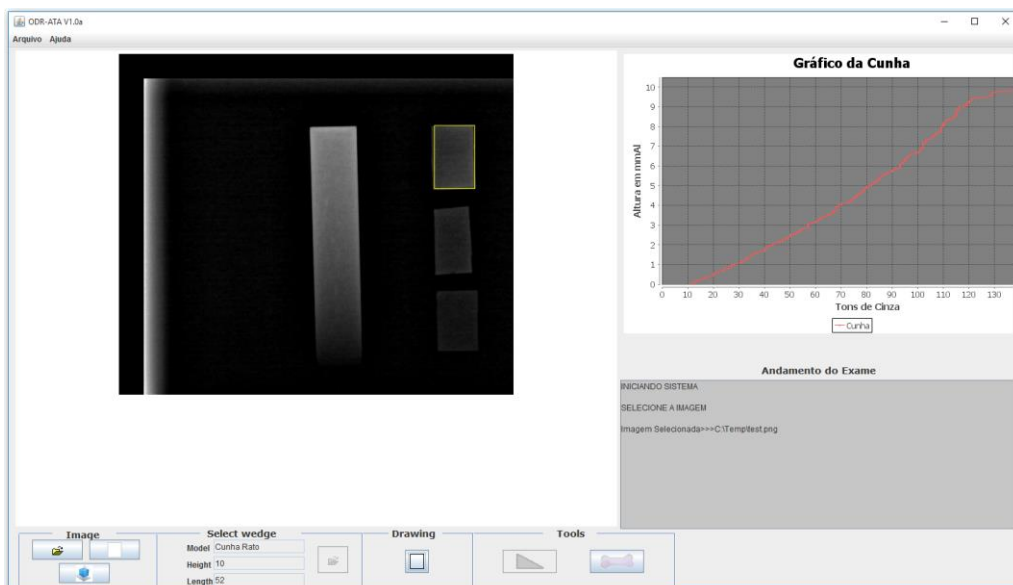
e altura em milímetros é constituída por uma escala numérica entre tamanho máximo e mínimo do artefato.

**Gráfico da Cunha**



**Figura 38** – Gráfico de dispersão gerado pelo processamento do referencial densitométrico.

Em seguida, por meio do acionador objeto de estudo e auxílio do rato, foi esquadrinhado o bloco de osso (Figura 39) presente na radiografia e em seguida foi acionado o botão objeto de estudo para mensurar a densidade radiográfica expressa em milímetros de alumínio.

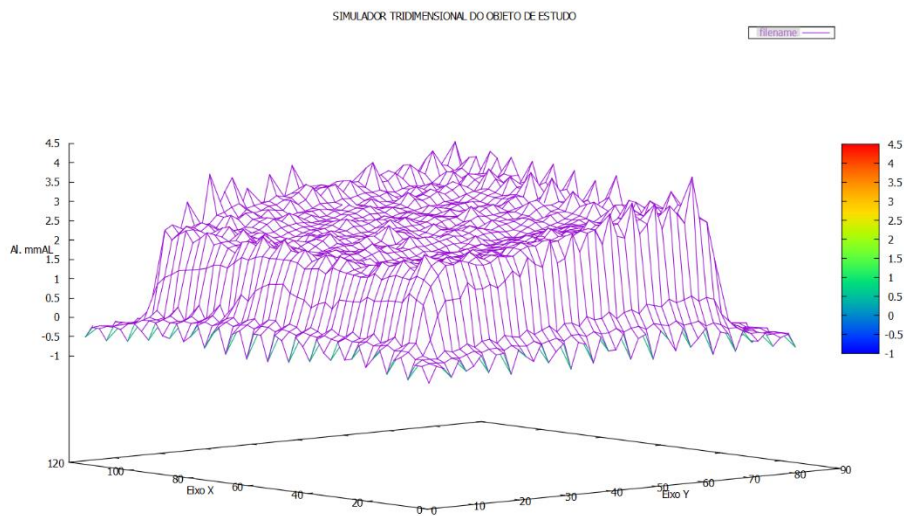


**Figura 39** - Seleção do objeto de estudo presente na imagem radiográfica.

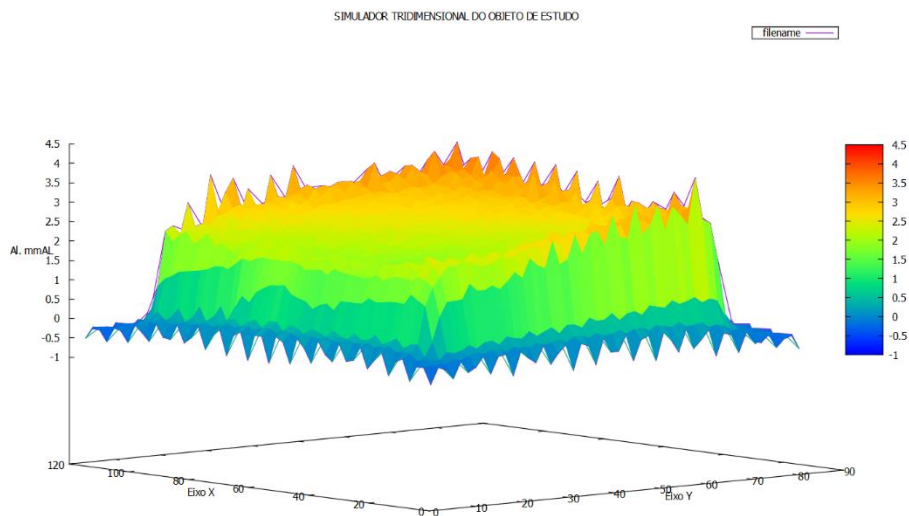
Além de apresentar resultados de densidade radiográfica, o algoritmo possibilitou uma projeção tridimensional. Na figura 40 ocorre uma projeção de

## Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.

de malha e na figura 41 a visualização 3D por cores do objeto de estudo, por meio dos seus eixos x e y, além da conversão de tons de cinza em milímetros de alumínio para simular o efeito de profundidade (eixo z).



**Figura 40** – Reprodução tridimensional do objeto de estudo - malha



**Figura 41** – Projeção de cores tridimensional do objeto de estudo – filtro de cor

### 3.5. Filtro de cor aplicado para verificação de absorção de raios-X.

A funcionalidade filtro de cores disponível no software ImageJ permitiu a comparação e visualização exata dos dados morfológicos do objeto de estudo e

do referencial densitométrico. No ImageJ foi acionar a opção menu *Threshold* e *Lookup Tables* para simular o mapa de cores da imagem radiográfica (Figura 42).



**Figura 42** – Exemplo de projeção do mapa de cores da imagem radiográfica.

### **3.6. Acesso a informação**

Para obter as informações de gastos com medicamentos para o tratamento da osteoporose, foram solicitadas e fornecidas pelo ministério da saúde do Brasil, por meio do programa de acesso a informação. Com relação aos dados quantitativos de equipamentos DXA e Raio-X situados na região norte, foram extraídos do sistema de informação DATASUS.

### **3.7. Resumo do capítulo**

O capítulo metodológico apresentou o tipo de estudo metodológico utilizado para realizar o trabalho, sua classificação de natureza do estudo (básica), a abordagem com foco em pesquisa quantitativa, os objetivos classificados como conclusivos, o procedimento técnico utilizada modelagem matemática (algoritmo) incluindo a pesquisa bibliográfica.

Como norteador deste estudo foi definido o delineamento e as 8 etapas de pesquisa a serem seguidas:

- 1) Planejamento e determinação do problema:
- 2) Planejamento da fundamentação teórica
- 3) Proposta do algoritmo
- 4) Confeção das amostras ósseas
- 5) Realização das tomadas radiográficas
- 6) Execução do algoritmo
- 7) Tratamento dos resultados
- 8) Análise dos resultados

Os 6 blocos amostrais de tecidos ósseos confeccionados permitiram executar testes do algoritmo, além de avaliar quantitativamente os valores de densidade radiográfica média em milímetros de alumínio. Em seguida foram descritos os procedimentos para realização do teste de densitometria com o auxílio de software, incluindo a projeção tridimensional do objeto de estudo. O software ImageJ por meio do filtro de cores utilizado nas tomadas radiográficas permitiram simular o mapa de cores da imagem radiográfica.

O CAPÍTULO IV – PROPOSTA DE UM ALGORITMO DE SELEÇÃO POLINOMIAL PARA DENSITOMETRIA RADIOGRÁFICA, especifica uma descrição do algoritmo polinomial, incluído as suas funcionalidades matemáticas e o seu funcionamento.

Já no CAPÍTULO V – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DE DENSIDADE RADIOGRÁFICA E ESTUDO DEMOGRÁFICO, descreve os resultados de densidade radiográfica expressos em milímetros de alumínio. E por fim é apresentado os capítulos CAPÍTULO VI – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS e CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES.

## CAPÍTULO IV – PROPOSTA DE UM ALGORITMO DE SELEÇÃO POLINOMIAL PARA DENSITOMETRIA RADIOGRÁFICA.

Segundo (Teixeira, 2015), o conceito de algoritmo pode ser definido como: “*uma sequência de instruções ordenadas de forma lógica para a resolução de uma determinada tarefa ou problema*”. O autor sugere ainda uma definição formal de algoritmo como: “*Sequência de passos ordenados finitos, não ambíguos, que levam à execução de uma tarefa.*”

De acordo com (Goldbarg, Luna & Goldbarg, 2016), algoritmo é “*um conjunto de regras que permitem que uma determinada entrada de dados seja transformada em uma saída específica.*”. Neste contexto, (Piske, 2012) define o conceito de algoritmo como “*qualquer procedimento computacional bem definido que toma alguma valor ou conjunto de valores como entrada e produz algum valor ou conjunto de valores de saída*”.

### 4. Introdução

O presente capítulo apresenta a proposta de um algoritmo de seleção polinomial, capaz de mensurar a densidade óssea por meio da densidade radiográfica. Este algoritmo prevê a seleção polinomial por meio da variabilidade dos valores de variância residual.

A densitometria radiográfica é definida como a técnica que permite determinar a densidade óssea por meio de artefatos densitométricos, que apresentam características de absorção semelhante ao osso.

O emprego de funções matemáticas tem contribuído para melhores resultados de densidade radiográfica. (Dubrez et al., 1992) e (Oliveira et al., 2015) utilizaram em seus trabalhos funções de ajuste de curva polinomial de terceira ordem para mensurar a densidade radiográfica em milímetros de alumínio. Porém não há relatos científicos sobre a determinação da ordem polinomial para o cálculo da função de ajuste de curva de densidade radiográfica. (Filho, 2007) descreve que

a variância residual pode ser aplicada como seletor de ordem polinomial por meio de sua variabilidade.

Os tópicos deste capítulo foram divididos em:

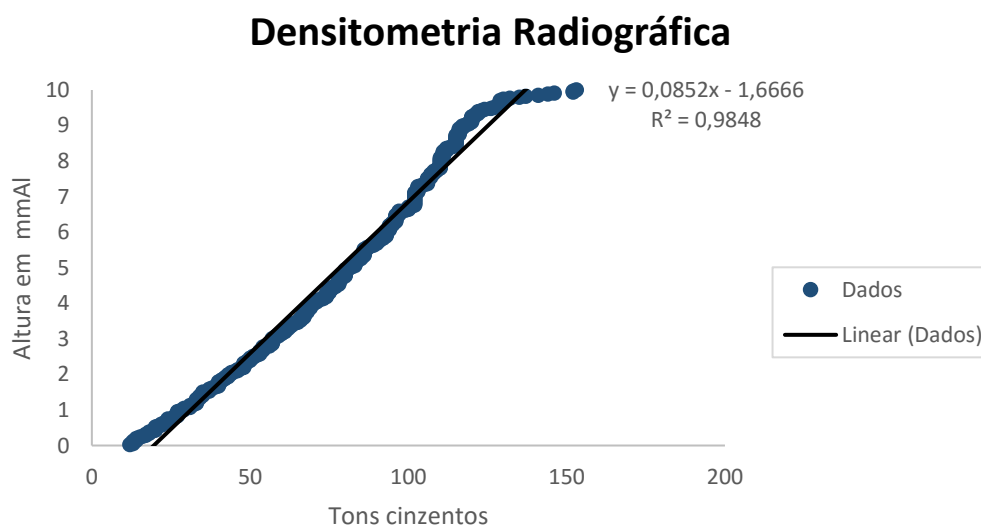
- ❖ Seção Análise de regressão;
- ❖ Seção Modelo de regressão não linear
- ❖ Seção Método dos mínimos quadrados;
- ❖ Seção Método dos mínimos quadrados – caso discreto
- ❖ Seção Ajuste de curva polinomial
- ❖ Seção A proposta;
- ❖ Seção Mensuração das variáveis X e Y
- ❖ Seção Somatória das variáveis
- ❖ Seção Regra de Cramer e determinantes;
- ❖ Seção Funções de ajuste polinomial de 2<sup>a</sup> à 5<sup>a</sup> ordem;
- ❖ Seção Coeficiente de determinação;
- ❖ Seção Variância residual;
- ❖ Seção Variabilidade de variância residual;
- ❖ Seção Resumo do capítulo;

#### 4.1. Análise de regressão

A análise de regressão é definida como um modelo estatístico que possibilita constatar a relação entre as variáveis X (independente) e variável Y (dependente) por meio de equações matemáticas (Montgomery, Peck & Vining, 2006). Os modelos de regressão são divididos em modelos lineares e não lineares (Draper & Smith, 1998).

##### 4.1.1. Modelo de regressão linear

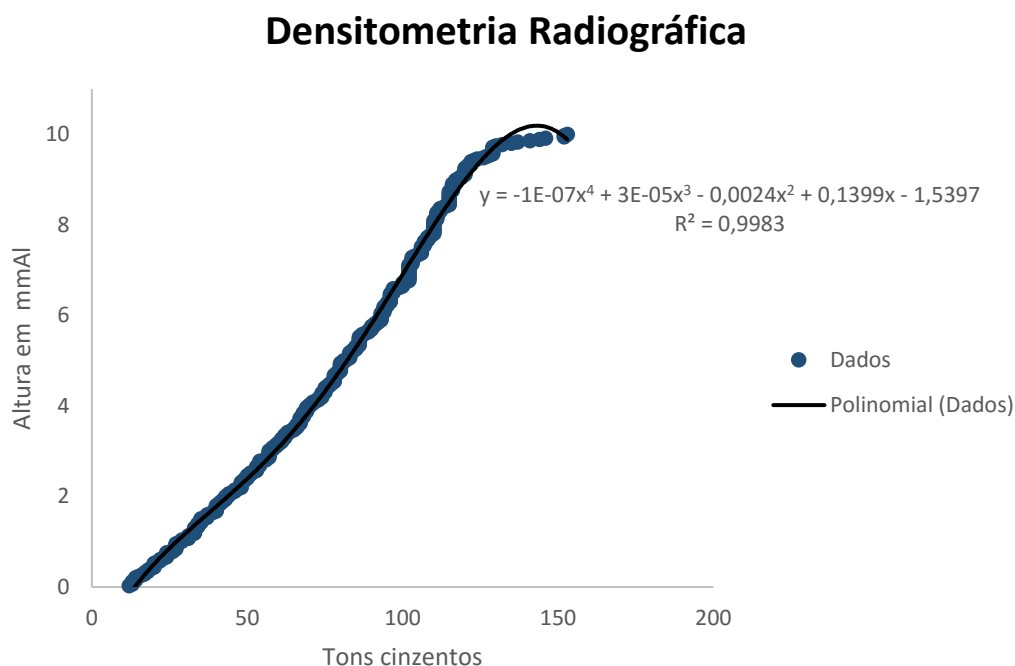
O modelo de regressão linear (Figura 43) é descrito por Esteitie (2015) como um método construtivo linear que percorre os dados a serem observados da variável desfecho, em oposição a uma covariável ou variável preditora. A regressão linear permite calcular o coeficiente de regressão que consiste em uma inclinação que sugere o aumento ocorrido.



**Figura 43** – Representação gráfica do modelo de análise de regressão linear para densitometria radiográfica.

#### 4.1.2. Modelo de regressão não linear

O modelo de regressão não linear (Figura 44) é definido como uma relação curvilínea entre duas variáveis (X e Y). No presente trabalho foi utilizado o modelo de regressão não linear para determinar o ajuste de curva polinomial de densidade radiográfica. (Morrow et al., 2014)



**Figura 44** – Representação gráfica do modelo de análise de regressão não linear para densitometria radiográfica.

#### 4.1.3. Método dos mínimos quadrados – caso discreto

O método dos mínimos quadrados é definido como o conjunto de equações algébricas que permite selecionar o melhor ajuste para um conjunto de dados, minimizando as somas quadráticas entre valor estimado e observado. Sua representação matricial de forma geral é semelhante ao apresentado na Equação 1. Os coeficientes  $a_{ij}$  e os valores independentes  $x_j$  são conhecidos e as variáveis  $b_i$  são as incógnitas do sistema linear. (Filho, 2007)

$$\begin{array}{ccccccccc}
 a_{11}x_1 & + & a_{12}x_2 & + & a_{13}x_3 & + & \dots & + & a_{1n}x_n & = & b_1 \\
 a_{21}x_1 & + & a_{22}x_2 & + & a_{23}x_3 & + & \dots & + & a_{2n}x_n & = & b_2 \\
 \vdots & & \vdots & & \vdots & & & & \vdots & & \vdots \\
 a_{m1}x_1 & + & a_{m2}x_2 & + & a_{m3}x_3 & + & \dots & + & a_{mn}x_n & = & b_m
 \end{array}$$

**Equação 1** – Modelo matricial dos Métodos dos Mínimos Quadrados

#### 4.1.4. Ajuste de curva polinomial

O ajuste de curva polinomial segundo Almeida (2015) é definido como o “procedimento matemático que consiste em se determinar, a partir de uma série de pontos representativos das variáveis que compõem um determinado fenômeno, uma curva que o expresse matematicamente.”.

O ajuste polinomial é responsável pela construção da curva característica associada a um polinômio de ordem igual ou superior a dois (Equação 2). A função de ajuste polinomial em sua forma tradicional é descrita como:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x + b_m \cdot x^m$$

**Equação 2** – Função de ajuste de curva polinomial.

Na Equação 3, observa-se que a função de ajuste possui forma semelhante ao ajuste linear. A variável  $b_i$  é definida conforme a resolução da matriz por meio da aplicação de métodos determinísticos nos sistemas não lineares matriciais conforme apresentado abaixo:

$$\begin{array}{ccc}
 \left[ \begin{array}{ccc} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^m & \sum x_i^m & \sum x_i^m \end{array} \right] & * & \left[ \begin{array}{c} b_0 \\ b_1 \\ b_m \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \sum y_i \\ \sum x_i \cdot y_i \\ \sum x_i^m \cdot y_i \end{array} \right] \\
 \text{a)} & & \text{b)} \quad \text{c)}
 \end{array}$$

**Equação 3** – Modelo matricial não linear: a) Matriz incompleta; b) Matriz de incógnitas; c) Matriz dos termos independentes.

## 4.2. A proposta

A proposta do presente trabalho foi construir um algoritmo de seleção polinomial para determinar a densidade radiográfica por meio da variabilidade de variância residual. O algoritmo de seleção é composto de funções matemáticas e estatísticas tais como: Método dos mínimos quadrados; Ajuste Polinomial, Teorema de Cramer e Determinantes; Coeficiente de determinação e Variância Residual. O trabalho foi dividido em 6 etapas conforme apresentado na Figura 45:

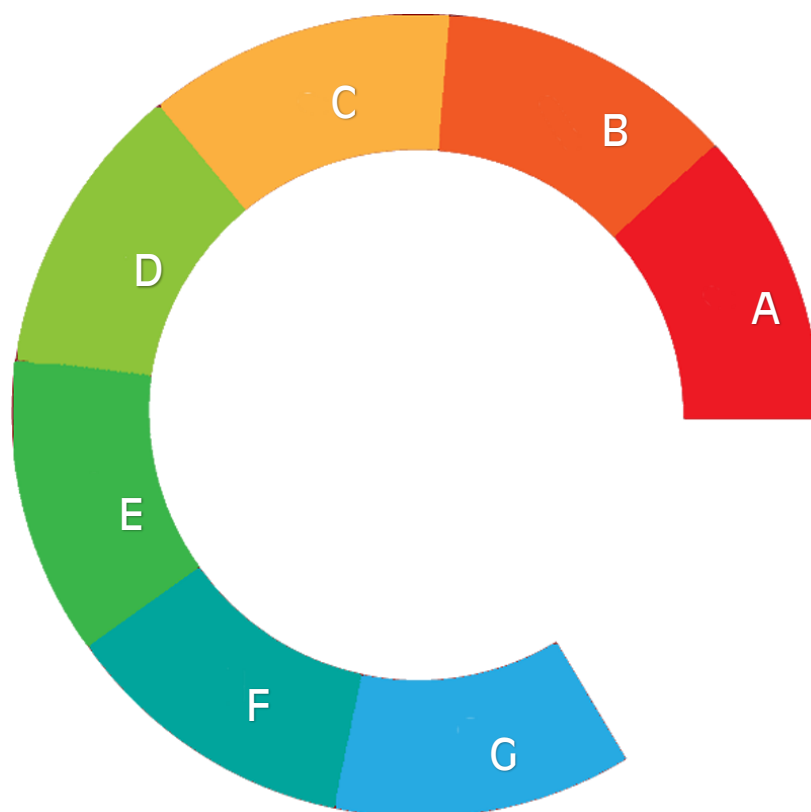


Figura 45 – Processo de seleção polinomial por meio da variabilidade da variância residual.

### A. Mensuração das variáveis X e Y

A entrada de dados do algoritmo (variável X) consiste em receber a extração dos *pixels* da imagem do artefato densitométrico presente na imagem radiográfica. Já a variável Y tem sua entrada definida pela escala mínima e máxima do artefato densitométrico.

Para o algoritmo mensurar a variável X (Figura 46) por meio do método *mensurarX(caminho)* é necessária a indicação do caminho físico do arquivo de imagem extraído. Este método realiza o processamento da imagem por meio de dois laços *FORs* (*linha por coluna*), com o auxílio da funcionalidade *getPixel(x, y, pixels)* extrai as tonalidades de cinza do artefato densitométrico. Ao final de cada linha é calculada a média da linha de tons cinzentos e armazenada no vetor *listaX* (para obter-se uma lista com as médias por linha - escala densitométrica). Após o encerramento de cada ciclo de linha, uma nova execução é iniciada até que a condição de parada seja satisfeita. Por fim, o algoritmo realiza a chamada da funcionalidade *mensurarY(tamanho, x)* para dar continuidade no processo.

```
public void mensurarX(File caminho) {  
  
    int pixels[] = new int[400];  
    double media = 0;  
  
    BufferedImage processedImage;  
    try {  
        processedImage = ImageIO.read(caminho);  
  
        WritableRaster raster = processedImage.getRaster();  
  
        for (int y = 0; y < processedImage.getHeight(); y++) {  
  
            for (int x = 0; x < processedImage.getWidth(); x++) {  
  
                raster.getPixel(x, y, pixels);  
  
                media = media + pixels[0];  
  
            }  
  
            x.add((int) media / processedImage.getWidth());  
            media = 0;  
        }  
    } catch (IOException e) {  
        e.printStackTrace();  
    }  
    mensurarY(10.0, x);  
}
```

**Figura 46** – Funcionalidade algorítmica para mensuração da variável X.

Já a variável Y utiliza o método *mensurarY(tamanhoCunha, x)*, por meio dos argumentos (tamanho máximo da cunha e lista média dos tons) (Figura 47). Com isto, é realizado o cálculo para obter o tamanho unitário do artefato densitométrico por meio do cálculo (*tamanhoCunha/tamanhoAmostrax*) para

posteriormente ser processado em um laço *FOR* e efetuar a operação de multiplicação entre tamanhoUnitario x incremento. Desta forma foi produzida uma lista de escala de altura (zero ao tamanho máximo da cunha informada).

```
public void mensurarY(double tamanhoCunha, ArrayList<Integer> x) {  
    double tamanhoUnitario = tamanhoCunha / x.size();  
    for (int i = 0; i < x.size(); i++) {  
        y.add(tamanhoUnitario * i);  
    }  
    soma(x, y);  
}
```

**Figura 47** – Funcionalidade algorítmica para mensuração da variável Y.

## **B. Somatória das variáveis**

Ao determinar os valores de X e Y é possível realizar o processo de somatória<sup>3</sup> das variáveis X ( $X^1, X^2, X^3, X^4, X^5, X^6, X^7, X^8, X^9, X^{10}$ ) e Y ( $Y, Y^2, X * Y, X^2 * Y, X^3 * Y, X^4 * Y, X^5 * Y$ ) (Figura 48) possibilitando a construção da matriz conforme exposto no tópico ajuste de curva polinomial . O método *soma(x,y)* é responsável pela somatória dos atributos. A partir de um laço *FOR* é calculada a soma dos atributos X e Y; e a função *Math.pow(x, i)* infere o expoente inicial de dois até dez, determinando o cálculo amostral da matriz. Ao terminar a execução, o algoritmo invoca a funcionalidade *geraPolinomio()*.

```
public void soma(ArrayList<Integer> x, ArrayList<Double> y) {  
    Somatoria s = new Somatoria();  
    int i = 0;  
    for (; i < x.size(); i++) {  
        s.setX(s.getX() + x.get(i));  
        s.setX2(s.getX2() + (Math.pow(x.get(i), 2)));  
        s.setX3(s.getX3() + (Math.pow(x.get(i), 3)));  
        s.setX4(s.getX4() + (Math.pow(x.get(i), 4)));  
        s.setX5(s.getX5() + (Math.pow(x.get(i), 5)));  
        s.setX6(s.getX6() + (Math.pow(x.get(i), 6)));  
        s.setX7(s.getX7() + (Math.pow(x.get(i), 7)));  
        s.setX8(s.getX8() + (Math.pow(x.get(i), 8)));  
    }  
}
```

---

<sup>3</sup> As classes auxiliares encontram-se no anexo 3.

```
s.setX9(s.getX9() + (Math.pow(x.get(i), 9)));
s.setX10(s.getX10() + (Math.pow(x.get(i), 10)));
s.setY(s.getY() + y.get(i));
s.setY2(s.getY2() + (Math.pow(y.get(i), 2)));
s.setXy(s.getXy() + x.get(i) * y.get(i));
s.setX2y(s.getX2y() + (Math.pow(x.get(i), 2)) * y.get(i));
s.setX3y(s.getX3y() + (Math.pow(x.get(i), 3)) * y.get(i));
s.setX4y(s.getX4y() + (Math.pow(x.get(i), 4)) * y.get(i));
s.setX5y(s.getX5y() + (Math.pow(x.get(i), 5)) * y.get(i));

}

s.setTamanhoAmostra(i);

gerarPolinomio();

}
```

Figura 48 – Função algorítmica para calcular o somatório da matriz simplificada.

Outra funcionalidade importante neste processo é a função *geraPolinomio()* (Figura 49) que permite a mensuração da função polinomial de 2ª a 5ª ordem por meio de um laço *FOR* com valor inicial de dois até cinco. Em cada passagem o algoritmo realiza a chamada da funcionalidade calcular *determinante()*.

```
public void gerarPolinomio() {
    try {

        for (int size = 2; size <= 5; size++) {

            calcularDeterminante(size,s);

        }

    } catch (IOException e) {
        e.getMessage();
    }
}
```

Figura 49 – Funcionalidade algorítmica para calcular o determinante das matrizes de ordem 2 a 5.

### C. Regra de Cramer e determinantes

Os sistemas lineares e o cálculo de determinantes são tópicos amplamente discutidos dentro da álgebra linear. Em 1693, Leibniz descreveu uma fórmula matemática capaz de mensurar determinantes em matrizes. Já estudos de Cramer (1750) permitiram desenvolver um modelo para a resolução de sistemas lineares baseado no cálculo de determinantes, denominado como Regra de Cramer. (Lamin, 2000)

A aplicação da regra de Cramer (Equação 4) em matrizes computacionais permitem que algoritmos possam obter valores de determinantes, principalmente em aplicações que requerem o uso de ajuste de curva polinomial.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^m & \sum x_i^m & \sum x_i^m \end{bmatrix} = \det A = b0$$

**Equação 4** – Modelo matricial não linear para apuração de determinantes.

Ao aplicar a regra de Cramer à matriz tende-se a substituir as colunas da matriz incompleta pela matriz dos termos independentes, possibilitando mensurar o determinante e assim dividi-lo pelo determinante padrão obtido na Equação 4, fornecendo os valores da matriz de incógnitas (Equação 5).

$$\begin{bmatrix} \sum y_i & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^m \cdot y_i & \sum x_i^m & \sum x_i^m \end{bmatrix} = \det B \longrightarrow \frac{\det A}{\det B} = b1$$

**Equação 5** – Matriz de ajuste de curva polinomial com aplicação da Regra de Cramer.

#### D. Funções de ajuste polinomial de 2ª à 5ª ordem

As funções de ajuste polinomial de 2ª à 5ª ordem são utilizadas pelo algoritmo para definir a função polinomial para mensurar densidade óssea pela densitometria radiográfica. Tais matrizes, necessitam dos valores dos eixos X (tons cinzentos) e Y (altura em milímetros), assim o algoritmo inicia o procedimento matemático conforme a função de ajuste polinomial.

**I. Mensuração polinomial de grau 2**

O algoritmo para mensuração polinomial de grau 2 (Equação 6) tem o objetivo de apurar os valores da função de ajuste de curva. Para isto, é necessário que as matrizes simplificadas tenham tamanho igual a 3x3, além de possuir os seguintes parâmetros: tamanho amostral (n) e somatórios dos vetores X e Y.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i \cdot y_i \\ \sum x_i^2 \cdot y_i \end{bmatrix}$$

**Equação 6** – Representação matricial do sistema de equação de segunda ordem.

A resolução do sistema não linear acima é resolvida pelo emprego de determinantes, afim de adquirir os valores da função de 2ª ordem conforme apresentado na Equação 7. Com isto, há o desenvolvimento de três novas matrizes para a aplicação da Regra de Cramer.

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} \sum y_i & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} n & \sum y_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^4 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i \cdot y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^2 \cdot y_i \end{bmatrix} \\ \text{a)} & \text{b)} & \text{c)} \end{matrix}$$

**Equação 7** – Representação das matrizes após a aplicação da regra de Cramer: a) Matriz para cálculo do determinante *DetA*; b) Matriz para cálculo do determinante *DetB* e c) Matriz para cálculo do determinante *DetC*.

Para cada nova matriz há uma troca de valores (somatórios X por Y) conforme destacado na Equação 7: a) Na primeira coluna da matriz os valores dos termos independentes são aplicados na primeira coluna da matriz obtendo-se o determinante A (detA); b) Na segunda coluna da matriz os valores dos termos independentes são aplicados na segunda coluna obtendo-se o determinante B (detB); c) Na terceira coluna da matriz os valores dos termos independentes são aplicados na terceira coluna obtendo-se o determinante C (detC). Por fim, é apresentado o cálculo divisor (Equação 8) para apurar as variáveis b<sub>0</sub>; b<sub>1</sub> e b<sub>2</sub>.

$$b_0 = \frac{detA}{detC} \qquad b_1 = \frac{DetA}{DetB} \qquad b_2 = \frac{DetA}{DetC}$$

**Equação 8** – Cálculo divisor dos determinantes para mensuração de função polinomial.

Conforme o exposto acima, o algoritmo computacional realiza o processo de construção matricial obtendo os valores de determinantes para mensurar a densidade radiográfica conforme apresentado na Figura 50.

```
public void calcularDeterminante(int i, Somatorio s) throws IOException {
    Ordem2 o2 = new Ordem2();

    double det, det1, det2, det3, det4, det5, det6 = 0;

    switch (i) {
    case 2:
        {

            double md[][] = {
                { s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2() },
                { s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3() },
                { s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4() } };

            double md1[][] = {
                { s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y() },
                { s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3() },
                { s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4() } };

            double md2[][] = {
                { s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2() },
                { s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y() },
                { s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4() } };

            double md3[][] = {
                { s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2() },
                { s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3() },
                { s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y() } };

            Matrix m1 = new Matrix(md);

            det = m1.det();

            m1 = new Matrix(md1);

            det1 = m1.det() / det;

            m1 = new Matrix(md2);
            det2 = m1.det() / det;

            m1 = new Matrix(md3);
            det3 = m1.det() / det;

            o2.setDet(det1);
            o2.setDetx(det2);
            o2.setDetx2(det3);

            break;
        }
    }
}
```

**Figura 50** – Método para construção matricial com aplicação de determinantes para calcular ordem 2.

Portanto obtém-se a seguinte função de ajuste polinomial de segunda ordem para mensuração de densidade radiográfica (Equação 9):

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2$$

Equação 9 - Função polinomial de 2ª ordem.

## II. Mensuração polinomial de grau 3

O algoritmo para mensuração polinomial de grau 3 (Equação 10) tem o objetivo apurar os valores da função de ajuste de curva. Para isto, é necessário que as matrizes simplificadas tenham tamanho igual a 4x4, além de possuir os seguintes parâmetros: tamanho amostral (n) e somatórios dos vetores X e Y.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i \cdot y_i \\ \sum x_i^2 \cdot y_i \\ \sum x_i^3 \cdot y_i \end{bmatrix}$$

Equação 10 - Representação matricial do sistema de equação de terceira ordem.

A resolução do sistema não linear acima é resolvida pelo emprego de determinantes, afim de adquirir os valores da função de 3ª ordem conforme apresentado na Equação 11. Com isto, há o desenvolvimento de três novas matrizes para a aplicação da regra de Cramer.

$$\begin{bmatrix} \sum y_i & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \\ \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i^3 \cdot y_i & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} n & \sum y_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i & \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^3 \cdot y_i & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \end{bmatrix}$$

a)

b)

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum y_i & \sum x_i^3 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^4 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^5 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^3 \cdot y_i & \sum x_i^6 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i \cdot y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^2 \cdot y_i \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^3 \cdot y_i \end{bmatrix}$$

b)

d)

Equação 11 – Representação das matrizes após a aplicação da regra de Cramer: a) Matriz para cálculo do determinante *DetA*; b) Matriz para cálculo do determinante *DetB*; c) Matriz para cálculo do determinante *DetC* e d) Matriz para cálculo do determinante *DetD*.

Para cada nova matriz há uma troca de valores (somatórios X por Y) conforme destacado na Equação 11: a) Na primeira coluna matriz os valores dos termos

independentes são aplicados na primeira coluna da matriz obtendo-se o determinante A (detA); b) na segunda coluna da matriz os valores dos termos independentes são aplicados na segunda coluna obtendo-se o determinante B (detB); c) na terceira coluna da matriz os valores dos termos independentes são aplicados na terceira coluna obtendo-se o determinante C (detC); d) na quarta coluna da matriz os valores dos termos independentes são aplicados na quarta coluna obtendo-se o determinante D (detD). Por fim, é apresentado o cálculo divisor (Equação 12) para apurar as variáveis  $b_0$ ;  $b_1$ ;  $b_2$  e  $b_3$ .

$$b_0 = \det A \quad b_1 = \frac{\det A}{\det B} \quad b_2 = \frac{\det A}{\det C} \quad b_3 = \frac{\det A}{\det D}$$

**Equação 12** – Cálculo divisor dos determinantes para mensuração de função polinomial de ordem 3.

Conforme o exposto acima, o algoritmo computacional realiza o processo de construção matricial obtendo os valores de determinantes para mensurar a densidade radiográfica conforme apresentado na Figura 51.

```
public void calcularDeterminante(int i, Somatorio s) throws IOException {
    Ordem3 o3 = new Ordem3();
    double det, det1, det2, det3, det4, det5, det6 = 0;

    switch (i) {

    case 3: {

double md[][] = {
    { s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(),
s.getSomaX3() },
    { s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4() },
    { s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5() },
    { s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6() } };

double md1[][] = {
    { s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y() },
    { s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4() },
    { s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5() },
    { s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6() } };

double md2[][] = {
    { s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3() },
    { s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y() },
    { s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5() },
    { s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6() } };

```

```
double md3[][] = {
    { s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3() },
    { s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4() },
    { s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y() },
    { s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6() } };

double md4[][] = {
    { s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3() },
    { s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4() },
    { s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5() },
    { s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y() } };

Matrix m1 = new Matrix(md);

det = m1.det();

m1 = new Matrix(md1);

det1 = m1.det() / det;

m1 = new Matrix(md2);
det2 = m1.det() / det;

m1 = new Matrix(md3);
det3 = m1.det() / det;

m1 = new Matrix(md4);
det4 = m1.det() / det;

o3.setDet(det1);
o3.setDetx(det2);
o3.setDetx2(det3);
o3.setDetx3(det4);
break;
}}}
```

**Figura 51** – Método para construção matricial com aplicação de determinantes para calcular ordem 3.

Portanto obtém-se a seguinte função de ajuste polinomial de terceira ordem para mensuração de densidade radiográfica (Equação 13):

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 + b_3 \cdot x^3$$

**Equação 13** - Função polinomial de 3ª ordem

### III. Mensuração polinomial de grau 4

O algoritmo para mensuração polinomial de grau 4 (Equação 14) tem o objetivo apurar os valores da função de ajuste de curva. Para isto, é necessário que as matrizes simplificadas tenham tamanho igual a 5x5, além de possuir os seguintes parâmetros: tamanho amostral (n) e somatórios dos vetores X e Y.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 \\ \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i \cdot y_i \\ \sum x_i^2 \cdot y_i \\ \sum x_i^3 \cdot y_i \\ \sum x_i^4 \cdot y_i \end{bmatrix}$$

**Equação 14** - Representação matricial do sistema de equação de quarta ordem

A resolução do sistema não linear acima é resolvida pelo emprego de determinantes, afim de adquirir os valores da função de 4º ordem conforme apresentado na Equação 15. Com isto, há o desenvolvimento de três novas matrizes para a aplicação da Regra de Cramer.

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} \sum y_i & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \\ \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \\ \sum x_i^3 \cdot y_i & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 \\ \sum x_i^4 \cdot y_i & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} n & \sum y_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \\ \sum x_i & \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^3 \cdot y_i & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 \\ \sum x_i^4 & \sum x_i^4 \cdot y_i & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 \end{bmatrix} \\ \text{a)} & \text{b)} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum y_i & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^3 \cdot y_i & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 \\ \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^4 \cdot y_i & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum y_i & \sum x_i^4 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^5 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^6 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^3 \cdot y_i & \sum x_i^7 \\ \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^4 \cdot y_i & \sum x_i^8 \end{bmatrix} \\ \text{c)} & \text{d)} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i \cdot y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^2 \cdot y_i \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^3 \cdot y_i \\ \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^4 \cdot y_i \end{bmatrix} \\ \text{e)} \end{matrix}$$

**Equação 15** – Representação das matrizes após a aplicação da regra de Cramer: a) Matriz para cálculo do determinante *DetA*; b) Matriz para cálculo do determinante *DetB*; c) Matriz para cálculo do determinante *DetC*; d) Matriz para cálculo do determinante *DetD* e e) Matriz para cálculo do determinante *DetE*.

Para cada nova matriz há uma troca de valores (somatórios X por Y) conforme destacado na (Equação 15): a) na primeira coluna da matriz os valores dos termos independentes são aplicados na primeira coluna da matriz obtendo-se o

determinante A (detA); b) na segunda matriz os valores dos termos independentes são aplicados na segunda coluna obtendo-se o determinante B (detB); c) na terceira matriz os valores dos termos independentes são aplicados na terceira coluna obtendo-se o determinante C (detC); d) na quarta matriz os valores dos termos independentes são aplicados na quarta coluna obtendo-se o determinante D (detD) e e) na quinta matriz os valores dos termos independentes são aplicados na quinta coluna obtendo-se o determinante E (detE). Por fim, é apresentado o cálculo divisor (Equação 16) para apurar as variáveis  $b_0$ ;  $b_1$  e  $b_2$ .

$$b_0 = \det A \quad b_1 = \frac{\det A}{\det B} \quad b_2 = \frac{\det A}{\det C} \quad b_3 = \frac{\det A}{\det D} \quad b_4 = \frac{\det A}{\det E}$$

**Equação 16** – Cálculo divisor dos determinantes para mensuração de função polinomial.

Conforme o exposto acima, o algoritmo computacional realiza o processo de construção matricial obtendo os valores de determinantes para mensurar a densidade radiográfica na Figura 52.

```
public void calcularDeterminante(int i, Somatorio s) throws IOException {
    Ordem4 o4 = new Ordem4();
    double det, det1, det2, det3, det4, det5, det6 = 0;
    switch (i) {
        case 4: {
            double md[][] = {
                { s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(),
                  s.getSomaX4() },
                { s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5() },
                { s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6()
                },
                { s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7()
                },
                { s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8() }
            };
            double md1[][] = {
                { s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y(), s.getSomaX4y()
                },
                { s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5() },
                { s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6()
                },
                { s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7()
                },
            };
        }
    }
}
```

## Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.

```
{ s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8() }
};

double md2[][] = {

{ s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(),
s.getSomaX4() },
{ s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y(), s.getSomaX4y()
},
{ s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6()
},
{ s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7()
},
{ s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8() }
};

double md3[][] = {

{ s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(),
s.getSomaX4() },
{ s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5() },
{ s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y(), s.getSomaX4y()
},
{ s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7()
},
{ s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8() }
};

double md4[][] = {

{ s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(),
s.getSomaX4() },
{ s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5() },
{ s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6()
},
{ s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y(), s.getSomaX4y()
},
{ s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8() }
};

double md5[][] = {

{ s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(),
s.getSomaX4() },
{ s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5() },
{ s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6()
},
{ s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7()
},
{ s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y(), s.getSomaX4y()
}
};
```

```
Matrix m1 = new Matrix(md);
det = m1.det();
System.out.println(det);
```

```
m1 = new Matrix(md1);
```

```
det1 = m1.det() / det;
System.out.println(det1);
```

```
m1 = new Matrix(md2);
det2 = m1.det() / det;
```

```
m1 = new Matrix(md3);
det3 = m1.det() / det;
```

```

m1 = new Matrix(md4);
det4 = m1.det() / det;

m1 = new Matrix(md5);
det5 = m1.det() / det;

o4.setDet(det1);
o4.setDetx(det2);
o4.setDetx2(det3);
o4.setDetx3(det4);
o4.setDetx4(det5);

break;

}}}
```

**Figura 52** – Método para construção matricial com aplicação de determinantes para calcular ordem 4.

Portanto obtém-se a seguinte função de ajuste polinomial de 4ª ordem para mensuração de densidade radiográfica (Equação 17):

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 + b_3 \cdot x^3 + b_4 \cdot x^4$$

**Equação 17** - Função polinomial de 4ª ordem.

#### IV. Mensuração polinomial de grau 5

O algoritmo para mensuração polinomial de grau 5 (Equação 18) tem o objetivo apurar os valores da função de ajuste de curva. Para isto, é necessário que as matrizes simplificadas tenham tamanho igual a 3x3, além de possuir os seguintes parâmetros: tamanho amostral (n) e somatórios dos vetores X e Y.

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 \\ \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 & \sum x_i^9 \\ \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 & \sum x_i^9 & \sum x_i^{10} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i \cdot y_i \\ \sum x_i^2 \cdot y_i \\ \sum x_i^3 \cdot y_i \\ \sum x_i^4 \cdot y_i \\ \sum x_i^5 \cdot y_i \end{bmatrix}$$

**Equação 18** - Representação matricial do sistema de equação de quinta ordem.

A resolução do sistema não linear acima é resolvida pelo emprego de determinantes, afim de adquirir os valores da função de 5ª ordem conforme

apresentado na Equação 19. Com isto, há o desenvolvimento de três novas matrizes para a aplicação da regra de Cramer.

$$\begin{array}{cc}
 \begin{bmatrix} \sum y_i & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \\ \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 \\ \sum x_i^3 \cdot y_i & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 \\ \sum x_i^4 \cdot y_i & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 & \sum x_i^9 \\ \sum x_i^5 \cdot y_i & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 & \sum x_i^9 & \sum x_i^{10} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} n & \sum y_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i & \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^3 \cdot y_i & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 \\ \sum x_i^4 & \sum x_i^4 \cdot y_i & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 & \sum x_i^9 \\ \sum x_i^5 & \sum x_i^5 \cdot y_i & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 & \sum x_i^9 & \sum x_i^{10} \end{bmatrix} \\
 \text{a)} & \text{b)} \\
 \begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum y_i & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^3 \cdot y_i & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 \\ \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^4 \cdot y_i & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 & \sum x_i^9 \\ \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^5 \cdot y_i & \sum x_i^8 & \sum x_i^9 & \sum x_i^{10} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum y_i & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^3 \cdot y_i & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 \\ \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^4 \cdot y_i & \sum x_i^8 & \sum x_i^9 \\ \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^5 \cdot y_i & \sum x_i^9 & \sum x_i^{10} \end{bmatrix} \\
 \text{c)} & \text{d)} \\
 \begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum y_i & \sum x_i^5 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i \cdot y_i & \sum x_i^6 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^2 \cdot y_i & \sum x_i^7 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^3 \cdot y_i & \sum x_i^8 \\ \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^4 \cdot y_i & \sum x_i^9 \\ \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 & \sum x_i^5 \cdot y_i & \sum x_i^{10} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i \cdot y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^2 \cdot y_i \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^3 \cdot y_i \\ \sum x_i^4 & \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 & \sum x_i^4 \cdot y_i \\ \sum x_i^5 & \sum x_i^6 & \sum x_i^7 & \sum x_i^8 & \sum x_i^9 & \sum x_i^5 \cdot y_i \end{bmatrix} \\
 \text{e)} & \text{f)}
 \end{array}$$

**Equação 19** – Representação das matrizes após a aplicação da regra de Cramer: a) Matriz para cálculo do determinante *DetA*; b) Matriz para cálculo do determinante *DetB*; c) Matriz para cálculo do determinante *DetC*; d) Matriz para cálculo do determinante *DetD*; e) Matriz para cálculo do determinante *DetE* e f) Matriz para cálculo do determinante *DetF*.

Para cada nova matriz há uma troca de valores (somatórios X por Y) conforme destacado na Equação 19: a) Na primeira coluna da matriz os valores dos termos independentes são aplicados na primeira coluna da matriz obtendo-se o determinante A (*detA*); b) Na segunda coluna da matriz os valores v são aplicados na segunda coluna obtendo-se o determinante B (*detB*); c) Na terceira coluna da matriz os valores dos termos independentes são aplicados na terceira coluna obtendo-se o determinante C (*detC*); d) Na quarta coluna da matriz os valores dos termos independentes são aplicados na quarta coluna obtendo-se o determinante D (*detD*); e) Na quinta coluna da matriz os valores dos termos independentes são aplicados na quinta coluna obtendo-se o determinante E (*detE*); f) Na sexta coluna da matriz os valores dos termos independentes são aplicados na sexta coluna obtendo-se o determinante F (*detF*). Por fim, é

apresentado o cálculo divisor (Equação 20) para apurar as variáveis  $b_0$ ;  $b_1$ ;  $b_2$ ;  $b_3$ ;  $b_4$ ;  $b_5$ .

$$b_0 = \det A \quad b_1 = \frac{\det A}{\det B} \quad b_2 = \frac{\det A}{\det C} \quad b_3 = \frac{\det A}{\det D} \quad b_4 = \frac{\det A}{\det E} \\ b_5 = \frac{\det A}{\det F}$$

**Equação 20** – Cálculo divisor dos determinantes para mensuração de função polinomial.

Conforme o exposto acima, o algoritmo computacional realiza o processo de construção matricial obtendo os valores de determinantes para mensurar a densidade radiográfica conforme apresentado na Figura 53.

```
public void calcularDeterminante(int i, Somatorio s) throws IOException {
    Ordem5 o5 = new Ordem5();
    double det, det1, det2, det3, det4, det5, det6 = 0;

    switch (i) {

        case 5: {
            double md[][] = {
                { s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(),
                  s.getSomaX4(), s.getSomaX5() },
                { s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6() },
                { s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(),
                  s.getSomaX7() },
                { s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8() },
                { s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8(), s.getSomaX9() },
                { s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8(), s.getSomaX9(),
                  s.getSomaX10() } };

            double md1[][] = {
                { s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y(), s.getSomaX4y(),
                  s.getSomaX5y() },
                { s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6() },
                { s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(),
                  s.getSomaX7() },
                { s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(),
                  s.getSomaX8() },
                { s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8(),
                  s.getSomaX9() },
                { s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8(), s.getSomaX9(),
                  s.getSomaX10() } };

            double md2[][] = {
                { s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(),
                  s.getSomaX5() },
                { s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y(), s.getSomaX4y(),
                  s.getSomaX5y() },
                { s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(),
                  s.getSomaX7() },
                { s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(),
                  s.getSomaX8() },
                { s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8(),
                  s.getSomaX9() } };
        }
    }
}
```

## Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.

```
{ s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8(), s.getSomaX9(),
  s.getSomaX10() } };

double md3[][] = {

{ s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(),
s.getSomaX5() },
{ s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6()
},
{ s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y(), s.getSomaX4y(),
s.getSomaX5y() },
{ s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8()
},
{ s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8(), s.getSomaX9()
},
{ s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8(), s.getSomaX9(), s.getSomaX10()
} } };

double md4[][] = {

{ s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(),
s.getSomaX5() },
{ s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6()
},
{ s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(),
s.getSomaX7() },
{ s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y(),
s.getSomaX4y(),s.getSomaX5y() },
{ s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8(),
s.getSomaX9() },
{ s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8(), s.getSomaX9(),
s.getSomaX10() } };

double md5[][] = {

{ s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(),
s.getSomaX5() },
{ s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6()
},
{ s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(),
s.getSomaX7() },
{ s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8()
},
{ s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y(), s.getSomaX4y(),
s.getSomaX5y() },
{ s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8(), s.getSomaX9(),
s.getSomaX10() }
};

double md6[][] = {

{ s.getTamanhoAmostra(), s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(),
s.getSomaX5() },
{ s.getSomaX(), s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6()
},
{ s.getSomaX2(), s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7()
},
{ s.getSomaX3(), s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8()
},
{ s.getSomaX4(), s.getSomaX5(), s.getSomaX6(), s.getSomaX7(), s.getSomaX8(), s.getSomaX9()
},
{ s.getSomaY(), s.getSomaXy(), s.getSomaX2y(), s.getSomaX3y(), s.getSomaX4y(),
s.getSomaX5y() } } };

Matrix m1 = new Matrix(md);
det = m1.det();
System.out.println(det);

m1 = new Matrix(md1);

det1 = m1.det() / det;
System.out.println(det1);

m1 = new Matrix(md2);
det2 = m1.det() / det;

m1 = new Matrix(md3);
det3 = m1.det() / det;
```

```

m1 = new Matrix(md4);
det4 = m1.det() / det;

m1 = new Matrix(md5);
det5 = m1.det() / det;

m1 = new Matrix(md6);
det6 = m1.det() / det;

o5.setDet(det1);
o5.setDetx(det2);
o5.setDetx2(det3);
o5.setDetx3(det4);
o5.setDetx4(det5);
o5.setDetx5(det6);

break;
}}}

```

**Figura 53** – Método para construção matricial com aplicação de determinantes para calcular ordem 5.

Portanto obtém-se a seguinte função de ajuste polinomial de 5ª ordem para mensuração de densidade radiográfica (Equação 21):

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 + b_3 \cdot x^3 + b_4 \cdot x^4 + b_5 \cdot x^5$$

**Equação 21** - Função polinomial de 5ª ordem.

Ao apurar os valores das variáveis  $b_i$ , é acionada a funcionalidade *calcularPredito(...)* (Figura 54) que permite apurar o resultado da função de ajuste de curva polinomial, para em seguida ser utilizada na apuração do coeficiente de determinação e variância residual. Neste método são utilizados os parâmetros vetor x (tons cinzentos) e vetor y (altura).

```

public void calcularPredito(ArrayList<Integer> x, ArrayList<Double> y) {

    double predito2 = 0, predito3 = 0, predito4 = 0, predito5 = 0;
    double rsquare2 = 0, rsquare3 = 0, rsquare4 = 0, rsquare5 = 0;

    ArrayList<Double> n2 = new ArrayList<Double>();
    ArrayList<Double> n3 = new ArrayList<Double>();
    ArrayList<Double> n4 = new ArrayList<Double>();
    ArrayList<Double> n5 = -new ArrayList<Double>();
    int i = 0;

    for (; i < x.size(); i++) {

        n2.add((o2.getDetx2() * (Math.pow(x.get(i), 2))) + (o2.getDetx() *
x.get(i)) + (o2.getDet()));
        predito2 = predito2 + n2.get(i);

        rsquare2 = rsquare2 + ((y.get(i) - n2.get(i)) * (y.get(i) -
n2.get(i)));

        n3.add((o3.getDetx3() * (Math.pow(x.get(i), 3))) + (o3.getDetx2() *
(Math.pow(x.get(i), 2)))
                + (o3.getDetx() * x.get(i)) + (o3.getDet()));
        predito3 = predito3 + n3.get(i);
    }
}

```

```

rsquare3 = rsquare3 + ((y.get(i) - n3.get(i)) * (y.get(i) -
n3.get(i)));
n4.add((o4.getDetx4() * (Math.pow(x.get(i), 4))) + (o4.getDetx3() *
(Math.pow(x.get(i), 3)))
+ (o4.getDetx2() * (Math.pow(x.get(i), 2))) +
(o4.getDetx() * x.get(i))
+ (o4.getDet()));
predito4 = predito4 + n4.get(i);
rsquare4 = rsquare4 + ((y.get(i) - n4.get(i)) * (y.get(i) -
n4.get(i)));
n5.add((o5.getDetx5() * (Math.pow(x.get(i), 5))) + (o5.getDetx4() *
(Math.pow(x.get(i), 4)))
+ (o5.getDetx3() * (Math.pow(x.get(i), 3))) +
(o5.getDetx2() * (Math.pow(x.get(i), 2)))
+ (o5.getDetx() * x.get(i)) + (o5.getDet()));
predito5 = predito5 + n5.get(i);
rsquare5 = rsquare5 + ((y.get(i) - n5.get(i)) * (y.get(i) -
n5.get(i)));
}

ArrayList<Double> number = new ArrayList<Double>();

calcularCoeficienteDeterminacao(d.getY2(), d.getY(), i, rsquare2);
calcularCoeficienteDeterminacao(d.getY2(), d.getY(), i, rsquare3);
calcularCoeficienteDeterminacao(d.getY2(), d.getY(), i, rsquare4);
calcularCoeficienteDeterminacao(d.getY2(), d.getY(), i, rsquare5);

variancia.add(calcularVarianciaResidual(i, rsquare2, 2));
variancia.add(calcularVarianciaResidual(i, rsquare3, 3));
variancia.add(calcularVarianciaResidual(i, rsquare4, 4));
variancia.add(calcularVarianciaResidual(i, rsquare5, 5));
ordem = variacao(variancia);
}

```

**Figura 54** – Método para construção matricial com aplicação de determinantes para calcular ordem 5.

## E. Coeficiente de determinação

O coeficiente de determinação é a variação total dos dados entre a média dos valores da variável dependente. Já o coeficiente de determinação  $r^2$  (Equação 22) possui representação positiva entre zero e um. Teoricamente quanto mais próximo de 1 for o valor de  $r^2$ , melhor será a qualidade do ajuste.

$$r^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum y_i^2 - \frac{1}{n} (\sum y_i)^2}$$

**Equação 22** – Fórmula para cálculo de coeficiente de determinação  $r^2$

Em que:

**$r^2$** : É o coeficiente de determinação calculado.

$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$  : É o somatório quadrático do vetor de altura do artefato densitométrico, subtraído pela variável Y.

$\sum y_i^2$  : É o somatório quadrático do vetor de altura do artefato densitométrico.

**n** é o tamanho amostral do vetor.

Dessa forma, foi possível implementar a funcionalidade *calcularCoeficienteDeterminacao(y2, y, n, rsquare)* no algoritmo para o cálculo de coeficiente de determinação de 2ª a 5ª ordem conforme exposto na Figura 55.

```
public double calcularCoeficienteDeterminacao(double y2, double y, double n, double
rsquare) {
    double r2 = 0;
    r2 = 1 - (rsquare / (y2 - (y * y) / n));
    return r2;
}
```

**Figura 55** – Sub algoritmo para cálculo do coeficiente de determinação.

## F. Variância residual

A variância residual (Equação 23) é um importante indicador para aferir a qualidade do ajuste de curva e definir o melhor grau para regressão polinomial. Nesta proposta sua aplicabilidade é realizada quando o grau polinomial for igual ou superior a dois.

$$\sigma^2 = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}$$

**Equação 23** – Função para mensuração da variância residual

Em que:

$\sigma^2$  : é a variância residual calculada.

$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$  : É o somatório quadrático do vetor de altura do artefato densitométrico, subtraído pelo valor Y.

**n:** É o tamanho amostral.

**p:** É número de parâmetros estimados.

A partir disto foi possível elaborar a funcionalidade *calcularVarianciaResidual(n, r2, ordem)* e calcular a variância residual para o ajuste de curva de 2ª a 5ª ordem, conforme exposto na Figura 56.

```
public double calcularVarianciaResidual(double n, double r2, int ordem) {  
  
    r2 = (r2 / (n - ordem));  
    return r2;  
  
}
```

**Figura 56** – Sub algoritmo para cálculo de variância residual

## G. Variabilidade de variância residual

Nesta etapa foi realizada a verificação da variabilidade dos resultados obtidos de variância residual, determinando qual a ordem polinomial apropriada para a mensuração de densidade radiográfica pelo método *variacao(variacao)* (Figura 57)

```
public int variacao(ArrayList<Double> variacao) {  
  
    aux = variacao.get(0);  
    ordem = 1;  
  
    int i = 0;  
  
    for (; i < 4; i++) {  
  
        if (aux >= variacao.get(i)) {
```

```
        aux = variacao.get(i);
        ordem++;

    } else {

        break;
    }
}
return ordem;
}
```

**Figura 57** – Método para determinar a variância residual apropriada para cálculo de densidade radiográfica.

### 4.3. Resumo do capítulo

O presente trabalho propõe um algoritmo de seleção polinomial capaz de mensurar a densidade óssea por meio da técnica de densitometria radiográfica. O modelo proposto pretende oferecer uma maior confiabilidade na escolha da ordem polinomial de 2<sup>a</sup> a 5<sup>a</sup> ordem na mensuração da densidade radiográfica. Também foi explanado conceitos de análise de regressão, modelos de regressão linear e não linear, aplicabilidade dos métodos dos mínimos quadrados e ajuste de curva polinomial.

No item 4.2, foi descrito o processo inicial e final do algoritmo contemplando a somatória das variáveis X e Y, a aplicação da regra de Cramer, os determinantes, a mensuração das funções de ajuste polinomial de 2<sup>a</sup> a 5<sup>a</sup> ordem, o cálculo dos coeficientes de determinação, a variância residual e a sua variabilidade para selecionar a melhor função de ajuste polinomial visando mensurar a densidade óssea pela técnica da densidade radiográfica.

Já no CAPÍTULO V – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DE DENSIDADE RADIOGRÁFICA E ESTUDO DEMOGRÁFICO., foi descrito os resultados do processamento algorítmico de seleção polinomial, apresentando a sua possível aplicabilidade em algumas regiões do Brasil, e a aplicação de filtros de cores nas radiografias.

E por fim foi apresentado os capítulos CAPIÚLO VI – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS e CAPITULO VII – CONCLUSÕES.

## CAPÍTULO V – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DE DENSIDADE RADIOGRÁFICA E ESTUDO DEMOGRÁFICO.

Segundo (Pereira, 2013a), “a seção de resultados, como o próprio nome indica, é revelar o que foi encontrado na pesquisa” sendo composta pelos dados relevantes obtidos e sintetizados pelo autor.

### 5. Introdução

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos de densidade radiográfica em milímetros de alumínio das amostras ósseas, a curva de ajuste polinomial do artefato densitométrico, a aplicação do filtro de cores nos ensaios radiográficos, o cálculo do erro estimado entre a média computacional de altura em milímetros de alumínio e a altura apurada pelo paquímetro, os dados obtidos de variabilidade de variância residual, além de apresentar os dados demográficos com o número de equipamentos de mensuração de densidade óssea (DXA) e aparelhos de raios-X disponíveis no Sistema Único de Saúde na região norte do Brasil. Por fim o impacto de uma possível aplicabilidade desta proposta por meio da análise de redes de grafos.

Os tópicos de interesse deste capítulo estão divididos em:

- ❖ Seção Resultados de Densidade Radiográfica em milímetros de alumínio - mmAl;
- ❖ Seção Resultados da variabilidade da variância residual;
- ❖ Seção Resultados de ajuste de curva polinomial do artefato densitométrico;
- ❖ Seção Resultados de absorção dos raios-X por meio de filtro de cores.;
- ❖ Seção Resultado do estudo quantitativo de equipamentos de diagnóstico para densitometria óssea: DXA e Raios-X (Densitometria Radiográfica).;
- ❖ Seção Resultado da análise da movimentação de pessoas para a realização do exame de densidade óssea (DXA) e raios-X.;

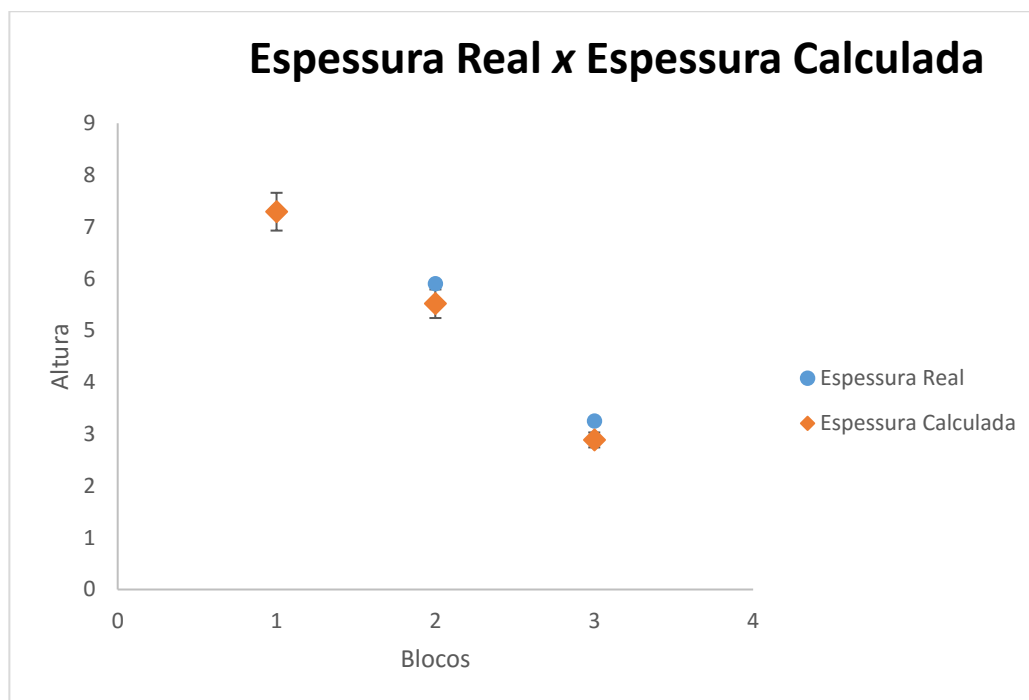
### 5.1. Resultados de Densidade Radiográfica em milímetros de alumínio - mmAl

As tabelas Tabela 4 e Tabela 5 apresentam as análises de densidade radiográfica em milímetros de alumínio dos blocos ósseos (1) 7.30; (2) 5.90; (3) 3.25; (4) 2.75; (5) 1.50 e (6) 1.00, juntamente com as médias por bloco, desvio padrão, coeficientes de variação, intervalos de valores (menor e maior) e os erros experimentais. Já as Figura 58 e Figura 59 apresentam a dispersão e o erro entre os valores da altura calculada pelo algoritmo e altura extraída do paquímetro.

**Tabela 4** – Espessura média, desvio padrão, coeficiente de variância e erro experimental (em relação ao valor real de espessura dos blocos) obtidos pelo algoritmo por meio da imagem radiográfica dos blocos 1,2 e 3.

Radiografia	Bloco		
	1 (7,30 mm)*	2 (5,90 mm)*	3 (3,25 mm)*
1	7,36	5,55	3,02
2	7,29	5,65	3,00
3	7,37	5,64	3,05
4	7,31	5,62	2,91
5	7,32	5,52	2,87
6	7,29	5,56	2,88
7	7,23	5,45	2,84
8	7,28	5,40	2,81
9	7,29	5,54	2,98
10	7,31	5,44	2,84
11	7,36	5,50	2,82
12	7,19	5,44	2,70
13	7,10	5,37	2,72
14	7,32	5,51	2,95
15	7,28	5,58	3,00
16	7,29	5,38	2,68
17	7,30	5,47	2,89
18	7,38	5,67	3,01
<b>Média</b>	<b>7,29</b>	<b>5,52</b>	<b>2,89</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,07</b>	<b>0,09</b>	<b>0,11</b>
<b>Maior</b>	<b>7,38</b>	<b>5,67</b>	<b>3,05</b>
<b>Menor</b>	<b>7,10</b>	<b>5,37</b>	<b>2,68</b>
<b>CV%</b>	<b>0,92</b>	<b>1,69</b>	<b>3,93</b>
<b>Erro(%)</b>	<b>0,00</b>	<b>0,07</b>	<b>0,11</b>

\* Espessura real



**Figura 58** – Médias das espessuras calculadas e reais dos blocos ósseos 1,2 e 3.

**Tabela 5** – Espessura média, desvio padrão, coeficiente de variância e erro experimental (em relação ao valor real de espessura dos blocos) obtidos pelo algoritmo por meio da imagem radiográfica dos blocos 4,5 e 6.

Radiografia	Bloco		
	4 (2,75 mm)*	5 (1,50mm)*	6 (1,00mm)*
19	2,82	1,41	0,67
20	2,74	1,29	0,56
21	2,89	1,50	0,76
22	2,88	1,51	0,81
23	2,85	1,45	0,71
24	2,65	1,27	0,57
25	2,72	1,29	0,55
26	2,82	1,38	0,65
27	2,81	1,40	0,67
28	2,81	1,44	0,73
29	2,74	1,33	0,62
30	2,67	1,23	0,50
31	2,80	1,40	0,68
32	2,83	1,47	0,77
33	2,75	1,37	0,69
34	2,74	1,31	0,58
35	2,84	1,44	0,70
36	2,62	1,24	0,51
<b>Média</b>	<b>2,78</b>	<b>1,37</b>	<b>0,65</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	<b>0,09</b>
<b>Maior</b>	<b>2,89</b>	<b>1,51</b>	<b>0,81</b>
<b>Menor</b>	<b>2,62</b>	<b>1,23</b>	<b>0,50</b>
<b>CV%</b>	<b>2,79</b>	<b>6,38</b>	<b>13,94</b>
<b>Erro(%)</b>	<b>-0,01</b>	<b>0,08</b>	<b>0,35</b>

\* Espessura real

## Espessura Real x Espessura Calculada

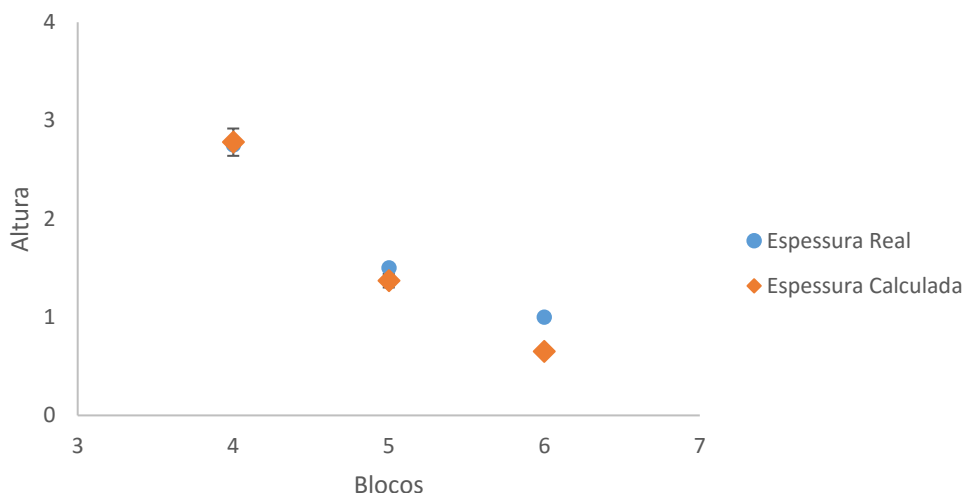


Figura 59 – Médias das espessuras calculadas e reais dos blocos ósseos 4,5 e 6.

### 5.2. Resultados da variabilidade da variância residual

As Tabela 6 e 5 apresentam os valores apurados da variância residual dos polinômios de segunda à quinta ordem dos referenciais densitométricos presentes nas tomadas radiográfica. Neste caso como não foi observada variabilidade entre segunda e terceira ordem, terceira e quarta ordem, e quarta e quinta ordem, o algoritmo realizou a seleção polinomial de quinta ordem para obter a função de ajuste de curva.

Tabela 6 – Valores da variância residual presentes nas amostras radiográficas dos blocos 1,2 e 3, com a seleção do polinômio apropriado para obtenção da função de ajuste de curva.

Radiografia	Ordem Polinomial				Escolha Alg. Seleção
	Segunda Ordem	Terceira Ordem	Quarta Ordem	Quinta Ordem	
1	0,08778	0,04014	0,01333	0,01105	5º ordem
2	0,08253	0,03899	0,01244	0,01027	5º ordem
3	0,05978	0,03702	0,01358	0,00881	5º ordem
4	0,06305	0,03626	0,01303	0,00968	5º ordem
5	0,09139	0,04170	0,01210	0,00969	5º ordem
6	0,08543	0,04005	0,01398	0,01162	5º ordem
7	0,06470	0,03673	0,01315	0,00892	5º ordem
8	0,08843	0,04124	0,01433	0,01224	5º ordem
9	0,05818	0,03500	0,01229	0,00741	5º ordem
10	0,05212	0,03295	0,01283	0,00797	5º ordem
11	0,09062	0,04161	0,01265	0,01046	5º ordem
12	0,09905	0,04033	0,01307	0,01203	5º ordem

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

13	0,07696	0,03669	0,01304	0,01112	<b>5º ordem</b>
14	0,06672	0,03759	0,01373	0,00931	<b>5º ordem</b>
15	0,08773	0,04011	0,01136	0,00884	<b>5º ordem</b>
16	0,09298	0,04152	0,01444	0,01271	<b>5º ordem</b>
17	0,08491	0,04048	0,01270	0,01050	<b>5º ordem</b>
18	0,08003	0,03977	0,01391	0,01157	<b>5º ordem</b>

**Tabela 7** – Valores da variância residual presentes nas amostras radiográficas dos blocos 4,5 e 6, com a escolha do polinômio apropriado para obtenção da função de ajuste de curva.

Radiografia	Ordem Polinomial				Escolha Alg. Seleção
	Segunda Ordem	Terceira Ordem	Quarta Ordem	Quinta Ordem	
1	0,09104	0,04575	0,01533	0,01110	<b>5º ordem</b>
2	0,07808	0,04160	0,01351	0,00908	<b>5º ordem</b>
3	0,07325	0,04157	0,01554	0,00916	<b>5º ordem</b>
4	0,07925	0,04313	0,01664	0,00971	<b>5º ordem</b>
5	0,07931	0,04315	0,01493	0,00955	<b>5º ordem</b>
6	0,08393	0,04333	0,01440	0,01016	<b>5º ordem</b>
7	0,06307	0,03901	0,01322	0,00792	<b>5º ordem</b>
8	0,05984	0,03682	0,01371	0,00743	<b>5º ordem</b>
9	0,06412	0,03966	0,01604	0,00910	<b>5º ordem</b>
10	0,07781	0,04175	0,01415	0,00874	<b>5º ordem</b>
11	0,09061	0,04511	0,01433	0,00947	<b>5º ordem</b>
12	0,08317	0,04432	0,01536	0,01167	<b>5º ordem</b>
13	0,08073	0,04453	0,01516	0,01001	<b>5º ordem</b>
14	0,08637	0,04556	0,01583	0,00984	<b>5º ordem</b>
15	0,08779	0,04485	0,01438	0,00970	<b>5º ordem</b>
16	0,07170	0,04169	0,01487	0,01001	<b>5º ordem</b>
17	0,04626	0,03283	0,01513	0,00669	<b>5º ordem</b>
18	0,09388	0,04562	0,01406	0,00992	<b>5º ordem</b>

### 5.3. Resultados da reprodução tridimensional dos blocos

Após o resultado do processamento de densidade de radiográfica foi possível a reconstrução das amostras ósseas. Nas Figura 60 e Figura 61 é apresentando o resultado do processamento computacional tridimensional de altura em milímetros de alumínio dos blocos 1 à 6.

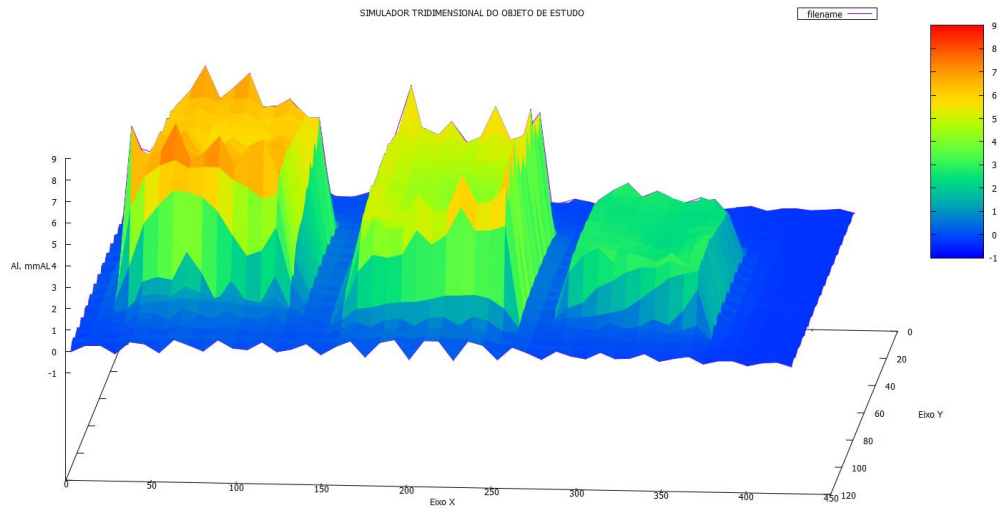


Figura 60 – Reprodução tridimensional em milímetros de alumínio dos blocos 1, 2 e 3.

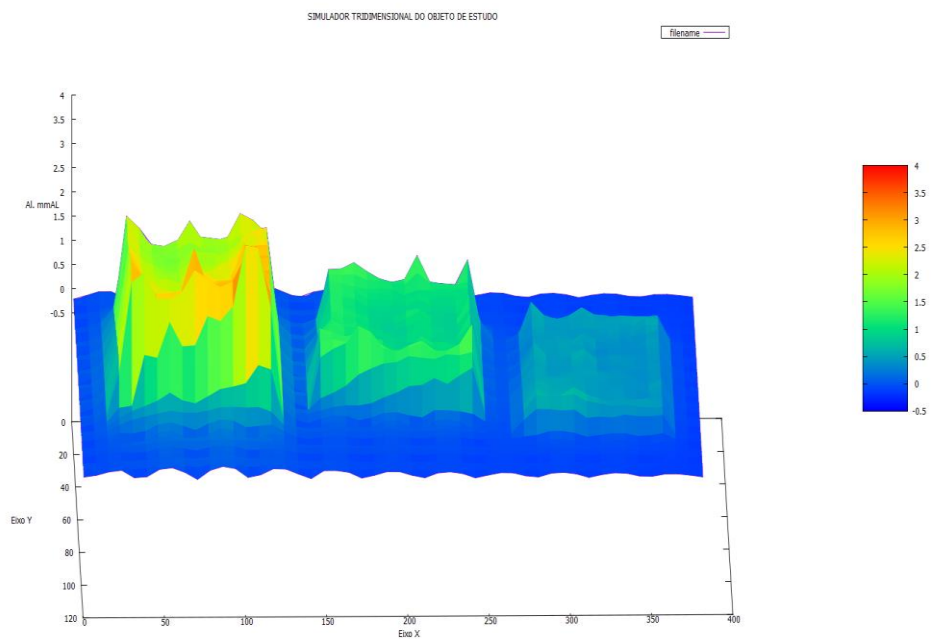


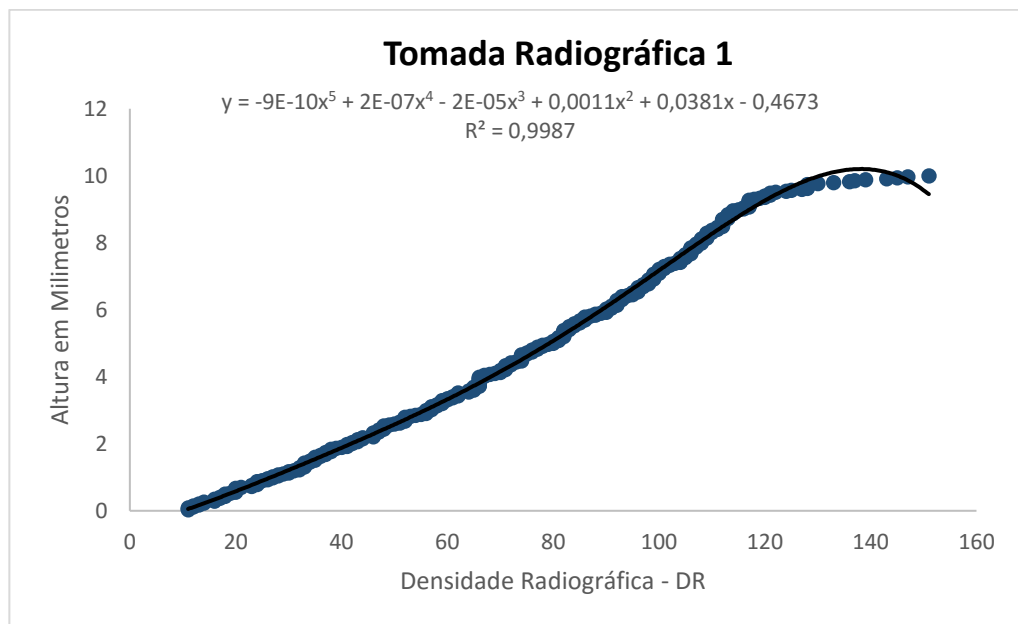
Figura 61 – Reprodução tridimensional em milímetros de alumínio dos blocos 4, 5 e 6.

#### 5.4. Resultados de ajuste de curva polinomial do artefato densitométrico

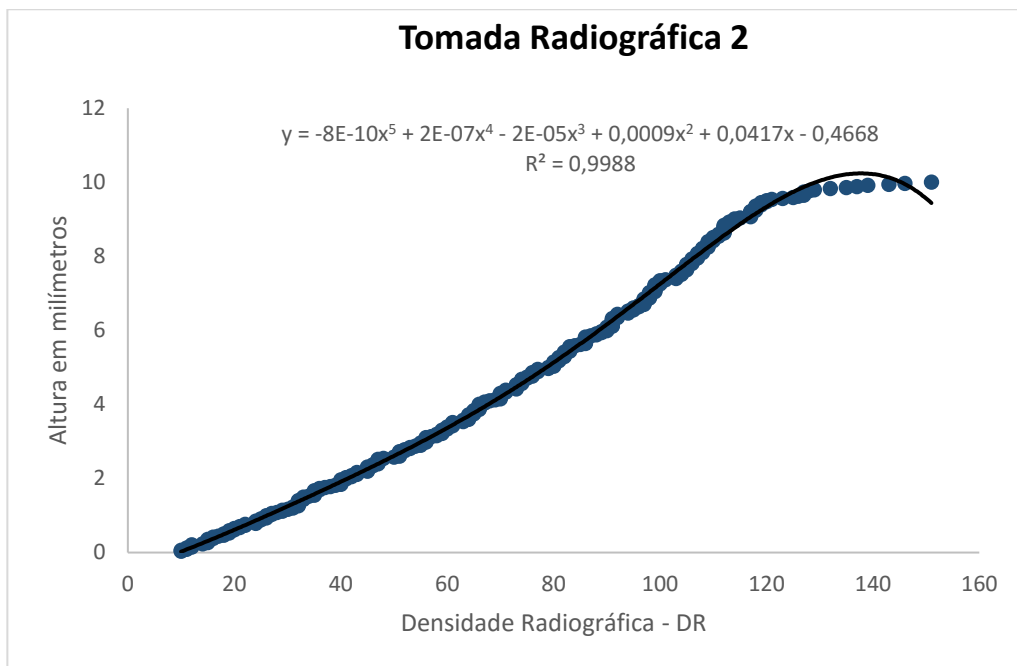
Nos Gráfico 11 à Gráfico 46 são apresentados a curva de ajuste polinomial entre o tamanho do referencial densitométrico em milímetros e a densidade

## Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.

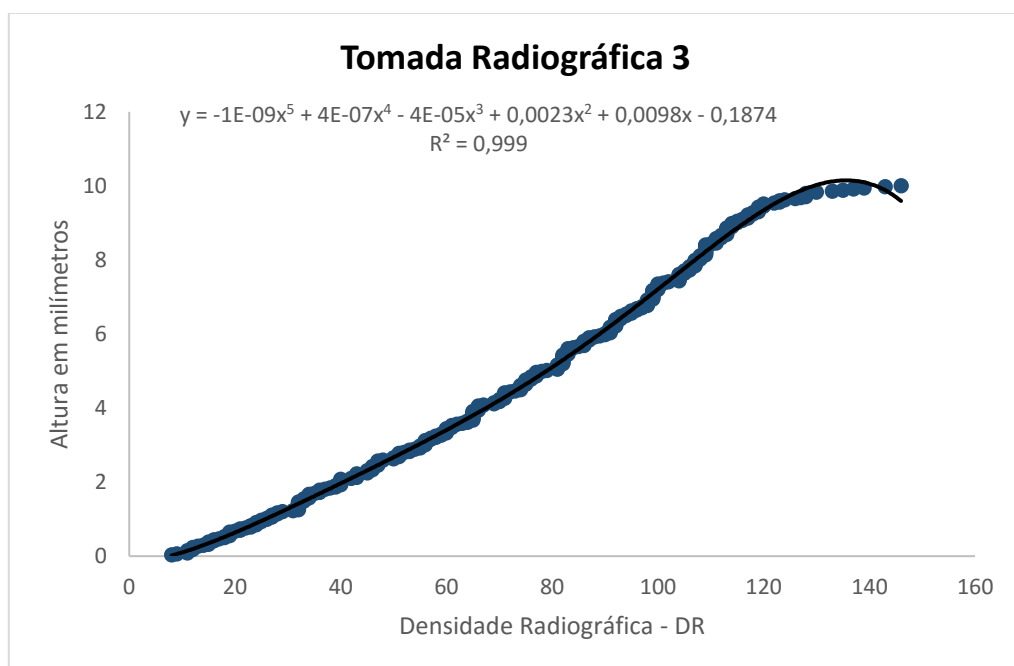
radiográfica (tons de cinza), assim, o algoritmo realizou os procedimentos matemáticos e estatísticos de seleção polinomial e determinou a equação de ajuste apropriada. Nos gráficos de dispersão apresentados abaixo estão as projeções da curva de característica e o coeficiente de determinação  $R^2$ , em conformidade com os mecanismos de seleção polinomial do algoritmo.



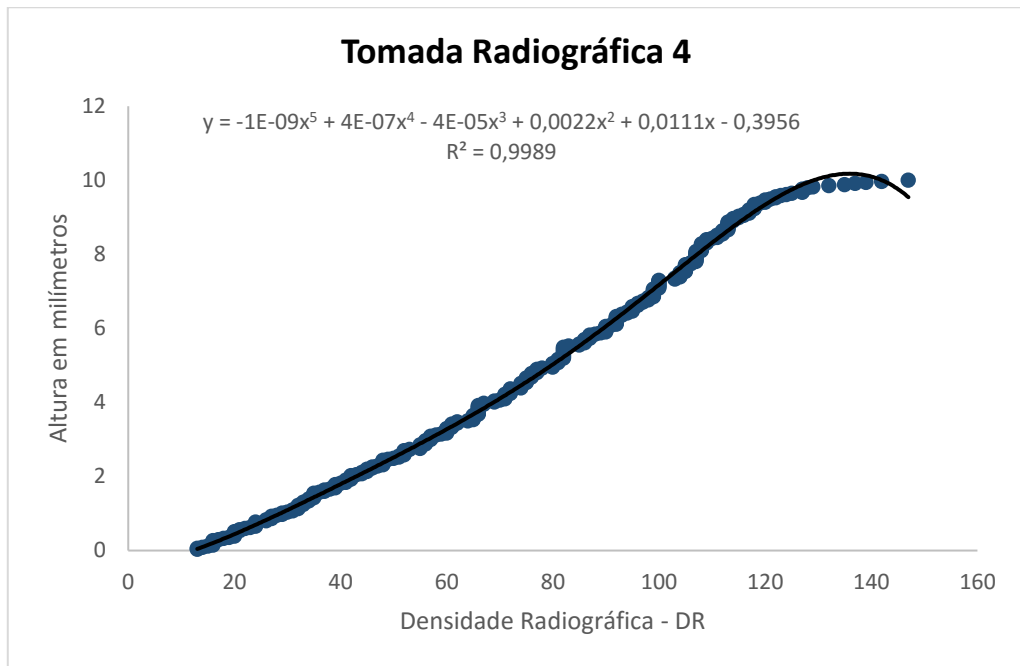
**Gráfico 11** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 1 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



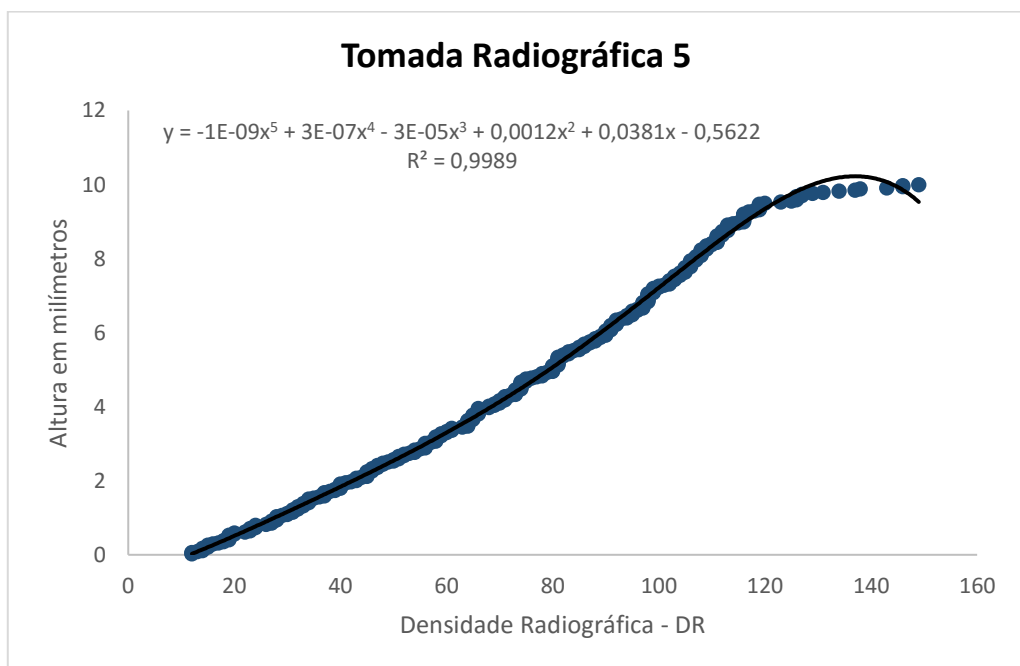
**Gráfico 12** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 2 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



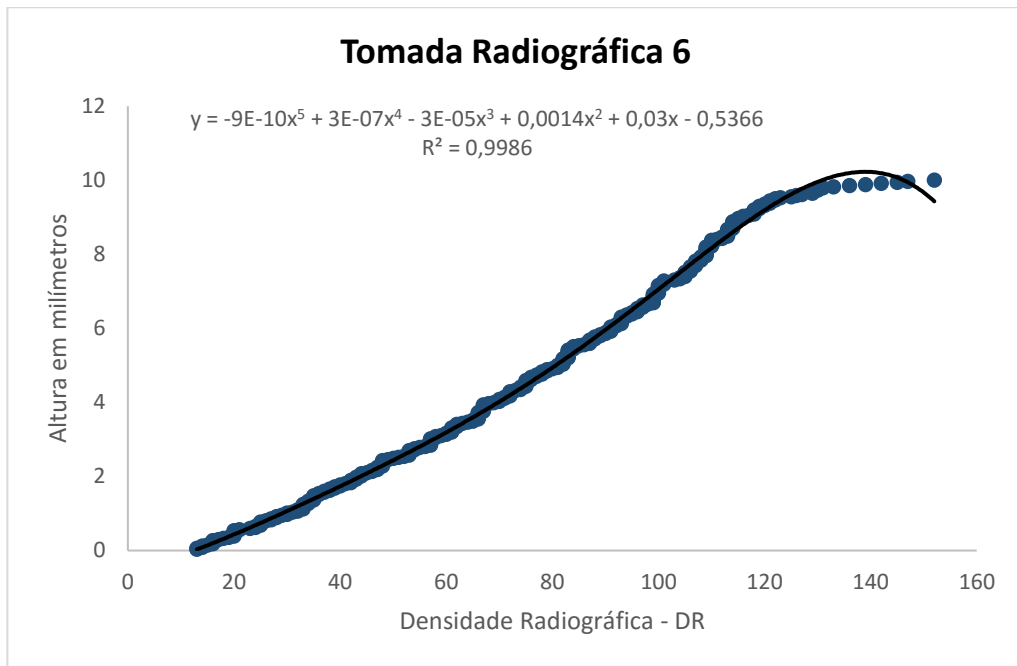
**Gráfico 13** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 3 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



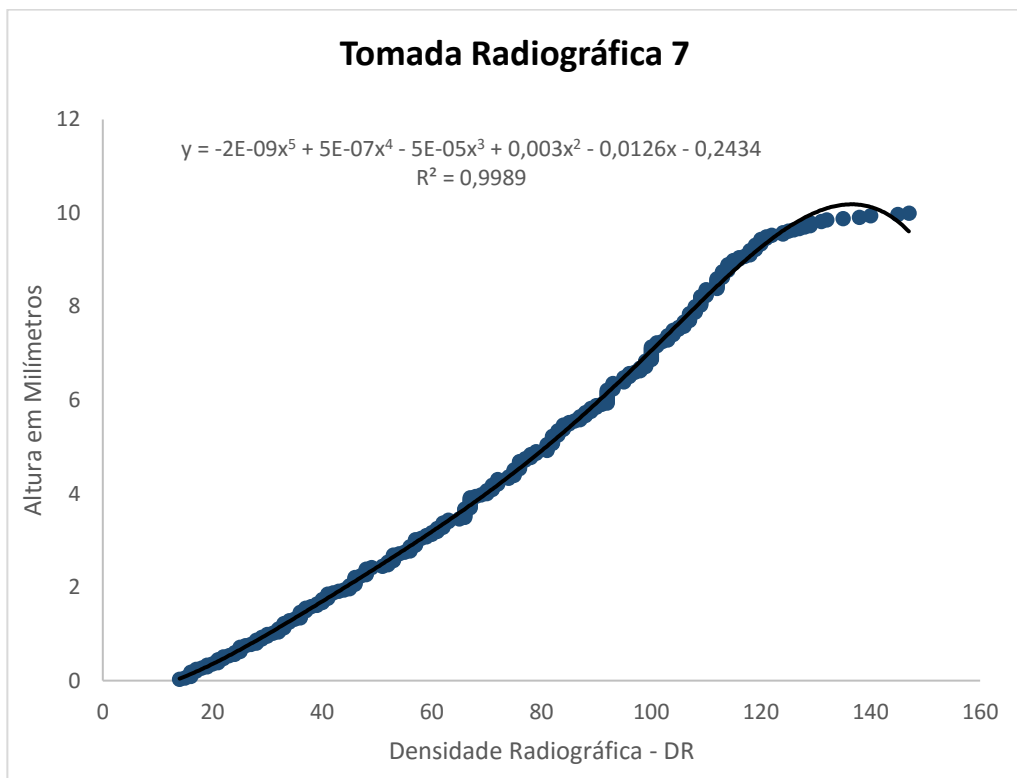
**Gráfico 14** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 4 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



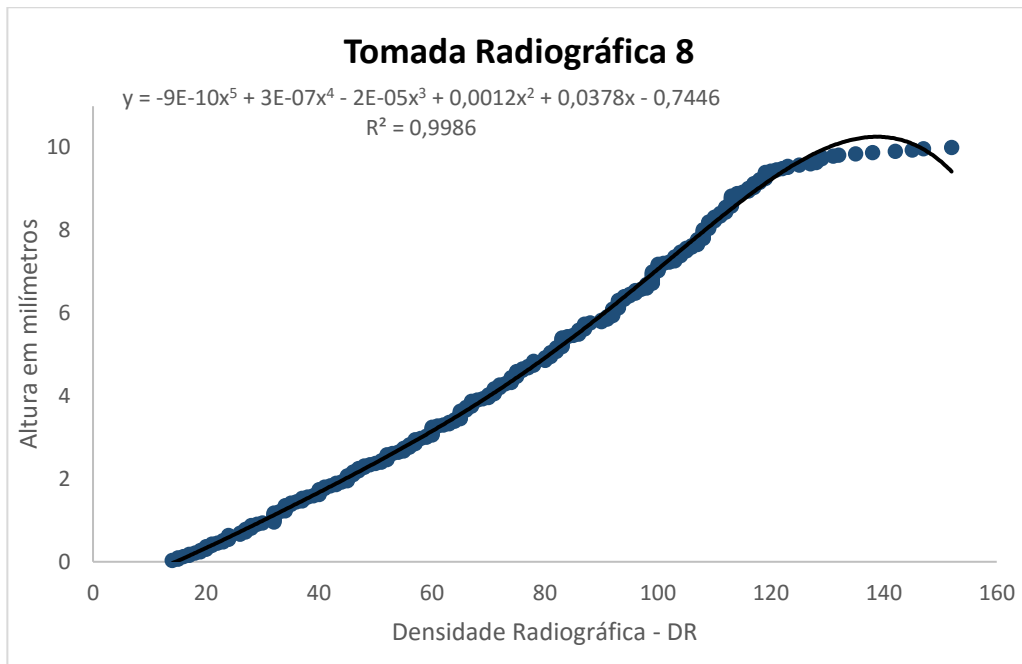
**Gráfico 15** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 5 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



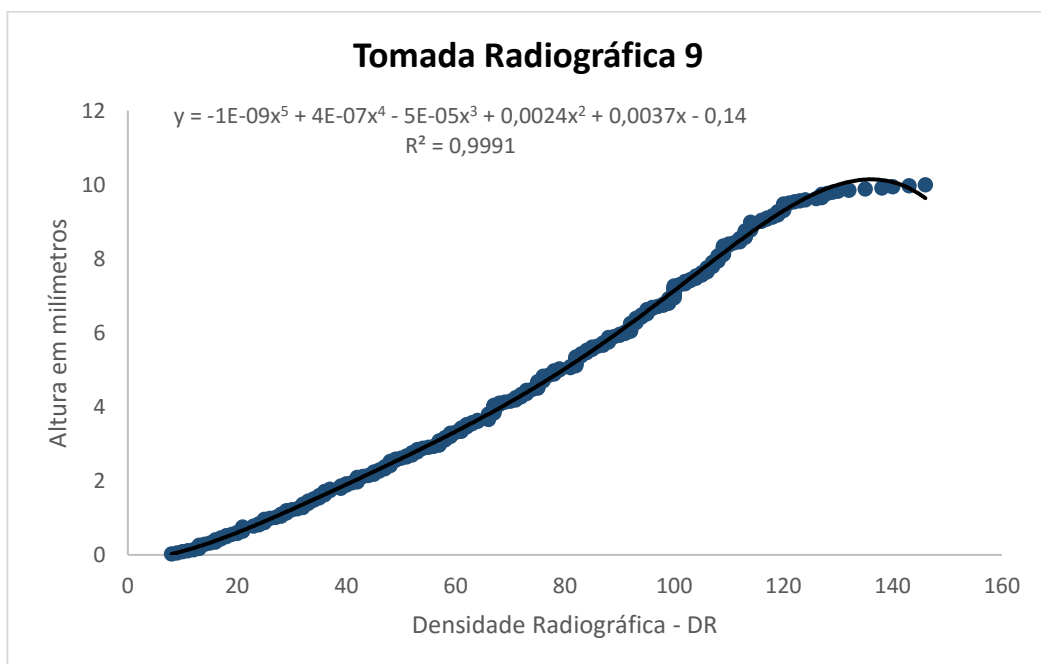
**Gráfico 16** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 6 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



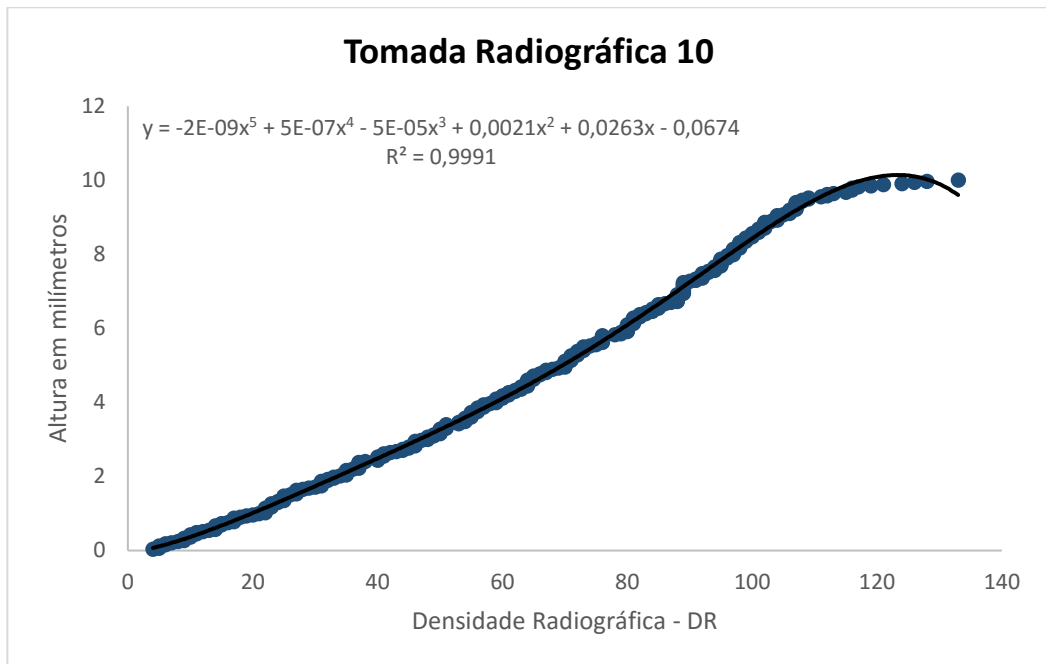
**Gráfico 17** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 7 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



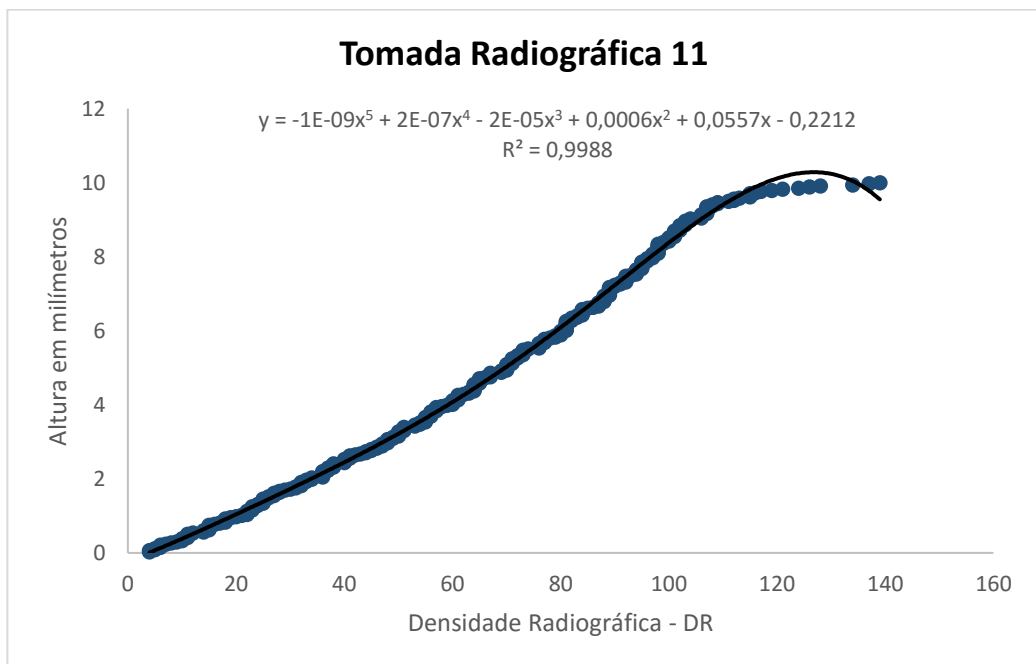
**Gráfico 18** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 8 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



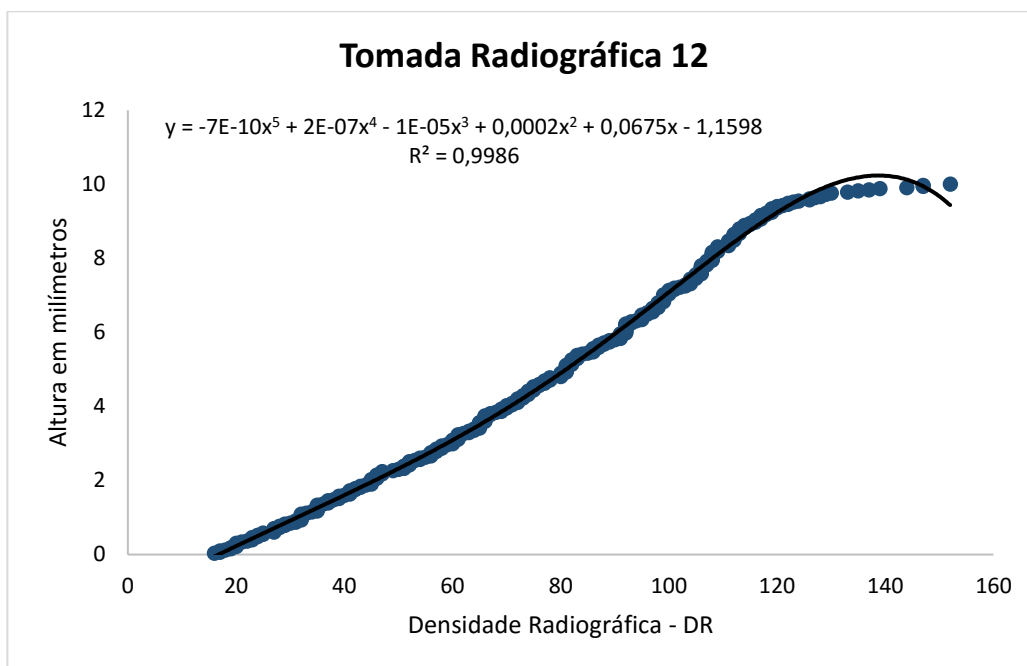
**Gráfico 19** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 9 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



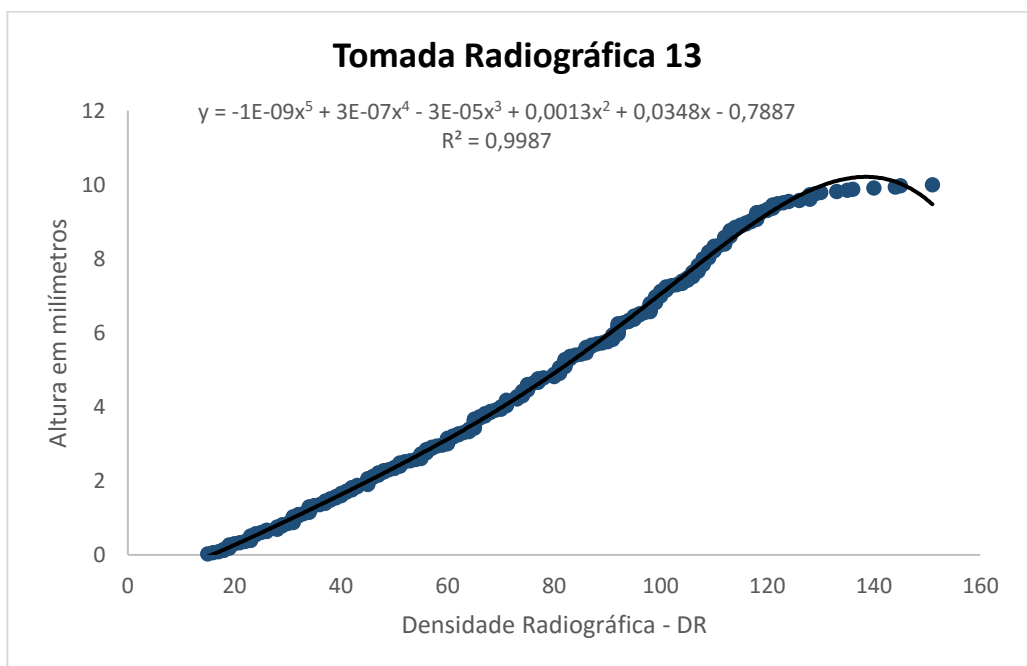
**Gráfico 20** - Curva de dispersão da tomada radiográfica 10 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



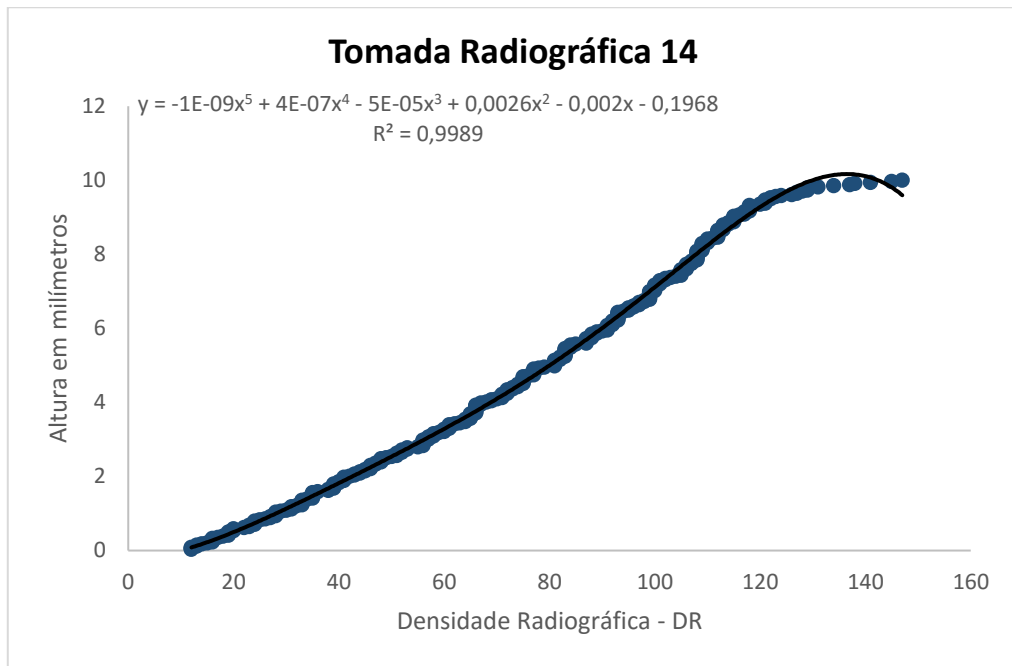
**Gráfico 21** - Curva de dispersão da tomada radiográfica 11 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



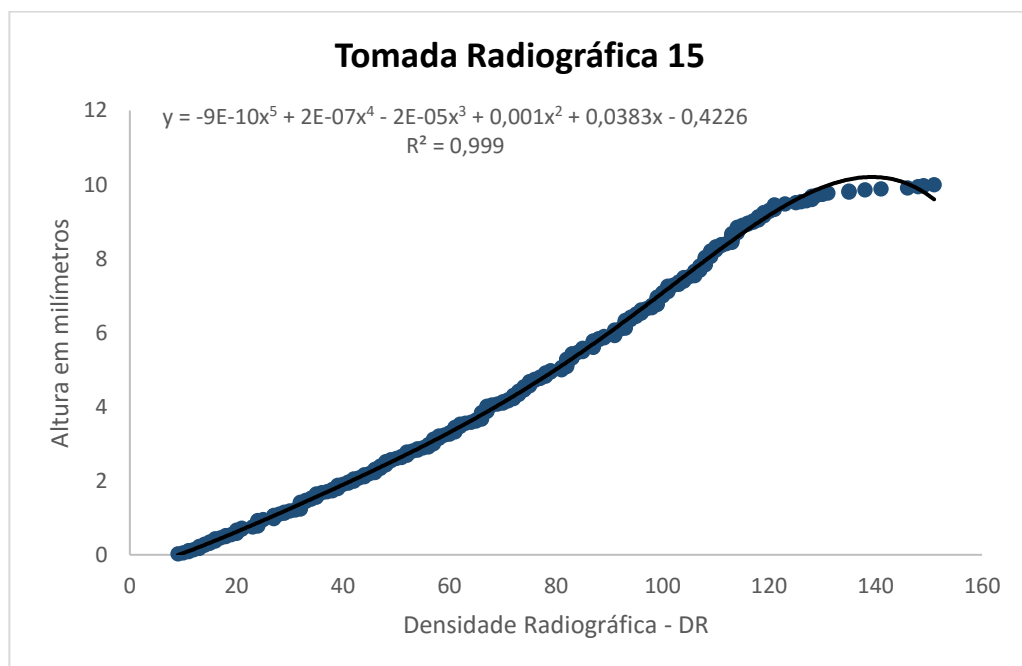
**Gráfico 22** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 12 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



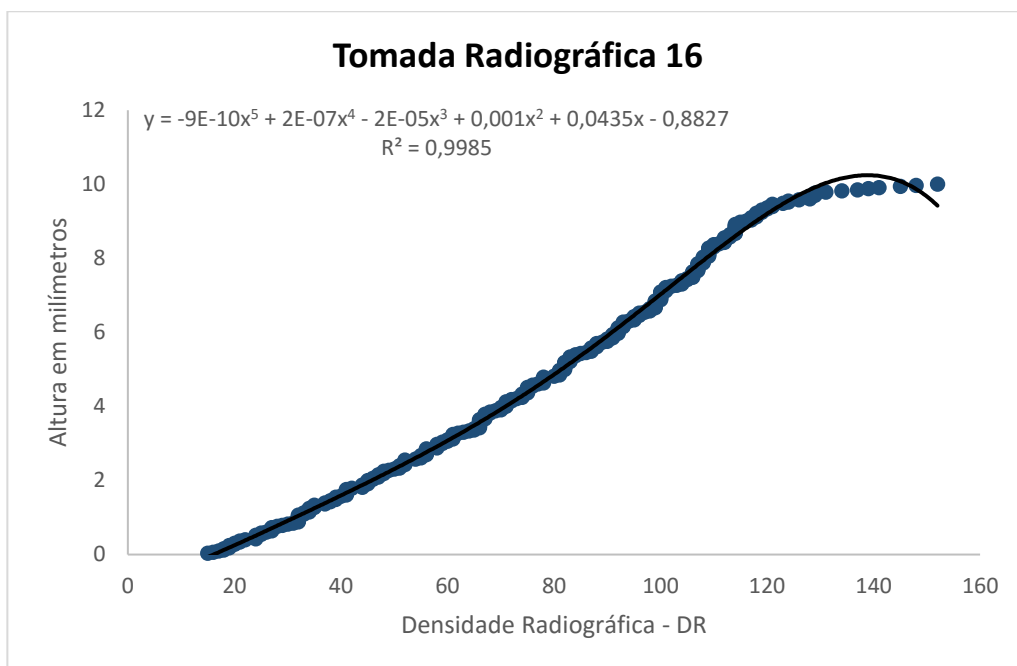
**Gráfico 23** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 13 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



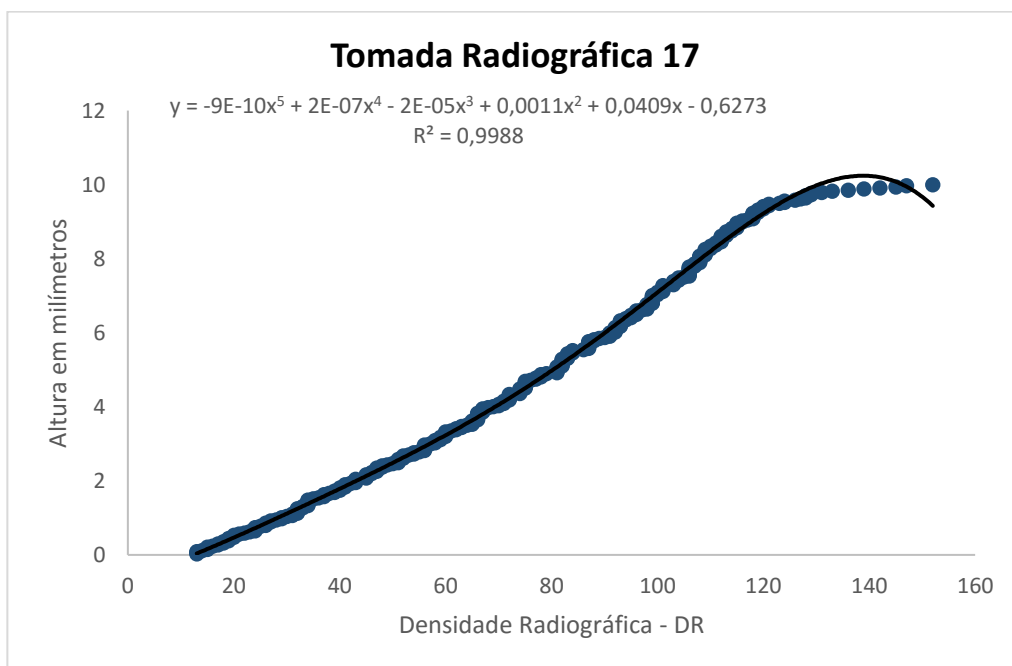
**Gráfico 24** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 14 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



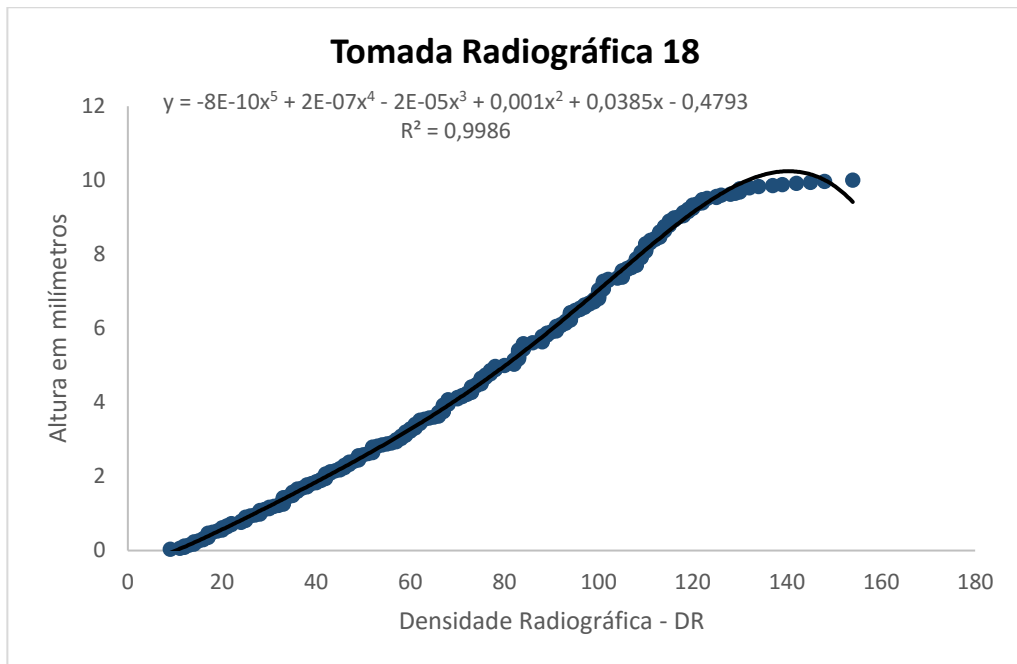
**Gráfico 25** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 15 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



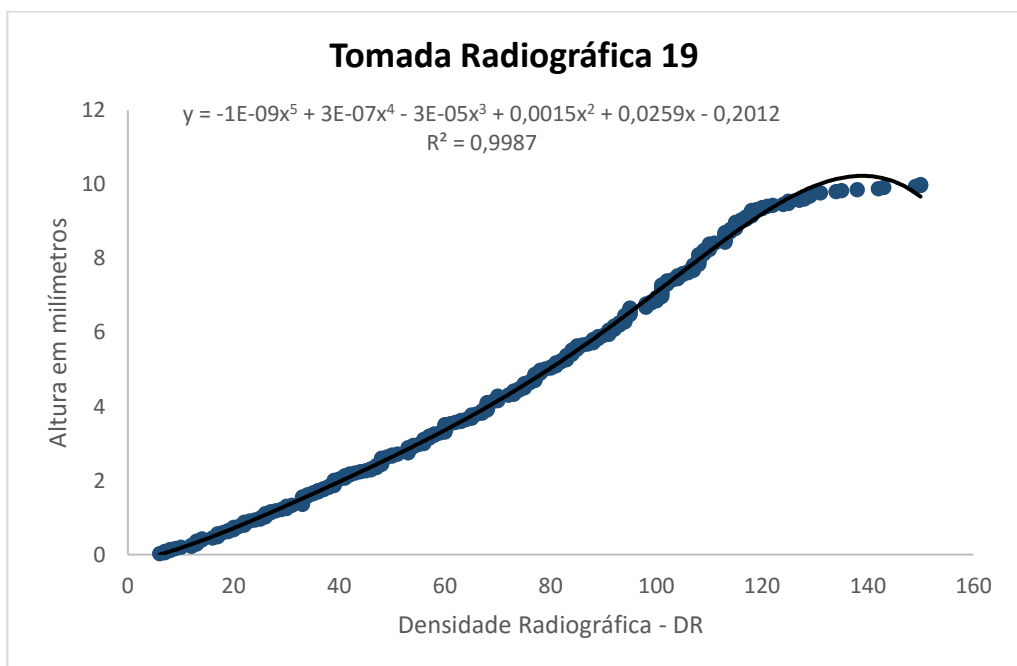
**Gráfico 26** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 16 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



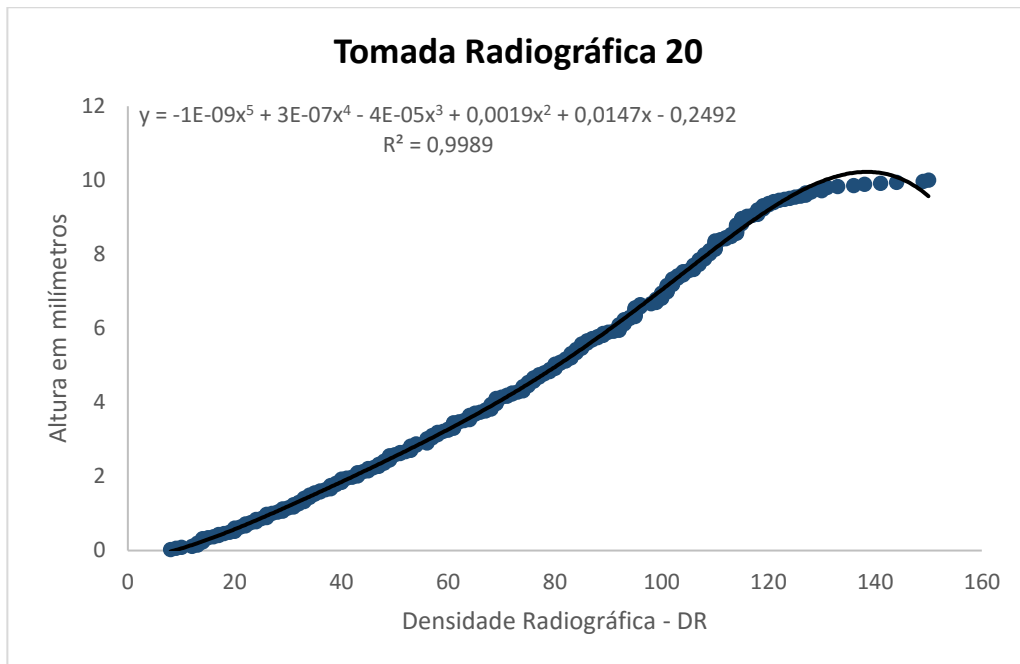
**Gráfico 27** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 17 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



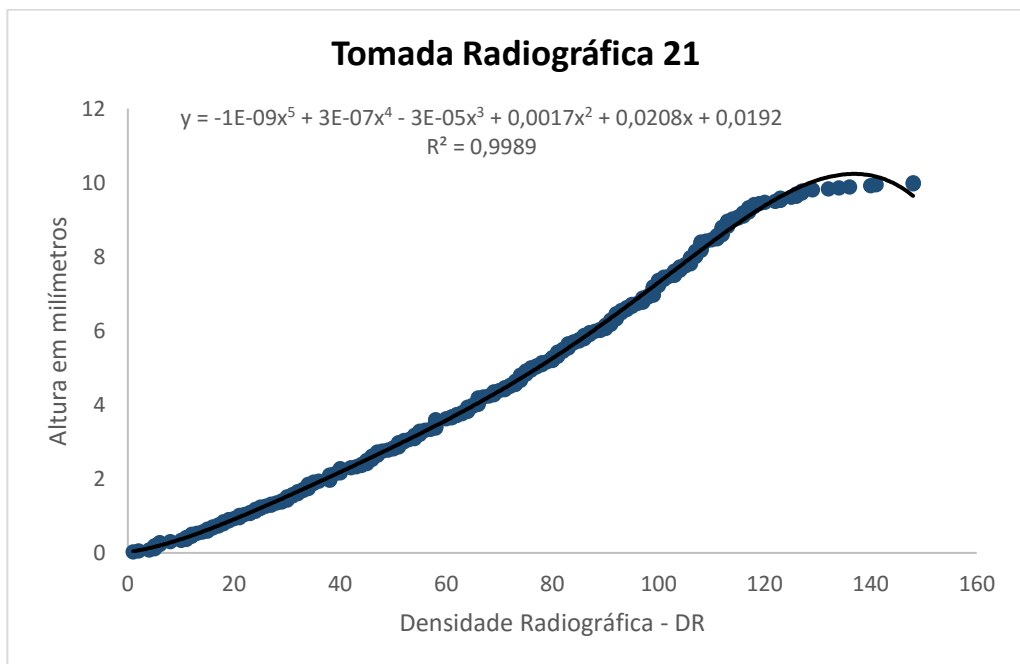
**Gráfico 28** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 18 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



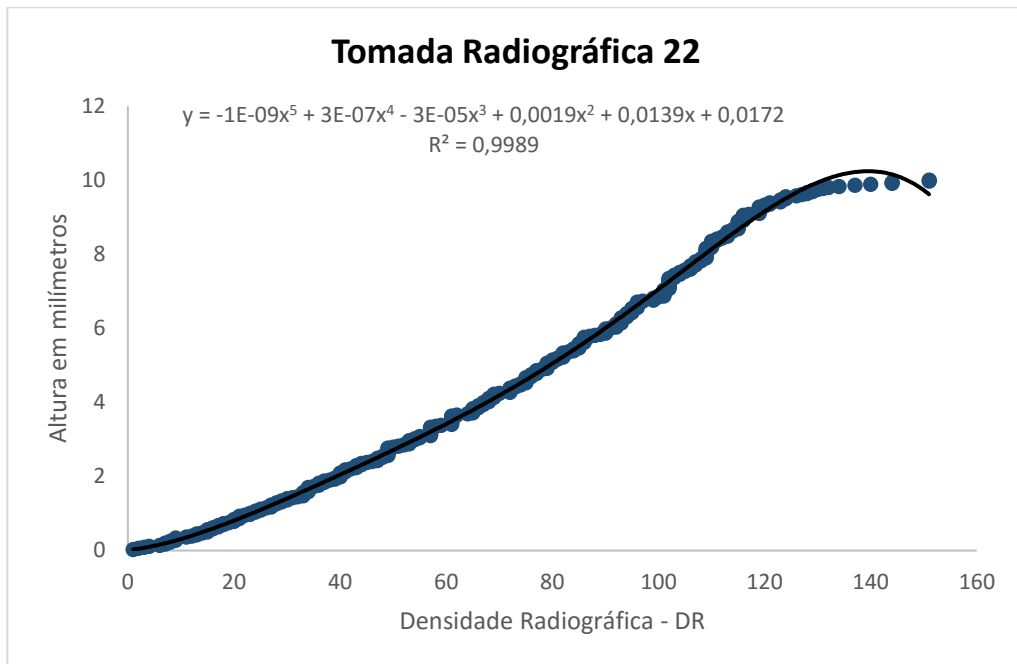
**Gráfico 29** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 19 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



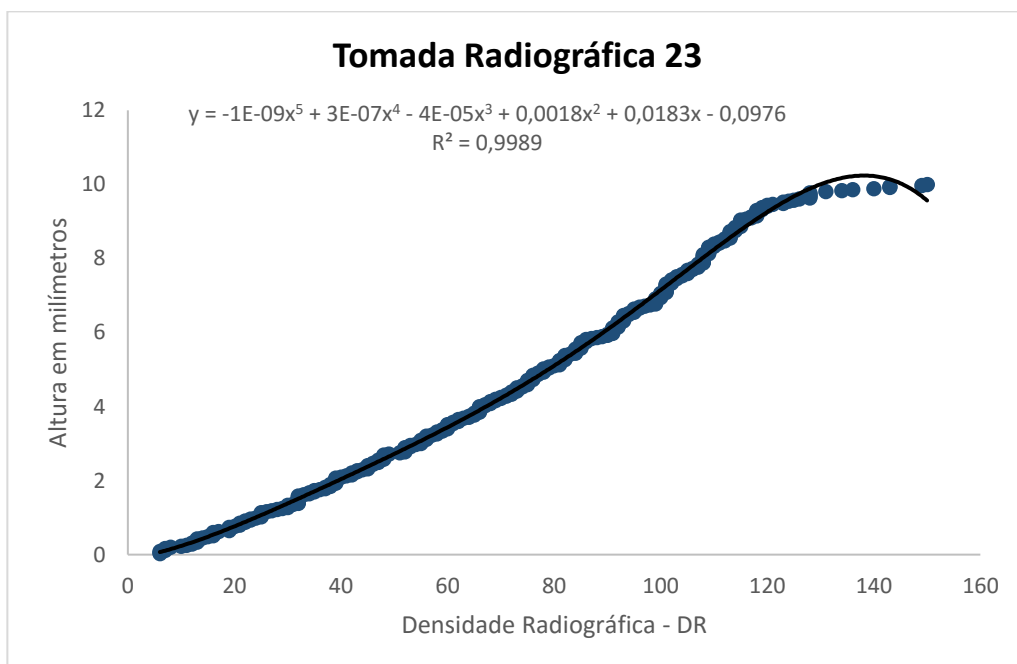
**Gráfico 30** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 20 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



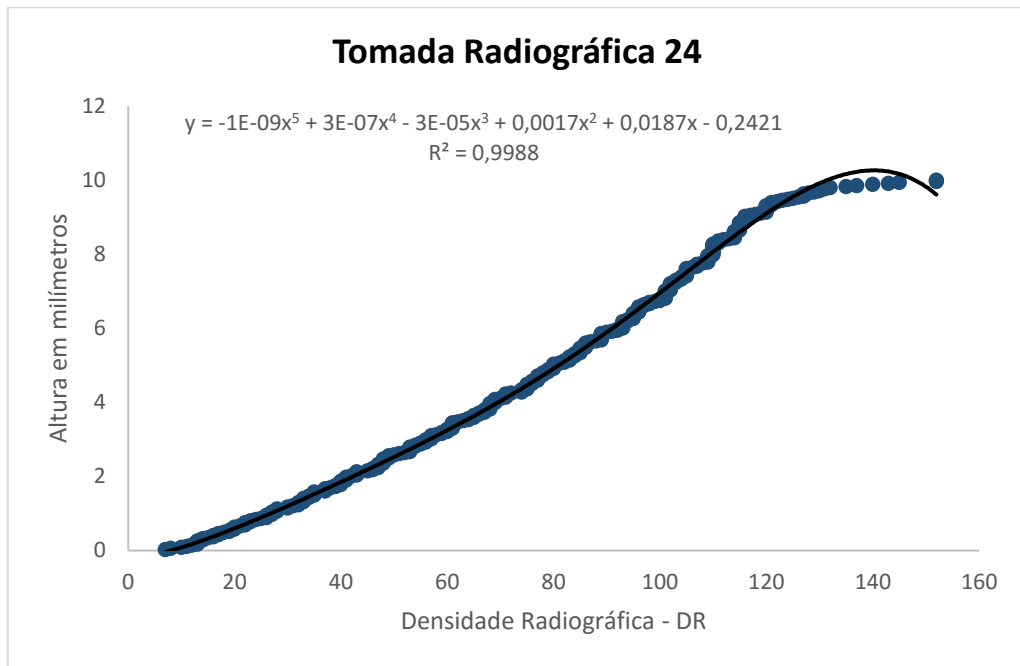
**Gráfico 31** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 21 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



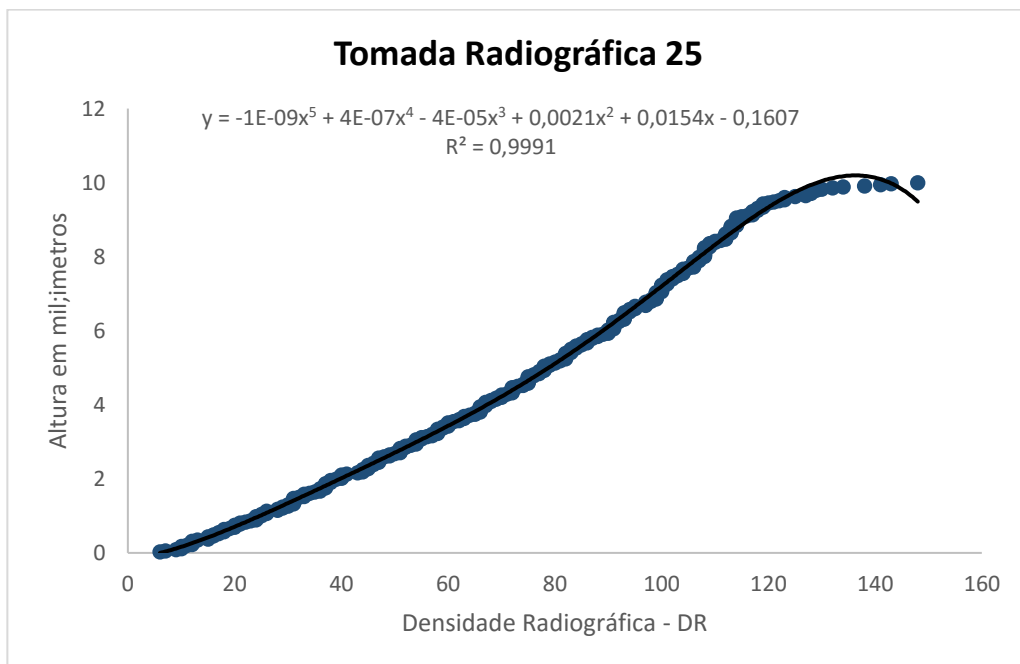
**Gráfico 32** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 22 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



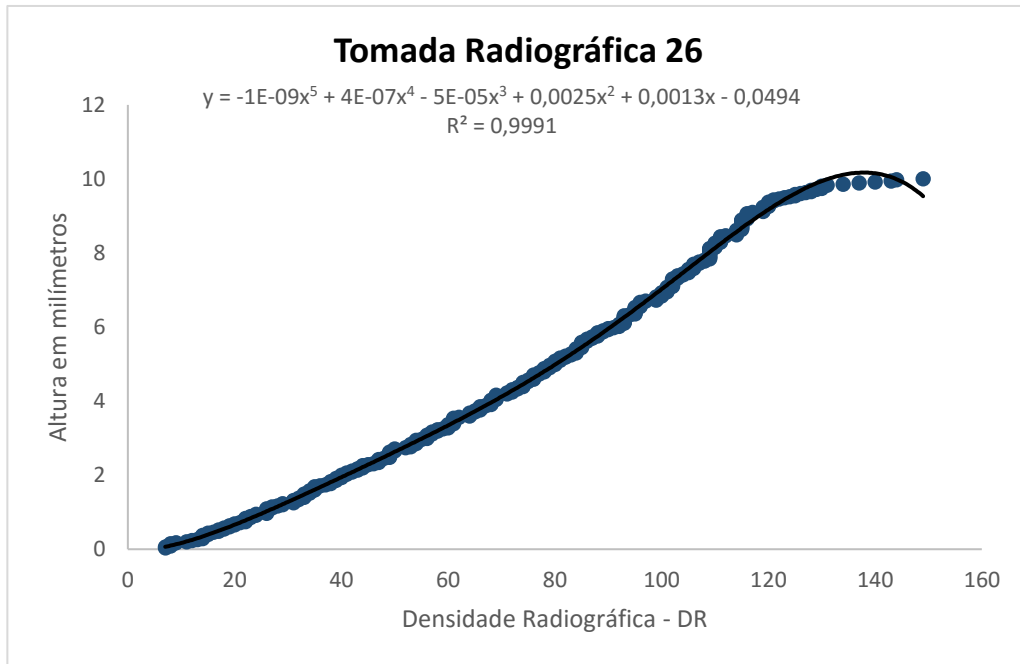
**Gráfico 33** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 23 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



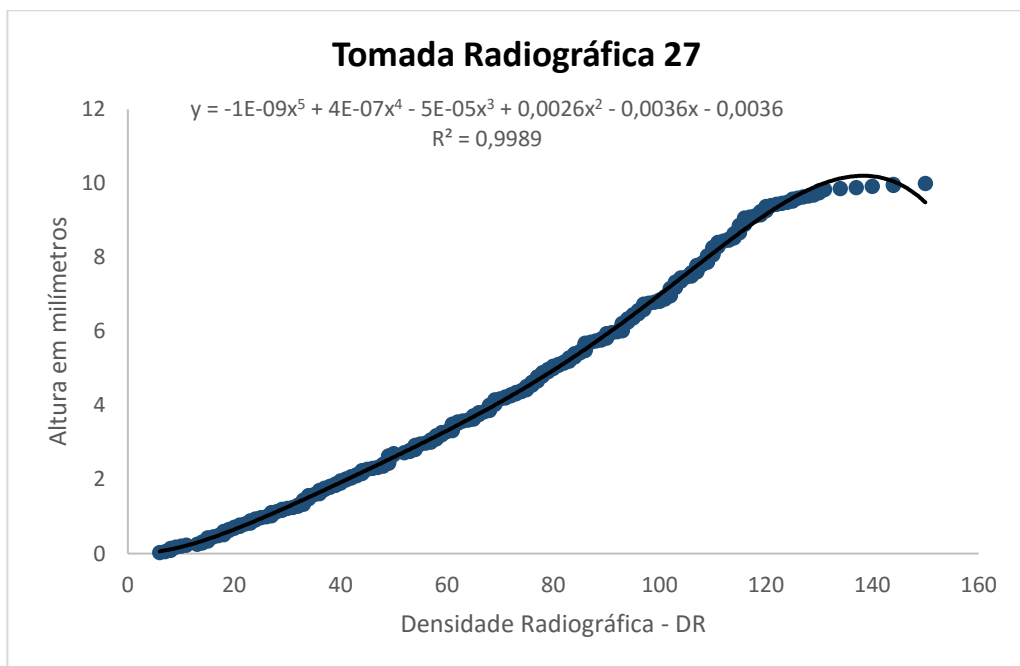
**Gráfico 34** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 24 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



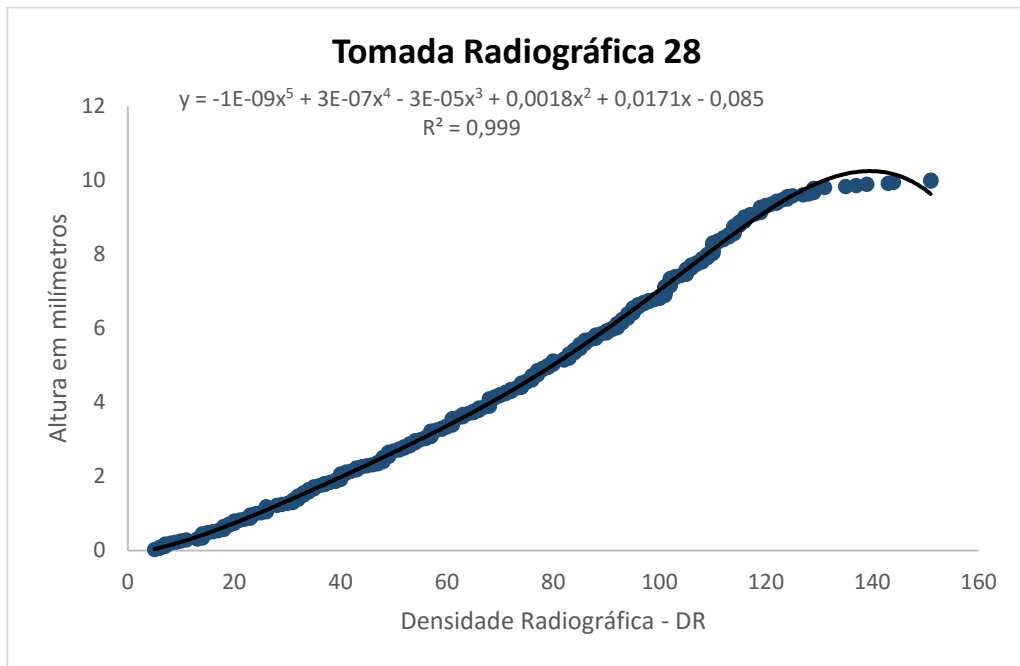
**Gráfico 35** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 25 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



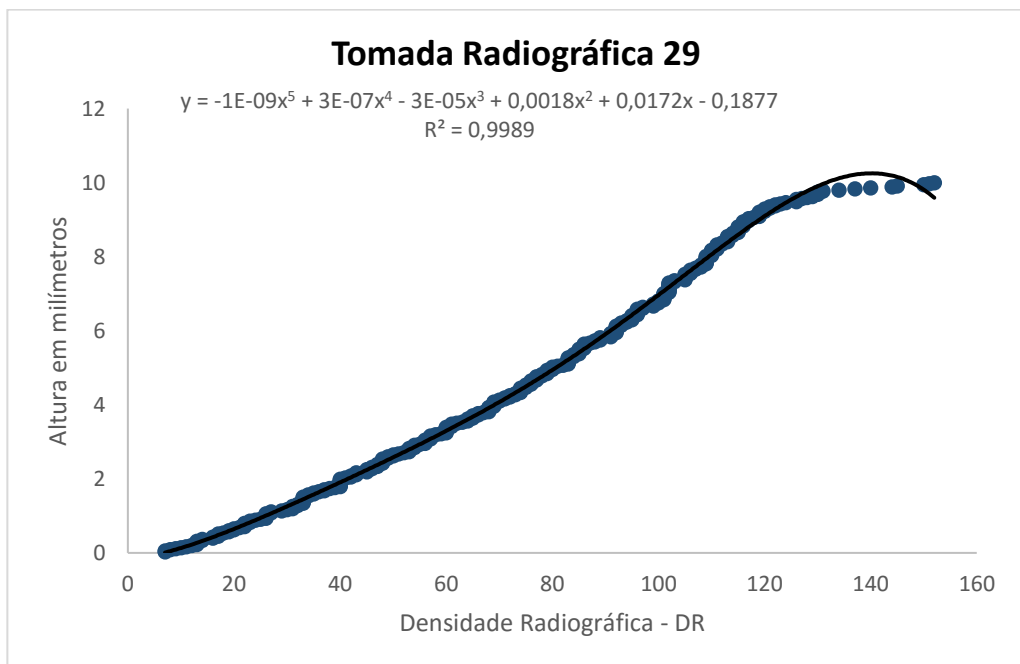
**Gráfico 36** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 26 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



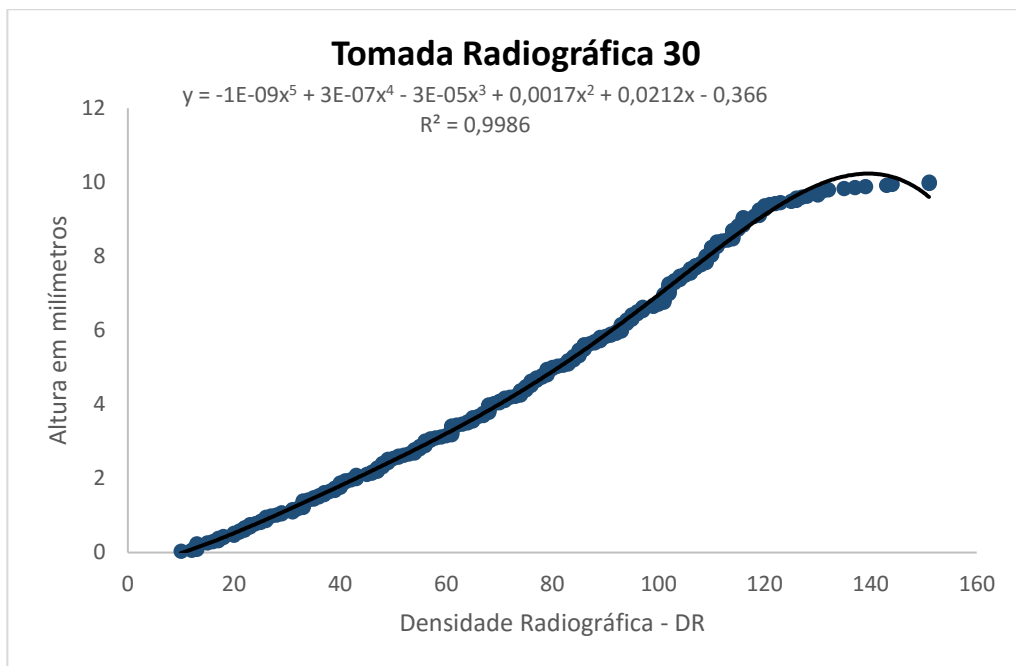
**Gráfico 37** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 27 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



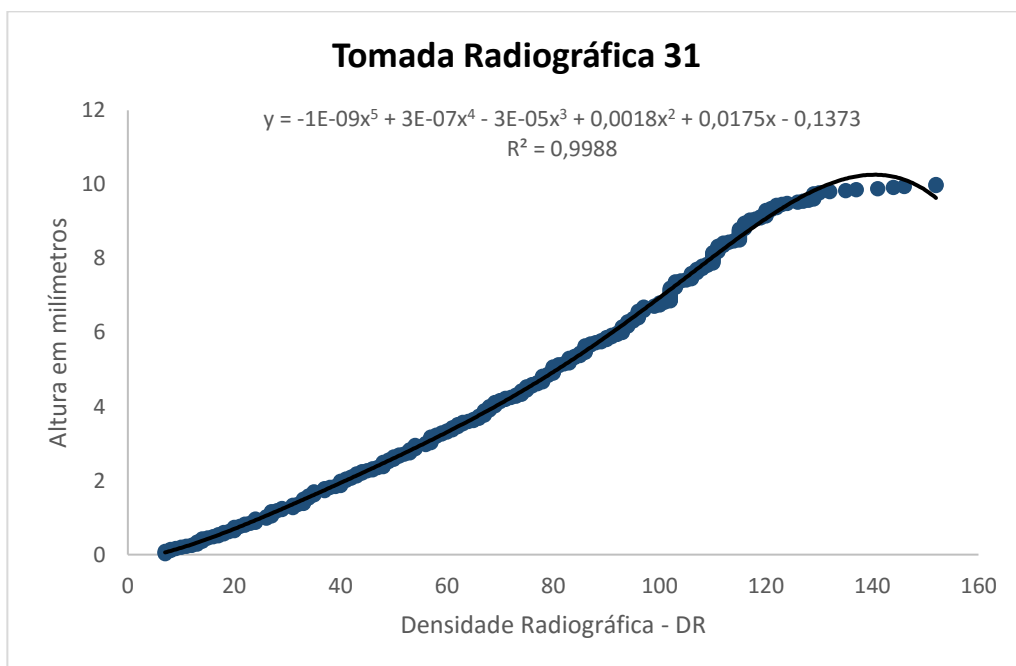
**Gráfico 38** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 28 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



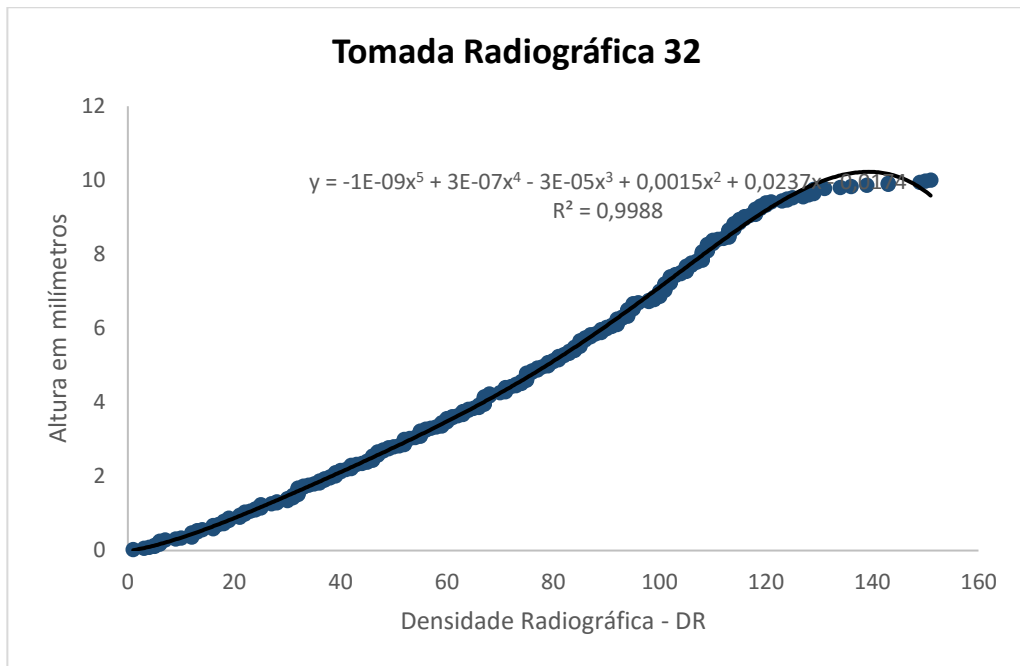
**Gráfico 39** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 29 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



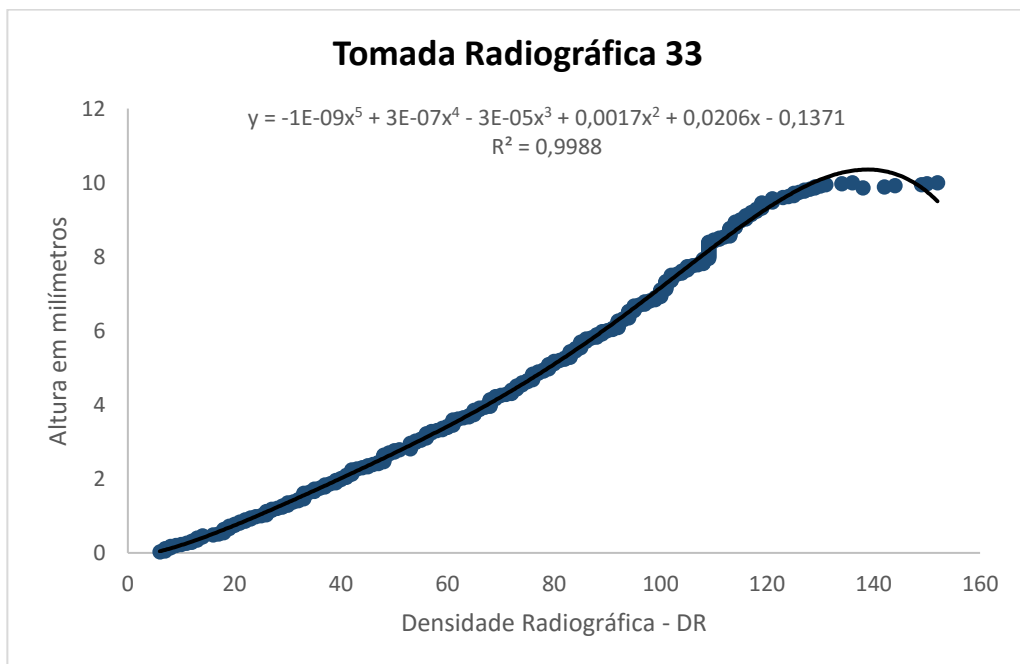
**Gráfico 40** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 30 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



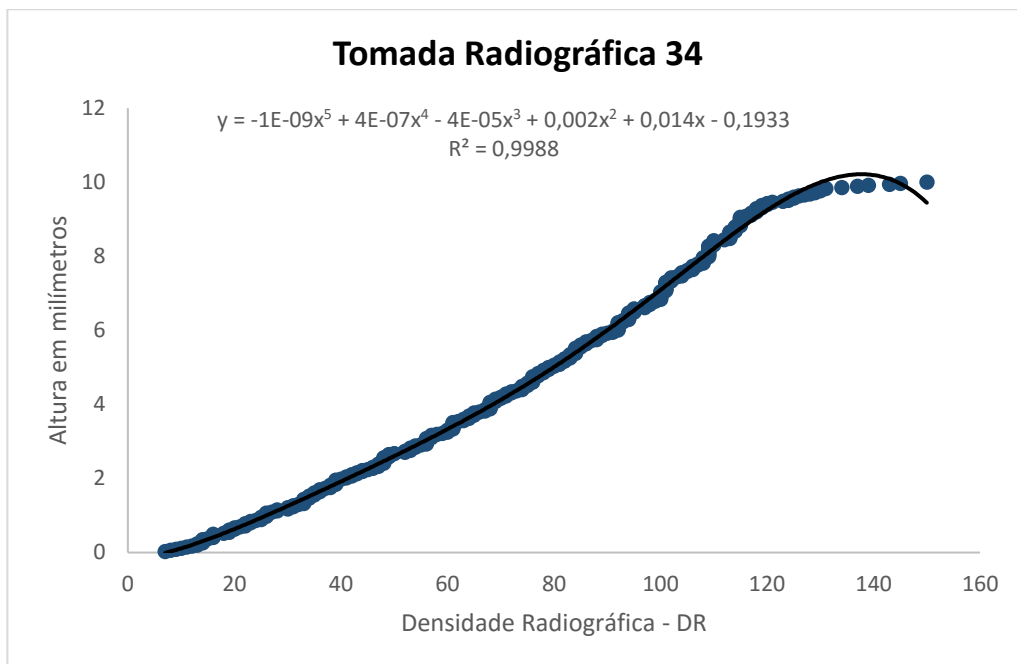
**Gráfico 41** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 31 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



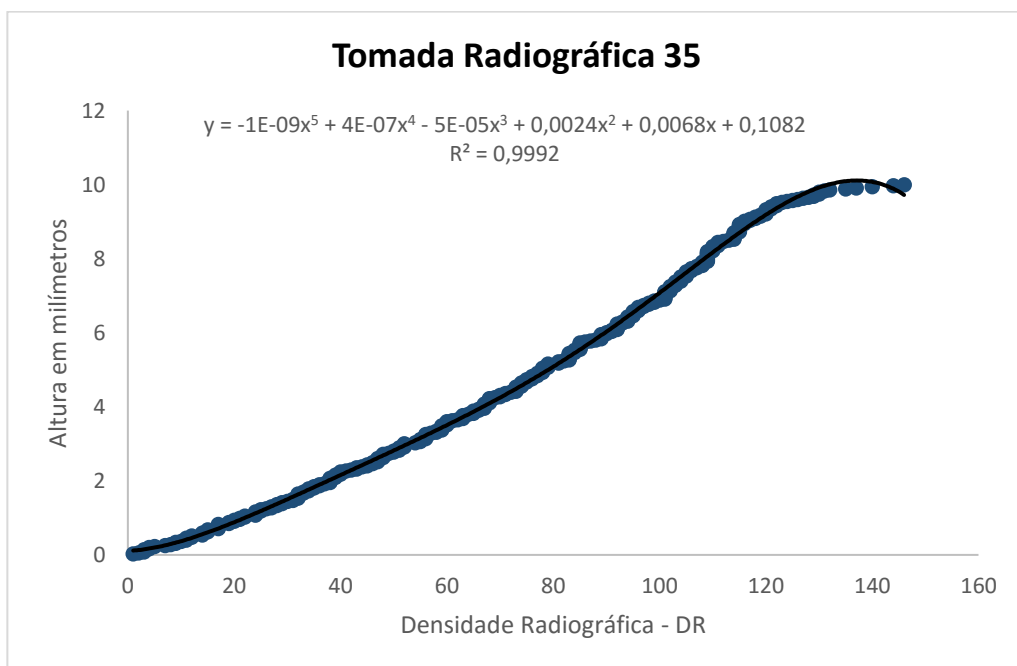
**Gráfico 42** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 32 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



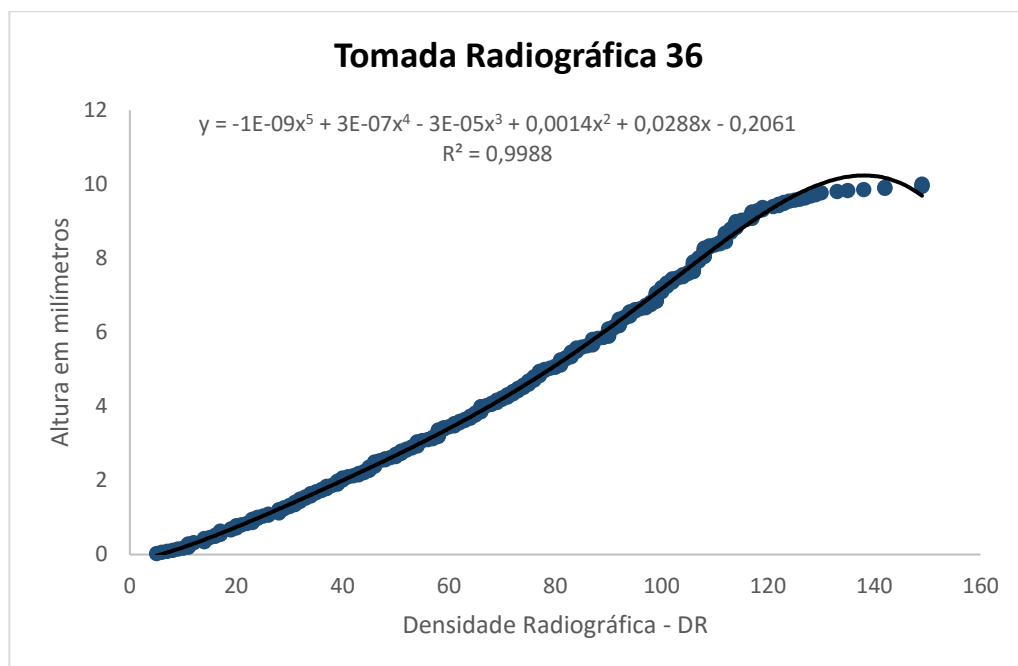
**Gráfico 43** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 33 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



**Gráfico 44** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 34 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



**Gráfico 45** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 35 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.



**Gráfico 46** – Curva de dispersão da tomada radiográfica 36 contendo os valores de DR e espessura da cunha de alumínio utilizada para construção da função polinomial.

### 5.5. Resultados de absorção dos raios-X por meio de filtro de cores.

Com o aplicativo ImageJ foi possível aplicar o filtro de cores *Lookup Tables* para uma melhor compreensão sobre as características de absorção dos raios-X presente nas 36 tomadas radiográficas. A seguir é apresentado os resultados das 18 tomadas radiográficas iniciais contendo o referencial densitométrico e três objetos de estudo (1 – 7,30mm; 2 – 5,90mm e 3 – 3,25mm) representado por meio das figuras Figura 62 à Figura 65.

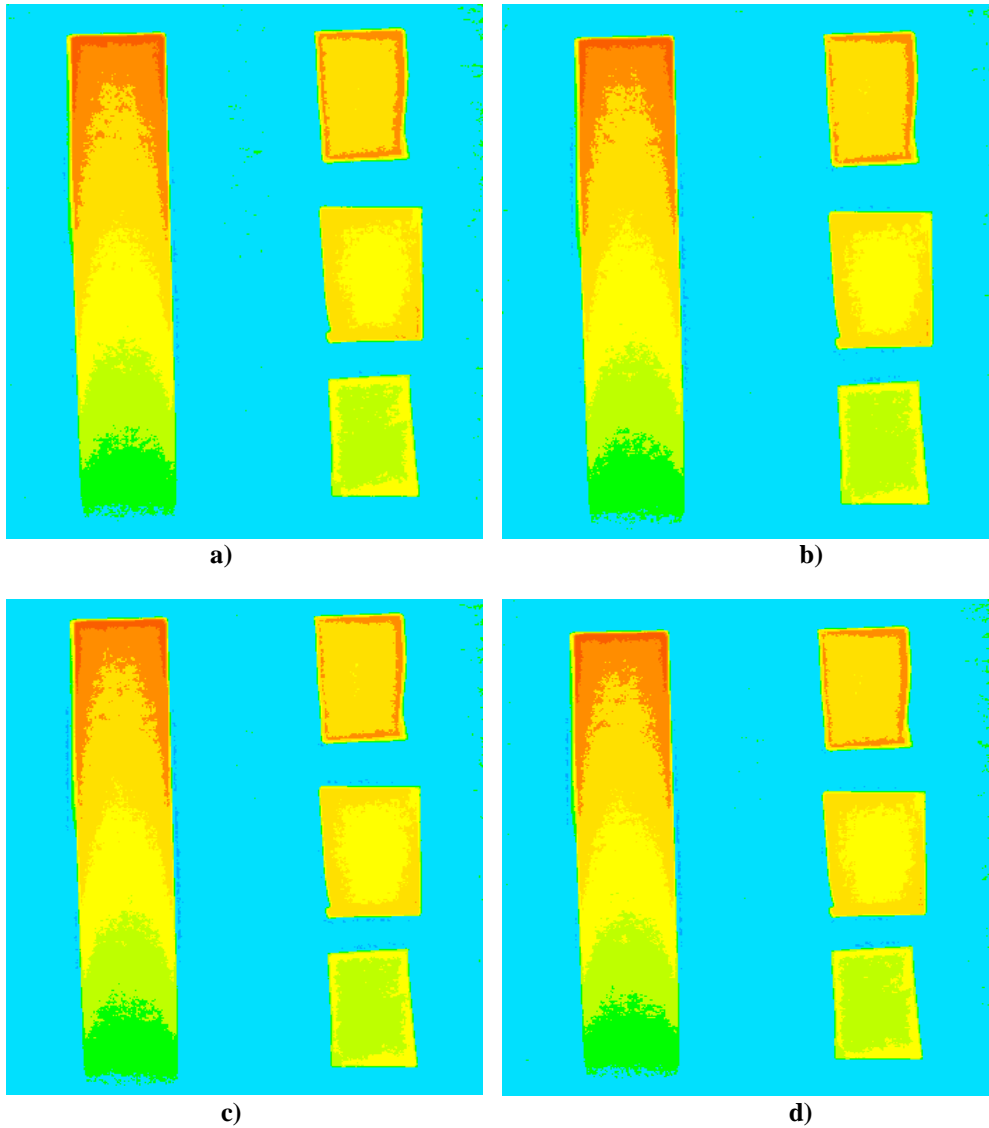
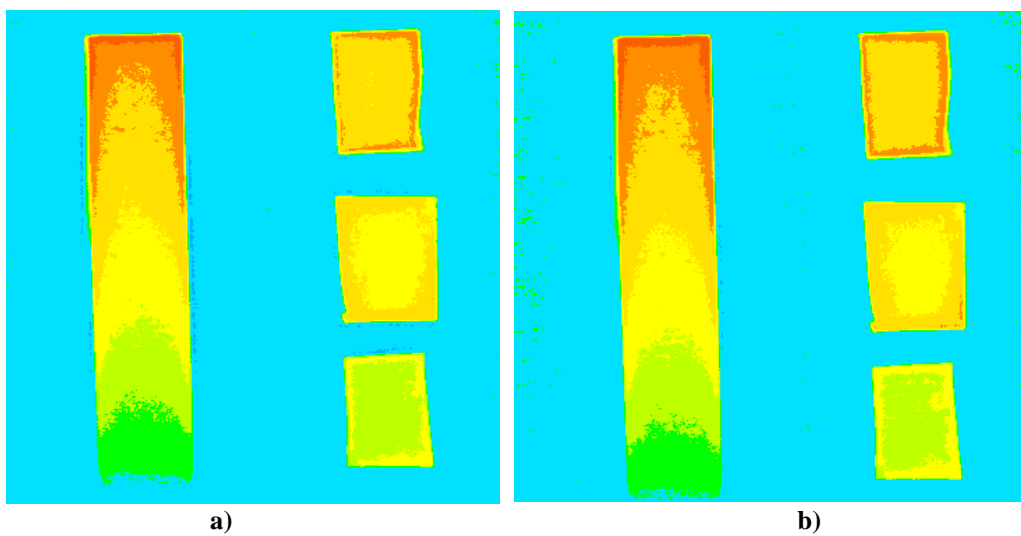
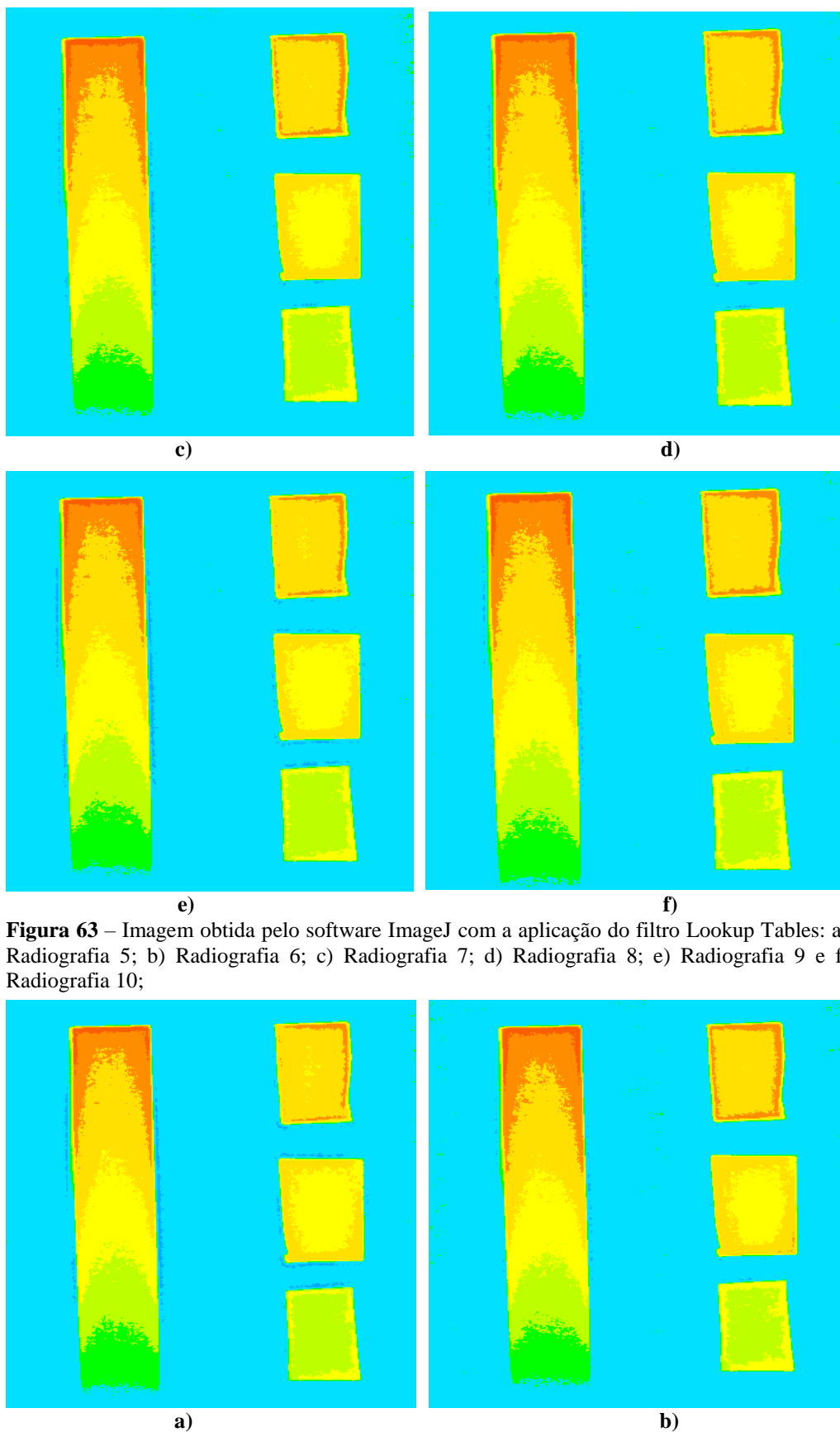
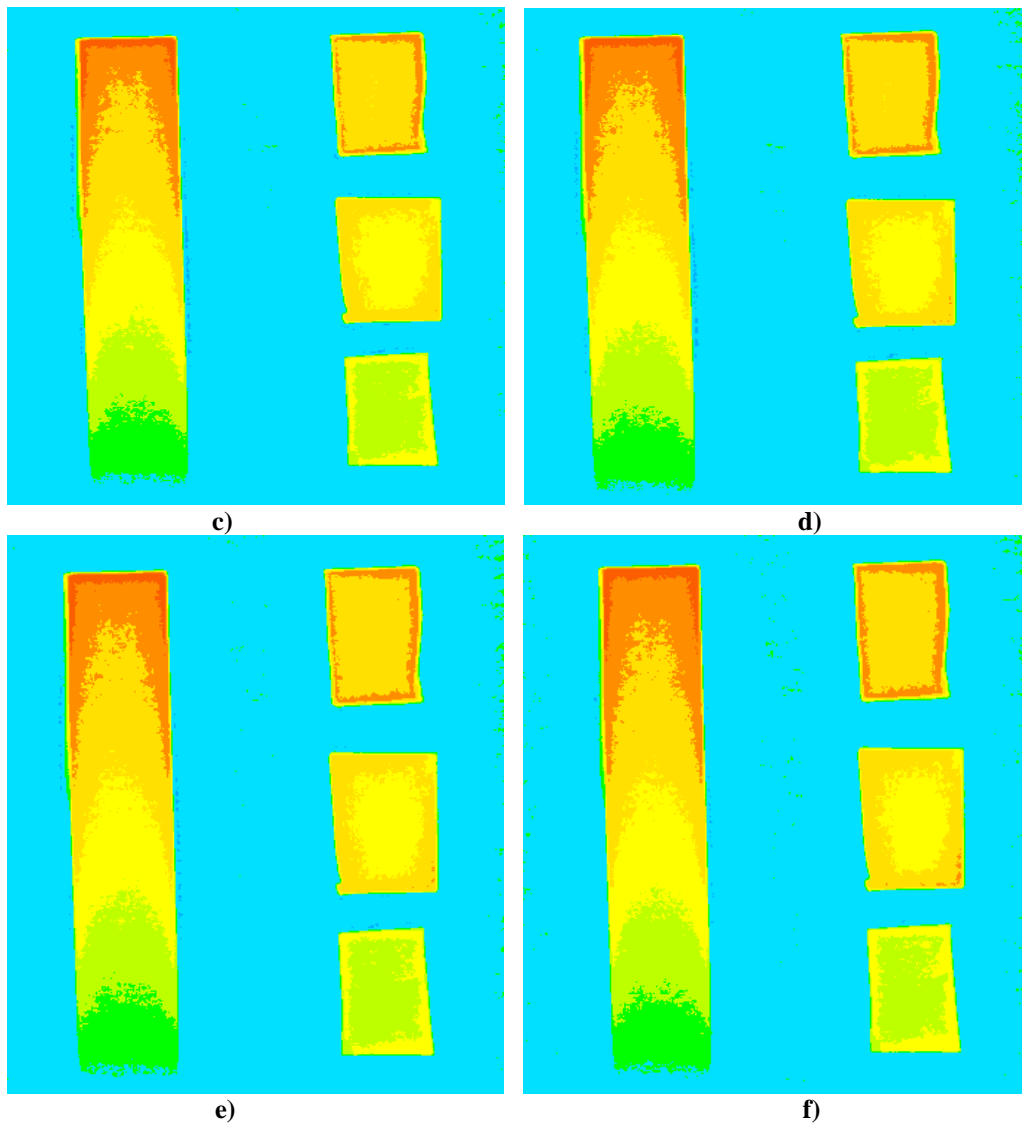


Figura 62 – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 1; b) Radiografia 2; c) Radiografia 3 e d) Radiografia 4.

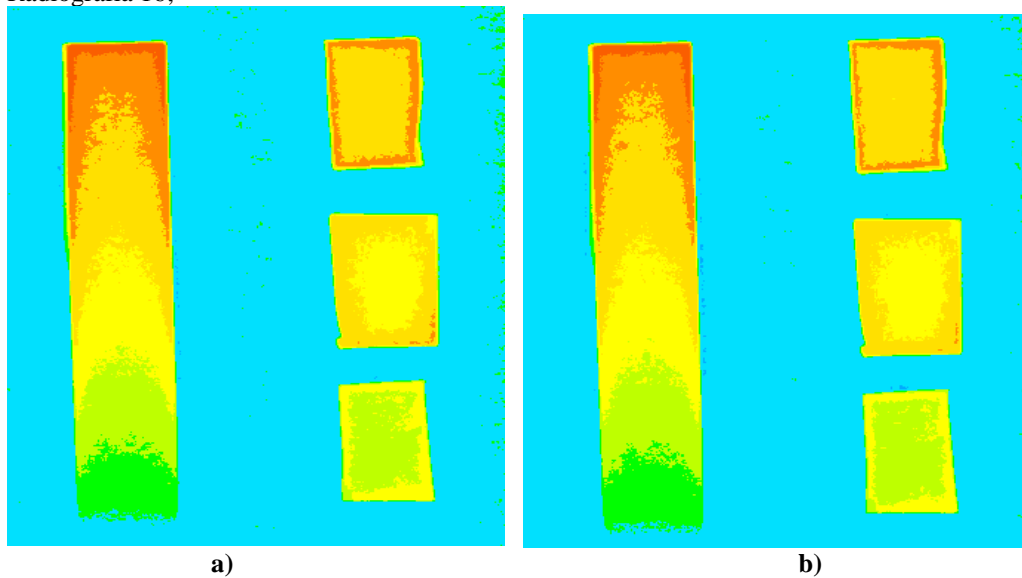




**Figura 63** – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Look Up Tables: a) Radiografia 5; b) Radiografia 6; c) Radiografia 7; d) Radiografia 8; e) Radiografia 9 e f) Radiografia 10;

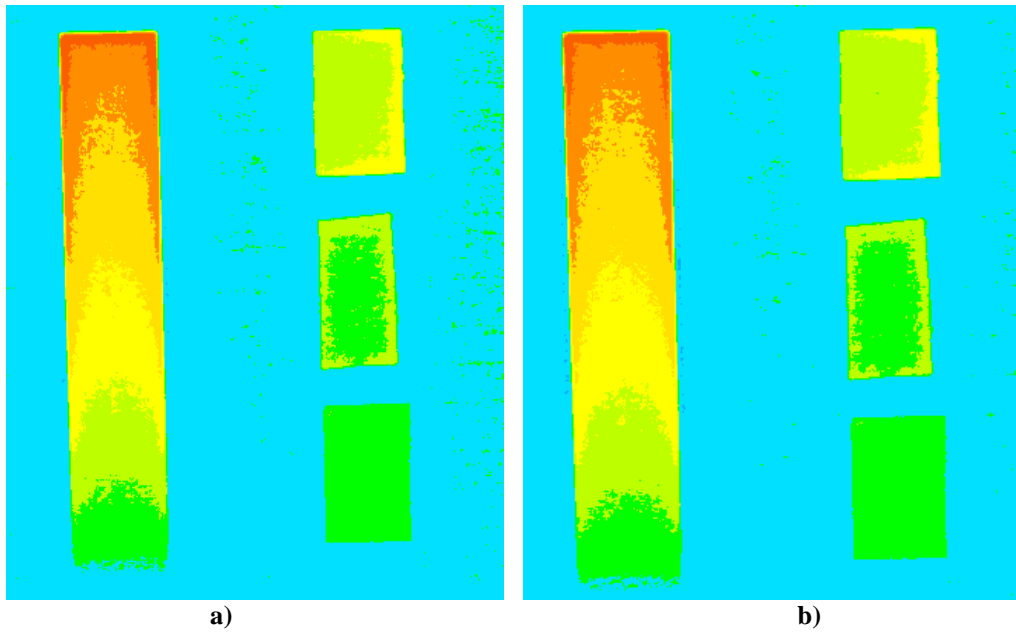


**Figura 64** – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 11; b) Radiografia 12; c) Radiografia 13; d) Radiografia 14; e) Radiografia 15 e f) Radiografia 16;

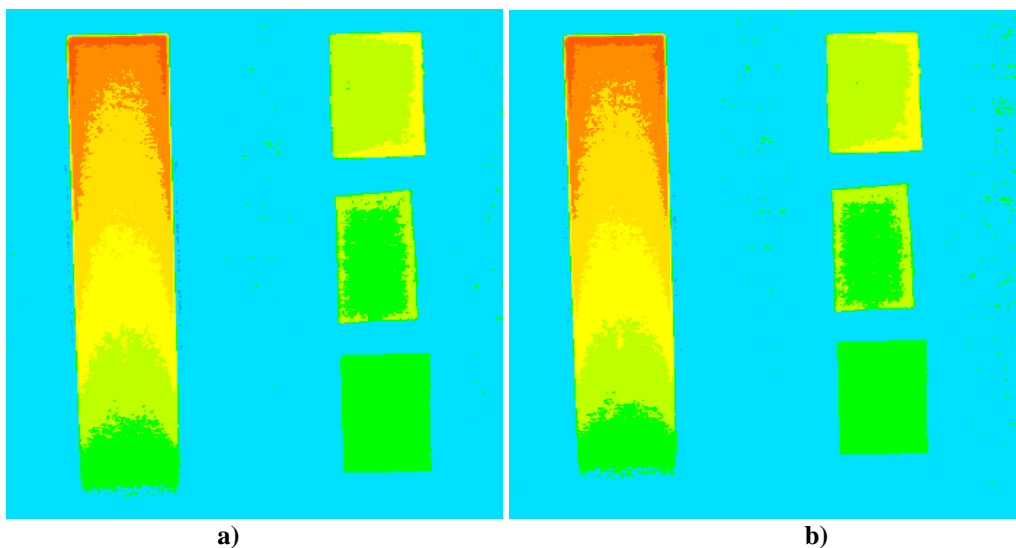


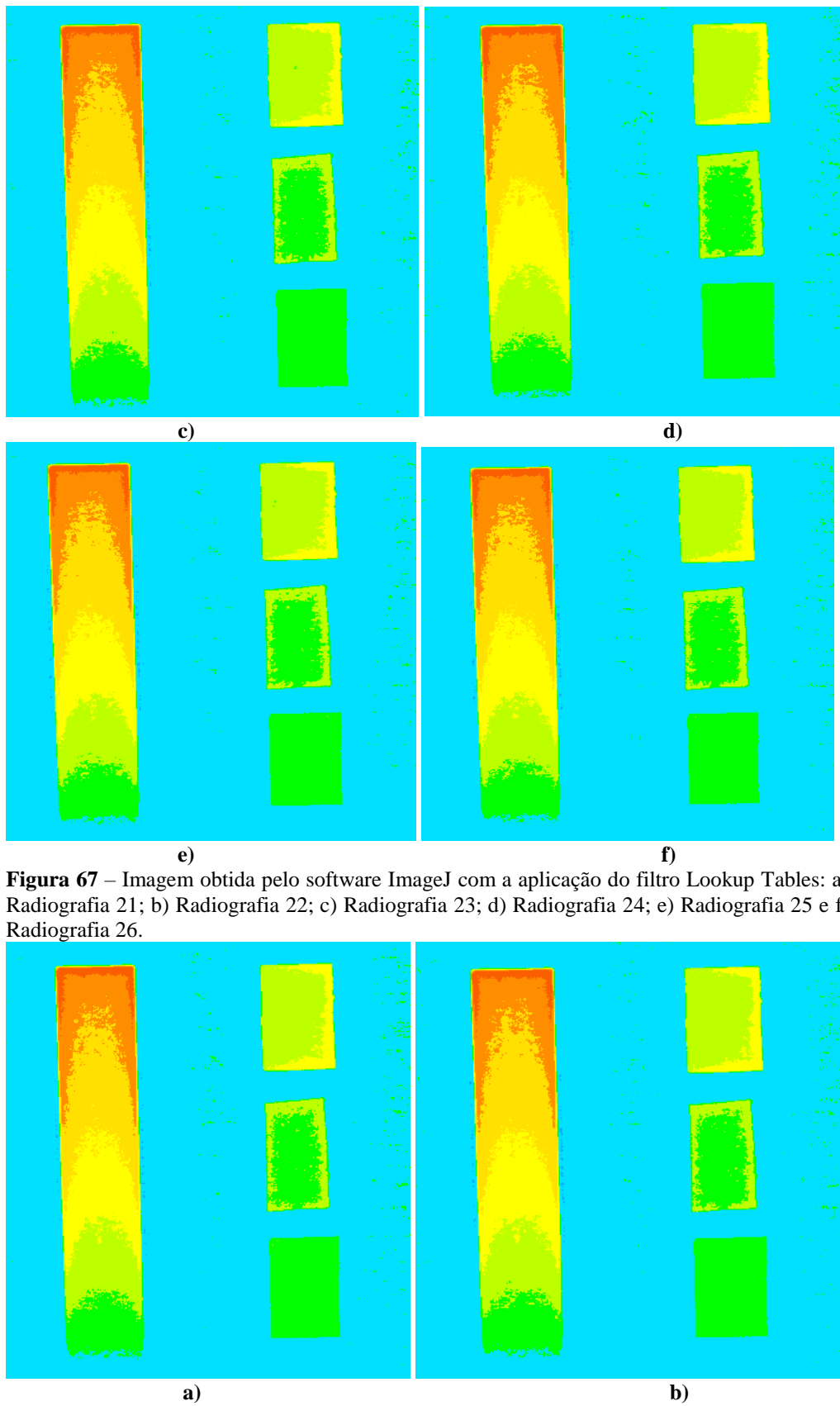
**Figura 65** – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 17 e b) Radiografia 18.

Na sequência é apresentada as 18 radiografias finais com o referencial densitométrico e três objetos de estudo (4 – 2,75mm; 5 – 1,50mm e 6 – 1,00), representado pelas Figura 66 a Figura 69. Na imagem, o bloco 4 é representado pelo bloco superior, bloco 5 é localizado ao meio e o bloco 6 na parte inferior da imagem.

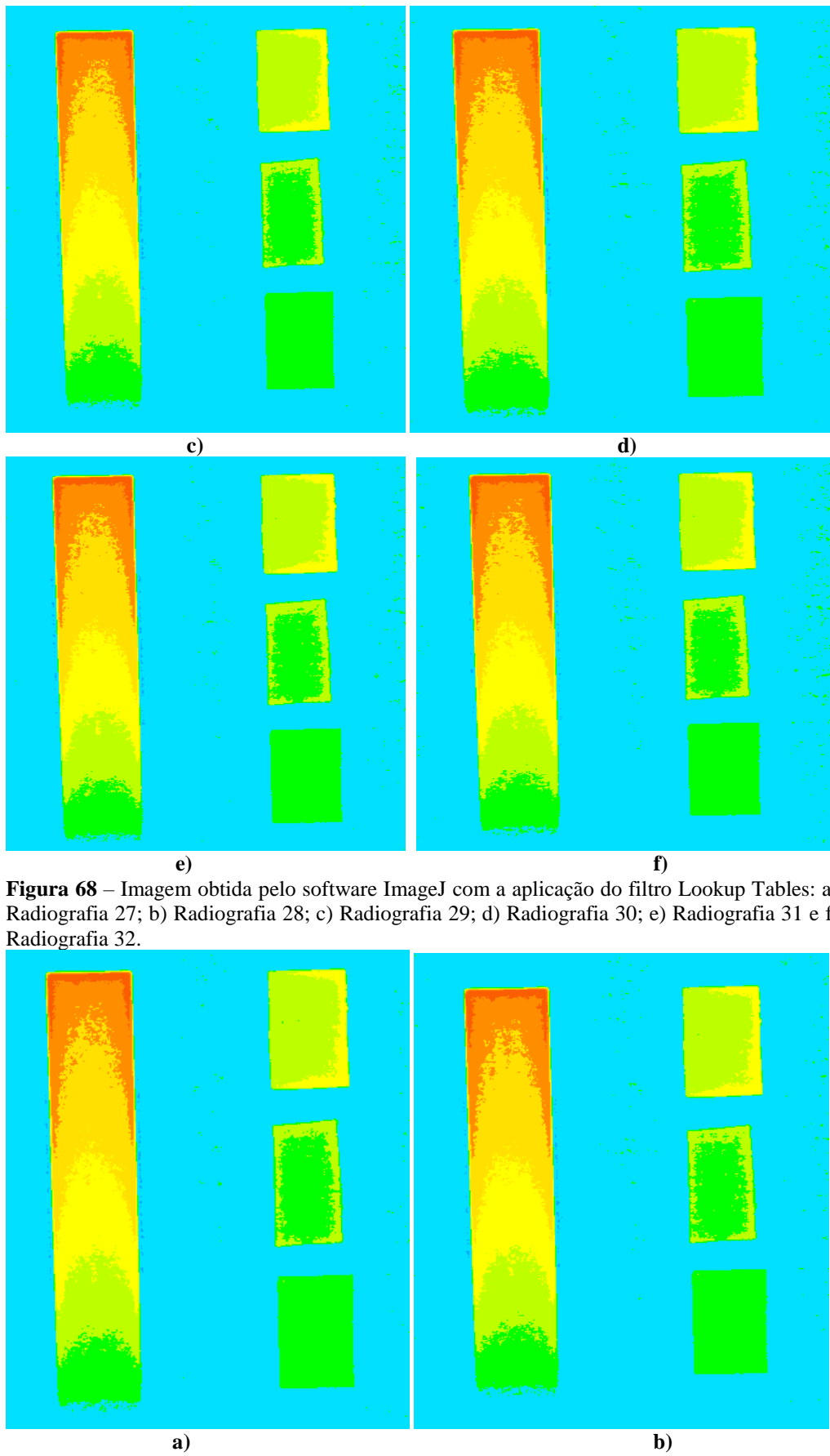


**Figura 66** – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 19 e b) Radiografia 20.

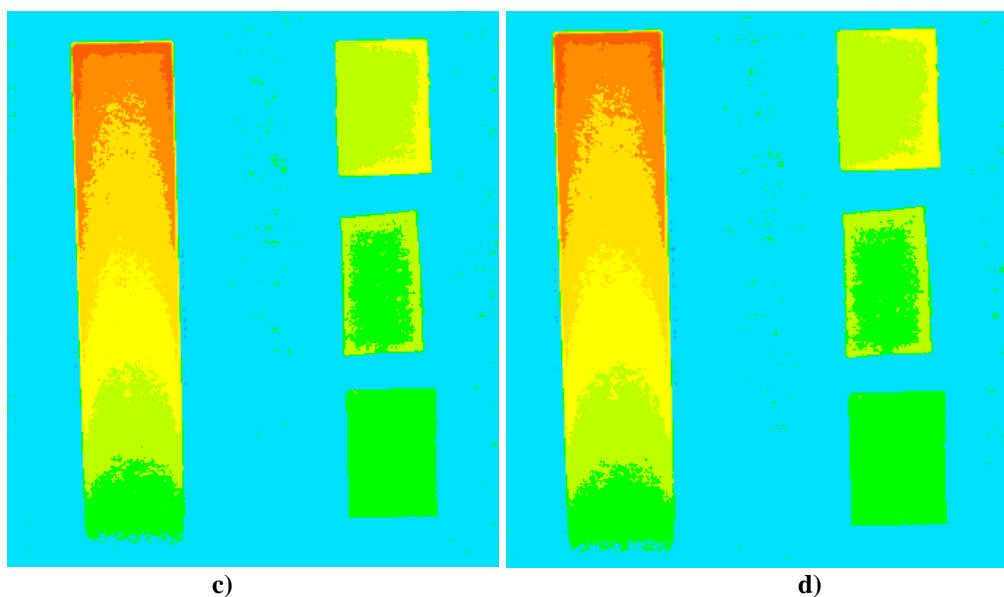




**Figura 67** – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 21; b) Radiografia 22; c) Radiografia 23; d) Radiografia 24; e) Radiografia 25 e f) Radiografia 26.



**Figura 68** – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 27; b) Radiografia 28; c) Radiografia 29; d) Radiografia 30; e) Radiografia 31 e f) Radiografia 32.



**Figura 69** – Imagem obtida pelo software ImageJ com a aplicação do filtro Lookup Tables: a) Radiografia 33; b) Radiografia 34; c) Radiografia 35 e d) Radiografia 36.

### 5.6. Resultado do estudo quantitativo de equipamentos de diagnóstico para densitometria óssea: DXA e Raios-X (Densitometria Radiográfica).

A seguir serão apresentados o número de equipamentos DXA e raios-X disponíveis no Sistema Único de Saúde – SUS, na região norte do Brasil. Na Tabela 8 é apresentado os dados relativos aos equipamentos de imagem DXA e raios-X disponíveis gratuitamente para população do estado do Acre-AC.

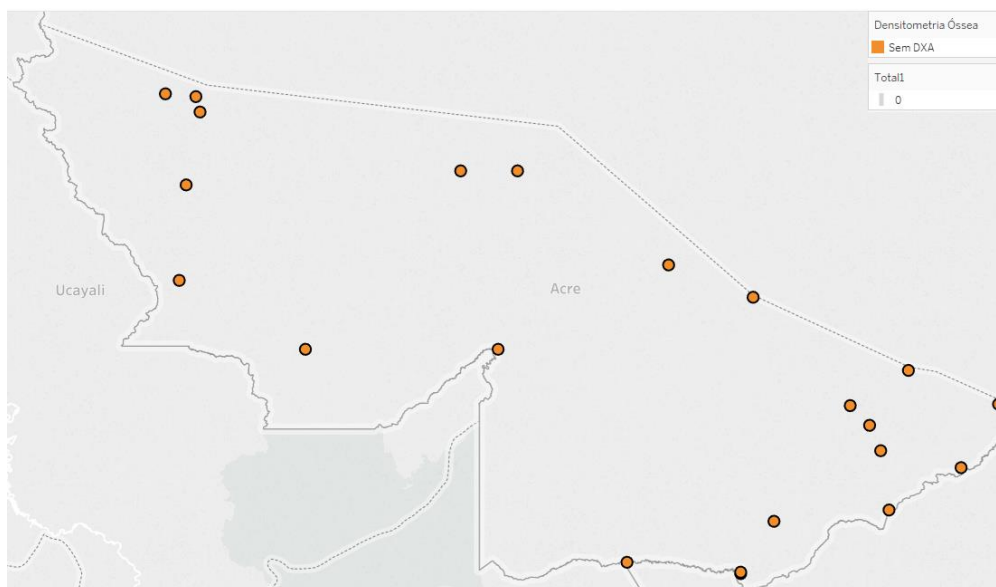
**Tabela 8** – Quantitativo de equipamentos de DXA e Raios-X presentes no estado do Acre-AC.

Município	Acre-AC			
	DXA		Raios-X	
	Quantidade	Em uso	Quantidade	Em uso
<b>Acrelândia</b>	0	0	1	1
<b>Assis Brasil</b>	0	0	1	1
<b>Brasiléia</b>	0	0	1	0
<b>Bujari</b>	0	0	0	0
<b>Capixaba</b>	0	0	0	0
<b>Cruzeiro do Sul</b>	0	0	4	3
<b>Epitaciolândia</b>	0	0	0	0

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

<b>Feijó</b>	0	0	2	1
<b>Jordão</b>	0	0	0	0
<b>Mâncio Lima</b>	0	0	1	1
<b>Manoel Urbano</b>	0	0	1	1
<b>Marechal Thaumaturgo</b>	0	0	1	1
<b>Plácido de Castro</b>	0	0	1	1
<b>Porto Acre</b>	0	0	0	0
<b>Porto Walter</b>	0	0	1	1
<b>Rio Branco</b>	1	0	22	11
<b>Rodrigues Alves</b>	0	0	1	1
<b>Santa Rosa do Purus</b>	0	0	1	1
<b>Sena Madureira</b>	0	0	1	1
<b>Senador Guiomard</b>	0	0	1	1
<b>Tarauacá</b>	0	0	1	1
<b>Xapuri</b>	0	0	1	1

Ao extrair os dados da Tabela 8 foi desenvolvido o mapa demográfico dos municípios do estado do Acre-AC, de acordo com a disponibilidade dos equipamentos, visando assim uma melhor compreensão dos locais exatos para a realização dos exames DXA (Figura 70) e raios-X (Figura 71) nessa região.



**Figura 70** – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado do Acre-AC.

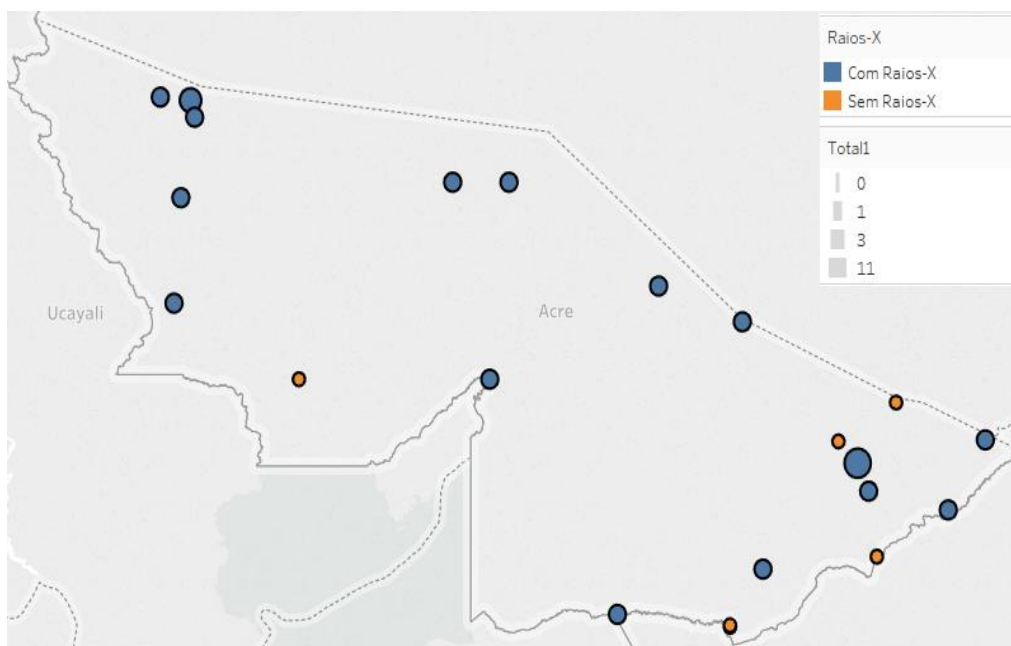


Figura 71 – Mapa demográfico do número de equipamentos de raios-X no estado do Acre-AC.

Na

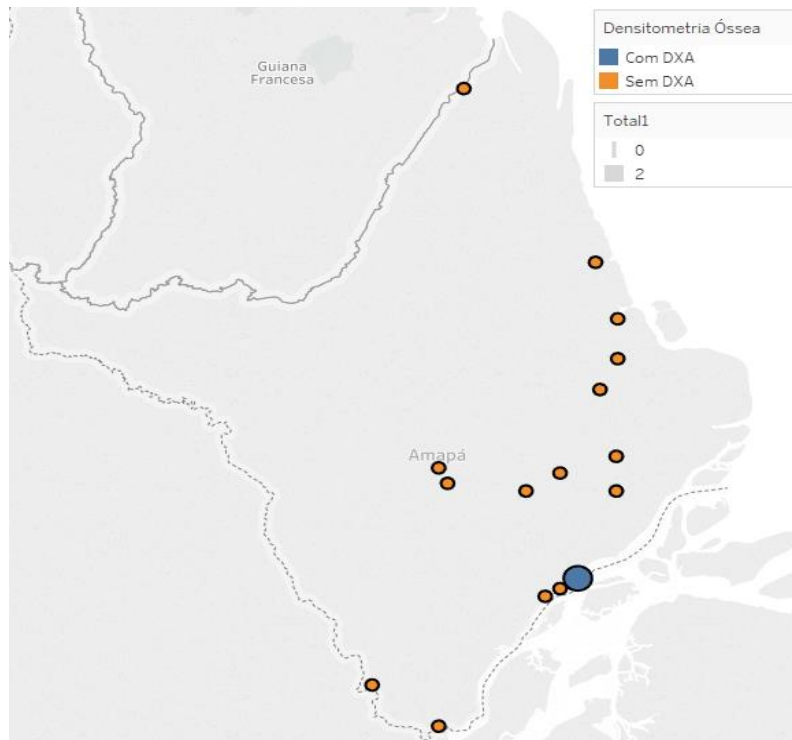
é apresentado os dados relativos aos equipamentos de imagem DXA e raios-X disponíveis gratuitamente para população do estado do Amapá-AP (Tabela 9).

Tabela 9 – Quantitativo de equipamentos DXA e Raios-X presentes no estado do Amapá-AP.

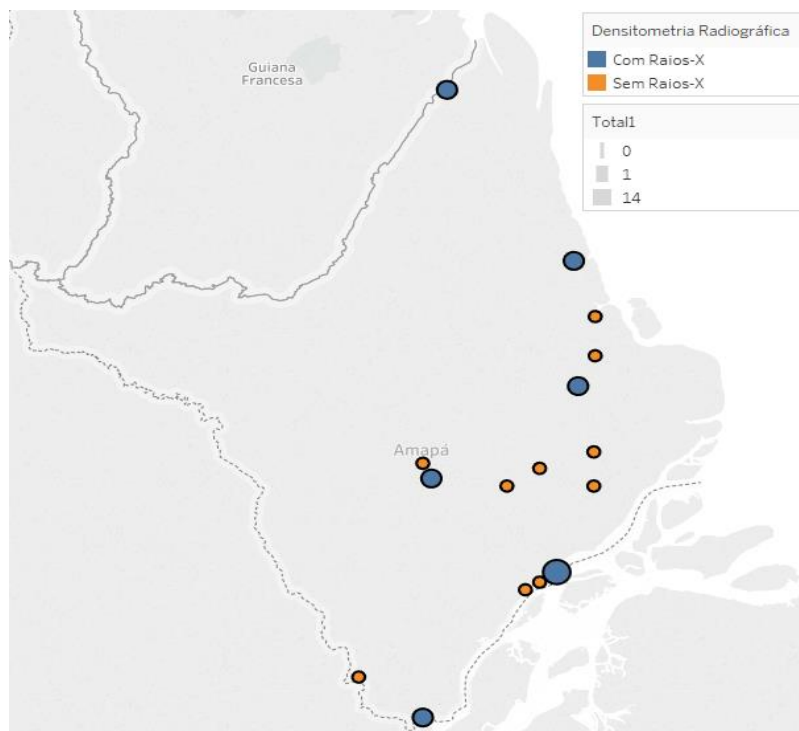
Município	Amapá-AP			
	DXA		Raios-X	
	Quantidade	Em uso	Quantidade	Em uso
Amapá	0	0	0	0
Calçoene	0	0	1	1
Cutias	0	0	0	0
Ferreira Gomes	0	0	0	0
Itaubal	0	0	0	0
Laranjal do Jari	0	0	1	1
Macapá	2	2	14	14
Mazagão	0	0	0	0
Oiapoque	1	0	1	1
Pedra Branca do Amaparí	0	0	1	1
Porto Grande	0	0	0	0
Pracuúba	0	0	0	0
Santana	0	0	4	4
Serra do Navio	0	0	0	0
Tartarugalzinho	0	0	1	1
Vitória do Jari	0	0	0	0

## Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.

Ao extrair os dados da Tabela 9 foi desenvolvido o mapa demográfico dos municípios do estado do Amapá-AP, de acordo com a disponibilidade dos equipamentos, visando assim uma melhor compreensão dos locais exatos para a realização dos exames DXA (Figura 72) e raios-X (Figura 73) nessa região.



**Figura 72** – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado do Amapá-AP.



**Figura 73** – Mapa demográfico do número de equipamento de raios-X no estado do Amapá-AP.

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Na Tabela 10 é apresentado os dados relativos aos equipamentos de imagem DXA e raios-X disponíveis gratuitamente para a população do estado do Amazonas-AM.

**Tabela 10** – Quantitativo de equipamentos DXA e raios-X presentes no estado do Amazonas-AM.

Município	Amazonas-AM			
	DXA		Raios-X	
	Quantidade	Em uso	Quantidade	Em uso
Alvarães	0	0	1	1
Amaturá	0	0	1	1
Anamã	0	0	1	1
Anori	0	0	1	1
Apuí	0	0	4	4
Atalaia do Norte	0	0	1	1
Autazes	0	0	1	1
Barcelos	0	0	2	2
Barreirinha	0	0	1	1
Benjamin Constant	0	0	1	1
Beruri	0	0	1	1
Boa Vista do Ramos	0	0	1	1
Boca do Acre	0	0	2	2
Borba	0	0	1	1
Caapiranga	0	0	1	1
Canutama	0	0	1	1
Carauari	0	0	1	1
Careiro	0	0	1	1
Careiro da Várzea	0	0	0	0
Coari	0	0	1	1
Codajás	0	0	1	1
Eirunepé	0	0	2	2
Envira	0	0	2	2
Fonte Boa	0	0	0	0
Guajará	0	0	1	1
Humaitá	0	0	1	1

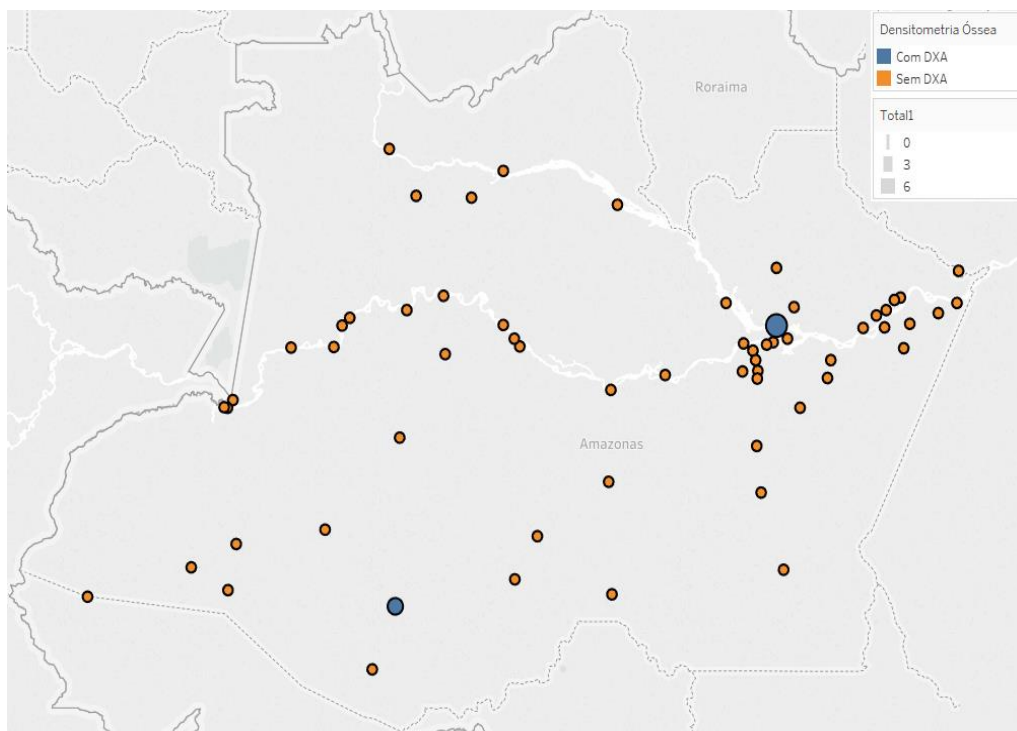
**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Ipixuna	0	0	2	2
Irاندuba	0	0	1	1
Itacoatiara	0	0	3	1
Itamarati	0	0	1	1
Itapiranga	0	0	1	1
Japurá	0	0	1	1
Juruá	0	0	1	1
Jutaí	0	0	1	1
Lábrea	0	0	1	1
Manacapuru	0	0	2	1
Manaquiri	0	0	2	2
Manaus	6	6	108	102
Manicoré	0	0	1	1
Maraã	0	0	1	1
Maués	0	0	1	1
Nhamundá	0	0	1	1
Nova Olinda do Norte	0	0	1	1
Novo Airão	0	0	1	1
Novo Aripuanã	0	0	1	1
Parintins	0	0	4	4
Pauini	3	3	1	1
Presidente Figueiredo	0	0	1	1
Rio Preto da Eva	0	0	2	1
Santa Isabel do Rio Negro	0	0	1	1
Santo Antônio do Içá	0	0	1	1
São Gabriel da Cachoeira	0	0	2	2
São Paulo de Olivença	0	0	1	1
São Sebastião do Uatumã	0	0	1	1
Silves	0	0	1	1
Tabatinga	0	0	8	5
Tapauá	0	0	1	1

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

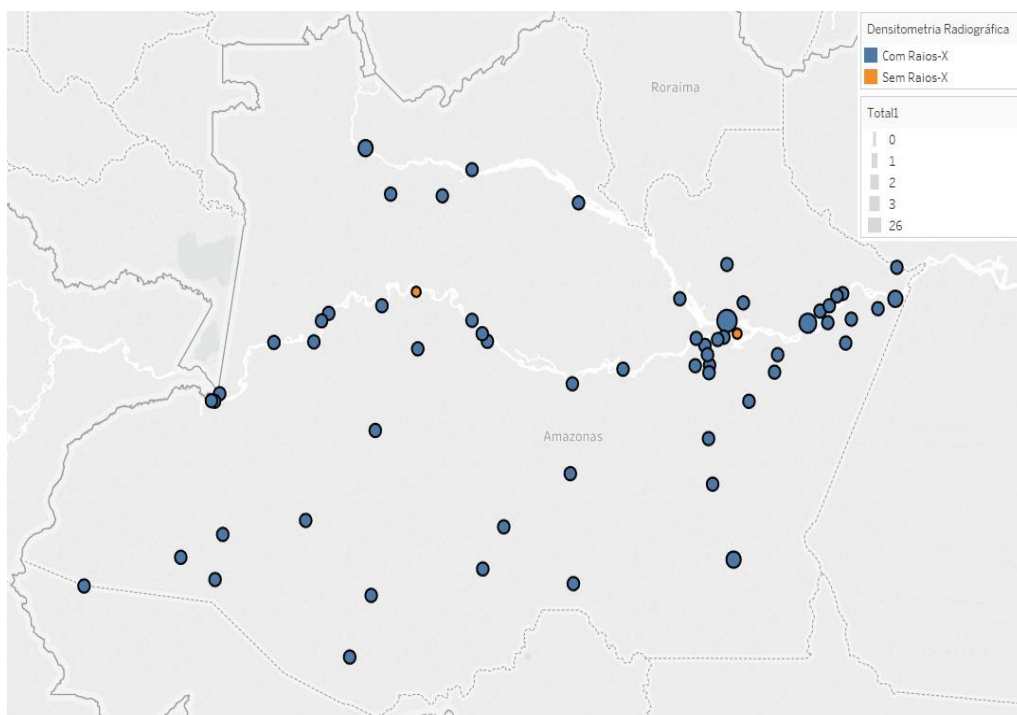
Tefé	0	0	3	3
Tonantins	0	0	1	1
Uarini	0	0	1	1
Urucará	0	0	1	1
Urucurituba	0	0	1	1

Ao extrair os dados da Tabela 10 foi desenvolvido o mapa demográfico dos municípios do estado do Amazonas-AM de acordo com a disponibilidade dos equipamentos, visando assim uma melhor compreensão dos locais exatos para a realização dos exames DXA (Figura 74) e raios-X (Figura 75) nessa região.



**Figura 74** – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado do Amazonas-AM.

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**



**Figura 75** – Mapa demográfico do número de equipamento de raios-X no estado do Amazonas-AM.

Na Tabela 11 é apresentado os dados relativos aos equipamentos de DXA e Raios-X disponíveis para população do estado do Pará-PA.

**Tabela 11** – Quantitativo de equipamentos DXA e raios-X presentes no estado do Pará-PA.

Município	Pará-PA			
	DXA		Raios-X	
	Quantidade	Em uso	Quantidade	Em uso
Abaetetuba	0	0	4	4
Abel Figueiredo	0	0	1	1
Acará	0	0	3	2
Afuá	0	0	1	1
Água Azul do Norte	0	0	1	1
Alenquer	0	0	1	1
Almeirim	0	0	3	3
Altamira	1	1	12	12
Anajás	0	0	1	1
Ananindeua	2	2	21	20
Anapu	0	0	1	1
Augusto Corrêa	0	0	2	2

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Aurora do Pará	0	0	1	1
Aveiro	0	0	0	0
Bagre	0	0	2	2
Baião	0	0	3	3
Bannach	0	0	1	1
Barcarena	0	0	3	3
Belém	7	6	67	62
Belterra	0	0	1	1
Benevides	0	0	2	2
Bom Jesus do Tocantins	0	0	1	1
Bonito	0	0	0	0
Bragança	2	2	11	11
Brasil Novo	0	0	3	2
Brejo Grande do Araguaia	0	0	2	2
Breu Branco	0	0	2	2
Breves	0	0	5	4
Bujaru	0	0	1	1
Cachoeira do Arari	0	0	0	0
Cachoeira do Piriá	0	0	0	0
Cametá	0	0	6	6
Canaã dos Carajás	0	0	1	1
Capanema	2	2	5	5
Capitão Poço	0	0	3	3
Castanhal	0	0	12	12
Chaves	0	0	0	0
Colares	0	0	0	0
Conceição do Araguaia	0	0	5	5
Concórdia do Pará	0	0	1	1
Cumaru do Norte	0	0	1	1
Curionópolis	0	0	1	1
Curralinho	0	0	2	1

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Curuá	0	0	0	0
Curuçá	0	0	2	2
Dom Eliseu	0	0	1	1
Eldorado dos Carajás	0	0	1	1
Faro	0	0	2	1
Floresta do Araguaia	0	0	2	2
Garrafão do Norte	0	0	0	0
Goianésia do Pará	0	0	1	1
Gurupá	0	0	2	2
Igarapé-Açu	0	0	2	1
Igarapé-Miri	0	0	2	2
Inhangapi	0	0	1	1
Ipixuna do Pará	0	0	2	1
Irituia	0	0	2	2
Itaituba	1	1	11	11
Itupiranga	0	0	2	2
Jacareacanga	0	0	1	1
Jacundá	0	0	1	1
Juruti	0	0	1	1
Limoeiro do Ajuru	0	0	1	1
Mãe do Rio	0	0	2	1
Magalhães Barata	0	0	0	0
Marabá	0	0	9	9
Maracanã	0	0	1	1
Marapanim	0	0	1	1
Marituba	0	0	6	6
Medicilândia	0	0	2	1
Melgaço	0	0	1	1
Mocajuba	0	0	1	1
Moju	0	0	1	1
Monte Alegre	0	0	1	1
Muaná	0	0	1	1

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Nova Esperança do Piriá	0	0	0	0
Nova Ipixuna	0	0	1	1
Nova Timboteua	0	0	0	0
Novo Progresso	0	0	1	1
Novo Repartimento	0	0	2	2
Óbidos	0	0	1	1
Oeiras do Pará	0	0	1	1
Oriximiná	0	0	2	2
Ourém	0	0	1	1
Ourilândia do Norte	0	0	3	3
Pacajá	0	0	1	1
Palestina do Pará	0	0	0	0
Paragominas	1	1	5	3
Parauapebas	0	0	6	6
Pau d'Arco	0	0	2	2
Peixe-Boi	0	0	0	0
Piçarra	0	0	1	1
Placas	0	0	1	1
Ponta de Pedras	0	0	1	1
Portel	0	0	2	2
Porto de Moz	0	0	1	1
Prainha	0	0	1	1
Primavera	0	0	1	1
Quatipuru	0	0	0	0
Redenção	1	1	4	4
Rio Maria	0	0	2	2
Rondon do Pará	0	0	4	4
Rurópolis	0	0	2	1
Salinópolis	0	0	3	3
Salvaterra	0	0	1	1
Santa Bárbara do Pará	0	0	1	1
Santa Cruz do Arari	0	0	0	0

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Santa Isabel do Pará	0	0	4	4
Santa Luzia do Pará	0	0	1	1
Santa Maria das Barreiras	0	0	1	1
Santa Maria do Pará	0	0	1	0
Santana do Araguaia	0	0	1	1
Santarém	1	1	10	10
Santarém Novo	0	0	0	0
Santo Antônio do Tauá	0	0	1	1
São Caetano de Odivelas	0	0	0	0
São Domingos do Araguaia	0	0	2	2
São Domingos do Capim	0	0	1	1
São Félix do Xingu	0	0	3	3
São Francisco do Pará	0	0	0	0
São Geraldo do Araguaia	0	0	1	1
São João da Ponta	0	0	1	1
São João de Pirabas	0	0	1	1
São João do Araguaia	0	0	1	1
São Miguel do Guamá	0	0	2	2
São Sebastião da Boa Vista	0	0	1	1
Sapucaia	0	0	1	0
Senador José Porfírio	0	0	1	1
Soure	0	0	1	1
Tailândia	0	0	3	3
Terra Alta	0	0	0	0
Terra Santa	0	0	1	1
Tomé-Açu	0	0	4	4
Tracuateua	0	0	1	1
Trairão	0	0	1	1
Tucumã	0	0	5	5

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Tucuruí	2	2	11	11
Ulianópolis	0	0	3	3
Uruará	0	0	2	2
Vigia	0	0	1	1
Viseu	0	0	3	2
Vitória do Xingu	0	0	2	2
Xinguara	0	0	4	3

Ao extrair os dados da Tabela 11 tabela foi desenvolvido o mapa demográfico dos municípios do estado do Pará-PA, de acordo com a disponibilidade dos equipamentos, visando assim uma melhor compreensão dos locais exatos para a realização dos exames DXA (Figura 76) e raios-X (Figura 77) nessa região.

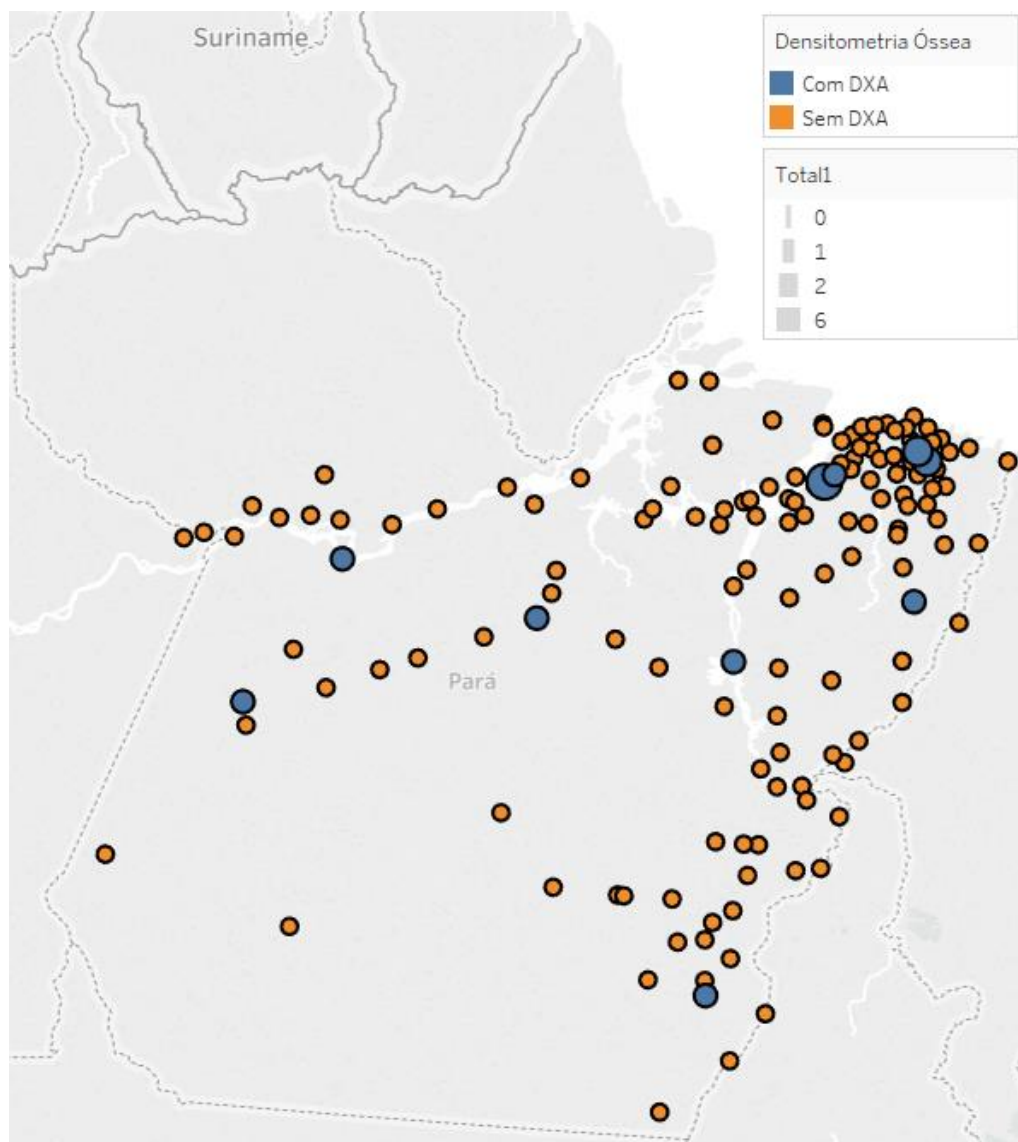


Figura 76 – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado Pará-PA.

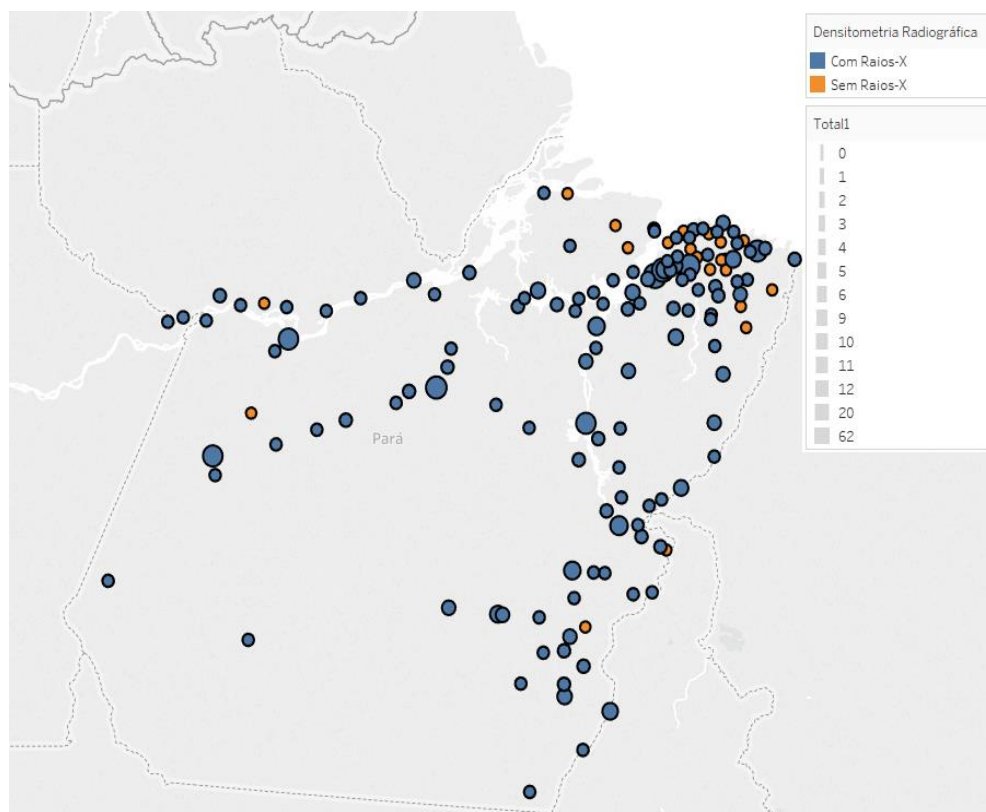


Figura 77 – Mapa demográfico do número de equipamento de raios-X no estado do Pará-PA.

Na Tabela 12 é apresentado os dados relativos aos equipamentos de DXA e Raios-X disponíveis para população do estado do Rondônia-RO.

Tabela 12 – Quantitativo de equipamentos DXA e raios-X presentes no estado de Rondônia-RO

Município	Rondônia-RO			
	DXA		Raios-X	
	Quantidade	Em uso	Quantidade	Em uso
Alta Floresta d` Oeste	0	0	2	2
Alto Alegre dos Parecis	0	0	0	0
Alto Paraíso	0	0	1	0
Alvorada d` Oeste	0	0	0	0
Ariquemes	1	1	17	6
Buritis	0	0	0	0
Cabixi	0	0	1	1
Cacaulândia	0	0	0	0
Cacoal	0	0	4	4
Campo Novo de Rondônia	0	0	1	1

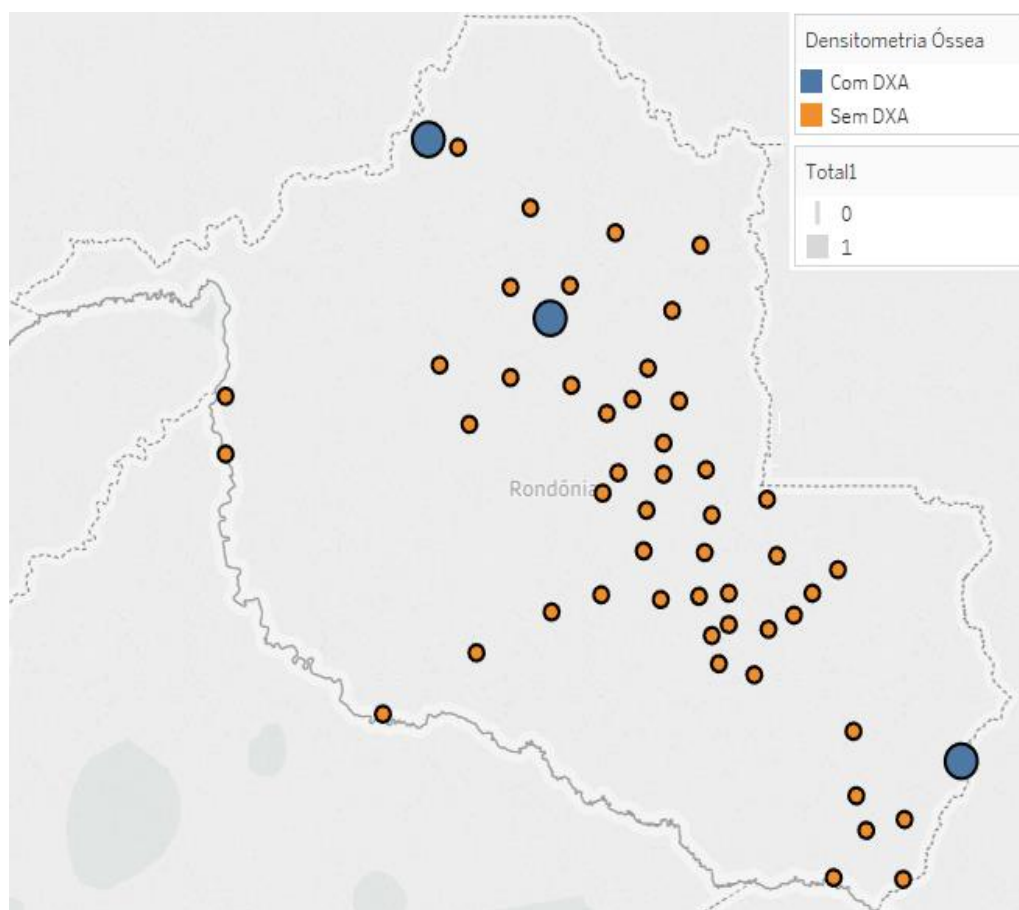
**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Candeias do Jamari	0	0	3	3
Castanheiras	0	0	0	0
Cerejeiras	0	0	1	1
Chupinguaia	0	0	0	0
Colorado do Oeste	0	0	1	1
Corumbiara	0	0	0	0
Costa Marques	0	0	1	1
Cujubim	0	0	2	2
Espigão d`Oeste	0	0	1	1
Governador Jorge Teixeira	0	0	1	0
Guajará-Mirim	0	0	2	2
Jaru	0	0	2	2
Ji-Paraná	0	0	2	1
Machadinho d`Oeste	0	0	1	1
Ministro Andreazza	0	0	1	1
Mirante da Serra	0	0	1	1
Monte Negro	0	0	2	2
Nova Brasilândia d`Oeste	0	0	1	1
Nova Mamoré	0	0	0	0
Nova União	0	0	1	1
Novo Horizonte do Oeste	0	0	1	0
Ouro Preto do Oeste	0	0	1	1
Parecis	0	0	0	0
Pimenta Bueno	0	0	1	1
Pimenteiras do Oeste	0	0	0	0
Porto Velho	1	1	39	34
Presidente Médici	0	0	1	1
Primavera de Rondônia	0	0	0	0
Rio Crespo	0	0	0	0
Rolim de Moura	0	0	2	2
Santa Luzia d`Oeste	0	0	1	1
São Felipe d`Oeste	0	0	0	0
São Francisco do Guaporé	0	0	2	2
São Miguel do Guaporé	0	0	1	1

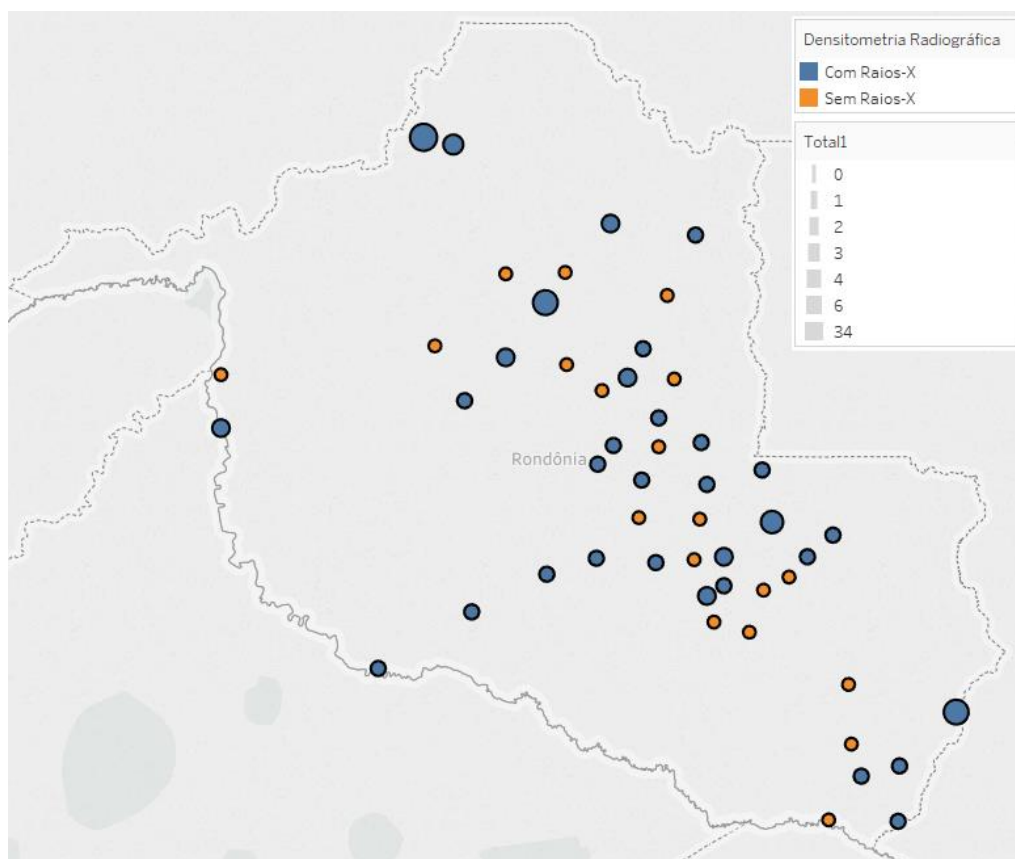
**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Seringueiras	0	0	1	1
Teixeirópolis	0	0	0	0
Theobroma	0	0	1	1
Urupá	0	0	1	1
Vale do Anari	0	0	0	0
Vale do Paraíso	0	0	1	0
Vilhena	1	1	6	6

Ao extrair os dados da Tabela 12 foi desenvolvido o mapa demográfico dos municípios do estado de Rondônia-RO, de acordo com a disponibilidade dos equipamentos, visando assim uma melhor compreensão dos locais exatos para a realização dos exames DXA (Figura 78) e raios-X (Figura 79) nessa região.



**Figura 78** – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado de Rondônia-RO.



**Figura 79** – Mapa demográfico do número de equipamento de raios-X no estado de Rondônia-RO.

Na Tabela 13 é apresentado os dados relativos aos equipamentos de DXA e Raios-X disponíveis para população do estado de Roraima-RR.

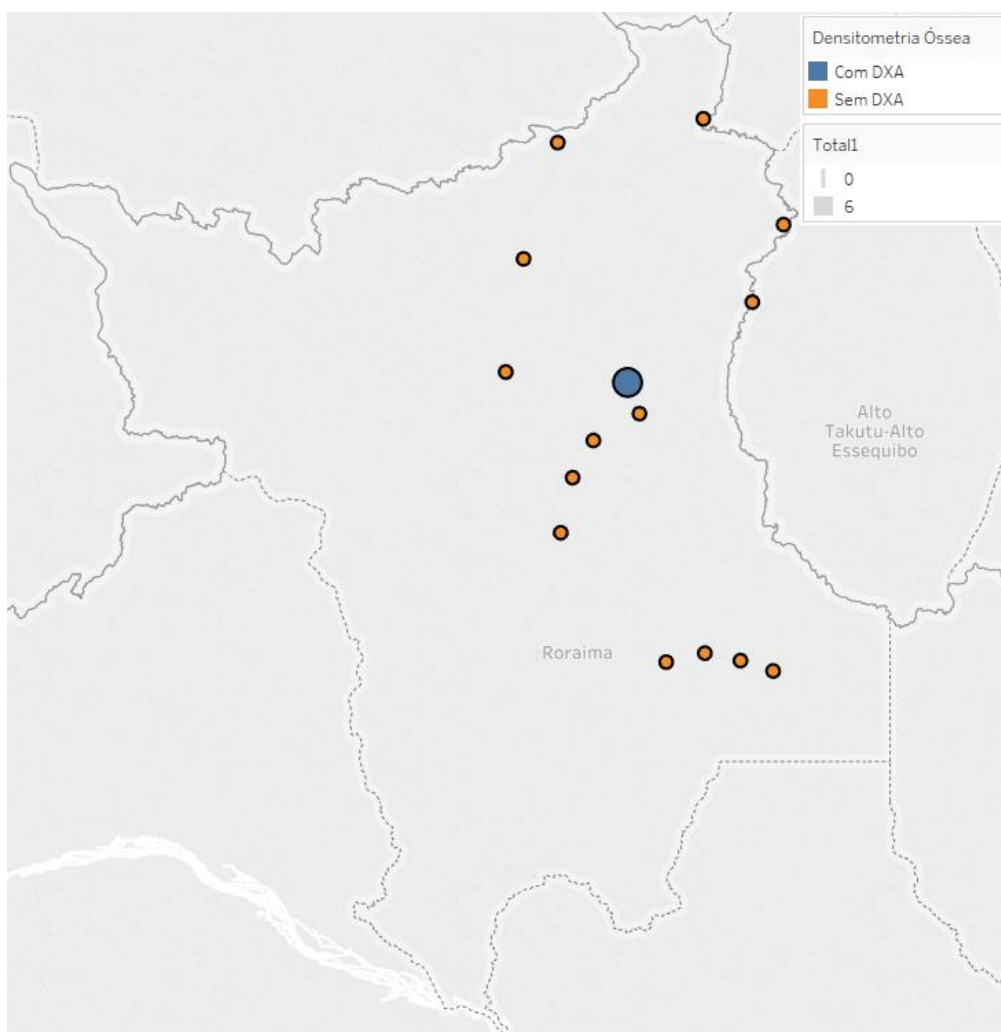
**Tabela 13** – Quantitativo de equipamentos DXA e raios-X presentes no estado de Roraima-RR.

Município	Roraima-RR			
	DXA		Raios-X	
	Quantidade	Em uso	Quantidade	Em uso
Alto Alegre	0	0	1	0
Amajari	0	0	0	0
Boa Vista	6	6	14	14
Bonfim	0	0	1	1
Cantá	0	0	0	0
Caracaraí	0	0	1	1
Caroebe	0	0	1	1
Iracema	0	0	0	0
Mucajaí	0	0	1	1
Normandia	0	0	1	1
Pacaraima	0	0	1	1

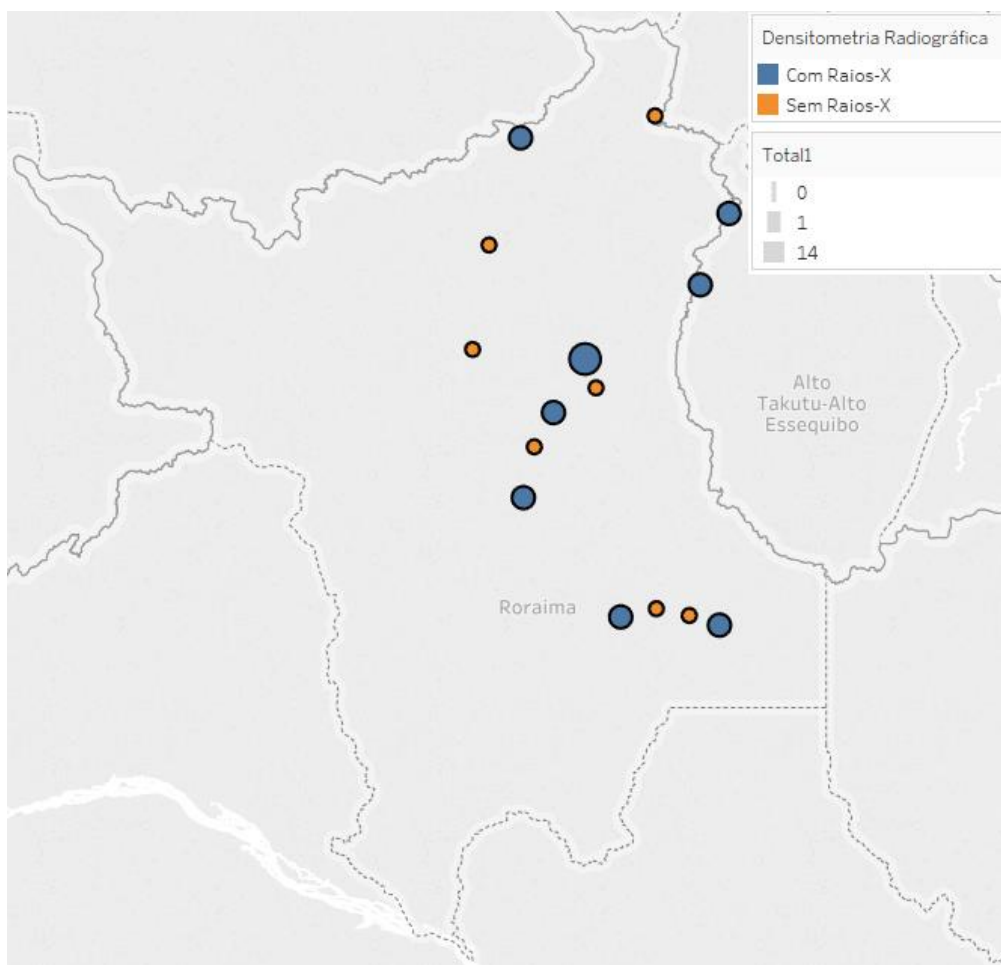
**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Rorainópolis	0	0	1	1
São João da Baliza	0	0	0	0
São Luiz	0	0	1	0
Uiramutã	0	0	0	0

Ao extrair os dados da Tabela 13 foi desenvolvido o mapa demográfico dos municípios do estado de Roraima-RR, de acordo com a disponibilidade dos equipamentos, visando assim uma melhor compreensão dos locais exatos para a realização dos exames DXA (Figura 80) e raios-X (Figura 81) nessa região.



**Figura 80** – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado de Roraima-RR.



**Figura 81** – Mapa demográfico do número de equipamento de raios-X no estado de Roraima-RR.

Na Tabela 14 é apresentado os dados relativos aos equipamentos de DXA e raios-X disponíveis para população do estado do Tocantins-TO.

**Tabela 14** – Quantitativo de equipamentos DXA e raios-X presentes no estado de Tocantins-TO.

Município	Tocantins-TO			
	DXA		Raios-X	
	Quantidade	Em uso	Quantidade	Em uso
Abreulândia	0	0	0	0
Aguiarnópolis	0	0	0	0
Aliança do Tocantins	0	0	0	0
Almas	0	0	0	0
Alvorada	0	0	1	0
Ananás	0	0	1	1

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Angico	0	0	0	0
Aparecida do Rio Negro			1	0
Aragominas	0	0	0	0
Araguacema	0	0	1	1
Araguaçu	0	0	1	1
Araguaína	2	2	24	24
Araguanã	0	0	0	0
Araguatins	0	0	1	1
Arapoema	0	0	2	0
Arraias	0	0	2	2
Augustinópolis	0	0	5	4
Aurora do Tocantins	0	0	0	0
Axixá do Tocantins	0	0	0	0
Babaçulândia	0	0	0	0
Bandeirantes do Tocantins	0	0	0	0
Barra do Ouro	0	0	0	0
Barrolândia	0	0	0	1
Bernardo Sayão	0	0	1	1
Bom Jesus do Tocantins	0	0	0	0
Brasilândia do Tocantins	0	0	0	0
Brejinho de Nazaré	0	0	0	0
Buriti do Tocantins	0	0	0	0
Cachoeirinha	0	0	0	0
Campos Lindos	0	0	0	0
Cariri do Tocantins	0	0	0	0
Carmolândia	0	0	0	0
Carrasco Bonito	0	0	0	0
Caseara	0	0	1	0
Centenário	0	0	0	0
Chapada da Natividade	0	0	0	0
Chapada de Areia	0	0	0	0
Colinas do Tocantins	0	0	1	1
Colméia	0	0	1	1
Combinado	0	0	1	1

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

---

Conceição do			0	0
Tocantins	0	0		
Couto de Magalhães	0	0	1	1
Cristalândia	0	0	1	1
Crixás do Tocantins	0	0	0	0
Darcinópolis	0	0	0	0
Dianópolis	0	0	3	3
Divinópolis do			1	1
Tocantins	0	0		
Dois Irmãos do			1	1
Tocantins	0	0		
Dueré	0	0	1	1
Esperantina	0	0	0	0
Fátima	0	0	0	0
Figueirópolis	0	0	0	0
Filadélfia	0	0	1	1
Formoso do Araguaia	0	0	1	1
Fortaleza do Tabocão	0	0	0	0
Goianorte	0	0	0	0
Goiatins	0	0	1	1
Guaraí	0	0	3	3
Gurupi	1	1	10	9
Ipueiras	0	0	0	0
Itacajá	0	0	1	1
Itaguatins	0	0	0	0
Itapiratins	0	0	0	0
Itaporã do Tocantins	0	0	0	0
Jaú do Tocantins	0	0	0	0
Juarina	0	0	0	0
Lagoa da Confusão	0	0	1	1
Lagoa do Tocantins	0	0	0	0
Lajeado	0	0	0	0
Lavandeira	0	0	0	0
Lizarda	0	0	0	0
Luzinópolis	0	0	0	0
Marianópolis do			1	1
Tocantins	0	0		
Mateiros	0	0	0	0
Maurilândia do			0	0
Tocantins	0	0		

**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Miracema do			2	2
Tocantins	0	0		
Miranorte	0	0	1	1
Monte do Carmo	0	0	1	0
Monte Santo do			0	0
Tocantins	0	0		
Muricilândia	0	0	0	0
Natividade	0	0	1	1
Nazaré	0	0	1	1
Nova Olinda	0	0	1	1
Nova Rosalândia	0	0	1	1
Novo Acordo	0	0	1	1
Novo Alegre	0	0	1	1
Novo Jardim	0	0	0	0
Oliveira de Fátima	0	0	0	0
Palmas	3	3	24	24
Palmeirante	0	0	0	0
Palmeiras do			0	0
Tocantins	0	0		
Palmeirópolis	0	0	1	1
Paraíso do Tocantins	0	0	3	3
Paraná	0	0	3	1
Pau d`Arco	0	0	0	0
Pedro Afonso	0	0	2	1
Peixe	0	0	2	2
Pequizeiro	0	0	0	0
Pindorama do			2	2
Tocantins	0	0		
Piraquê	0	0	0	0
Pium	0	0	2	2
Ponte Alta do Bom			1	0
Jesus	0	0		
Ponte Alta do			1	1
Tocantins	0	0		
Porto Alegre do			0	0
Tocantins	0	0		
Porto Nacional	1	1	8	8
Praia Norte	0	0	0	0
Presidente Kennedy	0	0	1	1
Pugmil	0	0	0	0

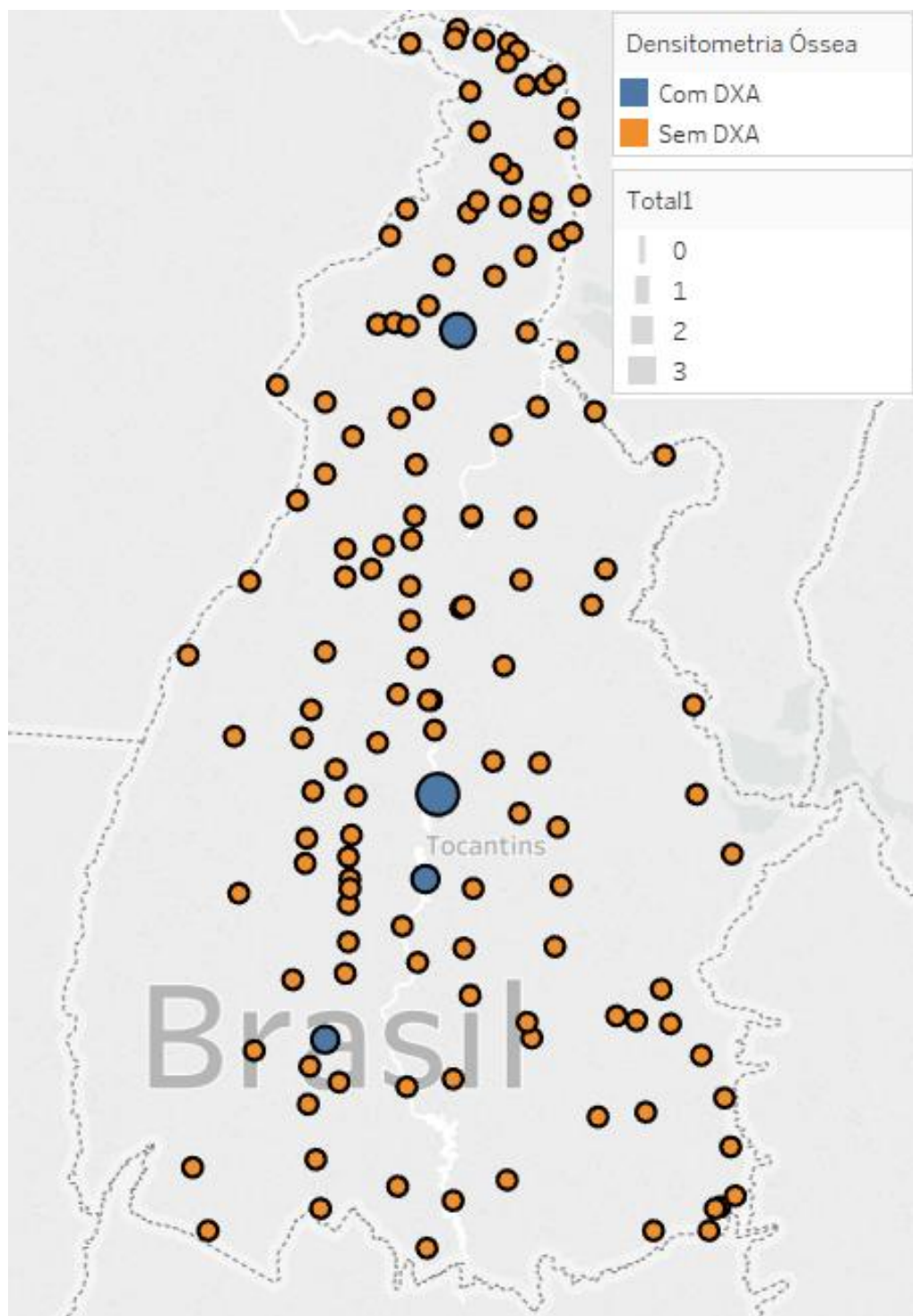
**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Recursolândia	0	0	0	0
Riachinho	0	0	0	0
Rio da Conceição	0	0	0	0
Rio dos Bois	0	0	0	0
Rio Sono	0	0	1	1
Sampaio	0	0	0	0
Sandolândia	0	0	0	0
Santa Fé do Araguaia	0	0	0	0
Santa Maria do Tocantins	0	0	0	0
Santa Rita do Tocantins	0	0	0	0
Santa Rosa do Tocantins	0	0	0	0
Santa Tereza do Tocantins	0	0	0	0
Santa Terezinha do Tocantins	0	0	0	0
São Bento do Tocantins	0	0	0	0
São Félix do Tocantins	0	0	0	0
São Miguel do Tocantins	0	0	0	0
São Salvador do Tocantins	0	0	0	0
São Sebastião do Tocantins	0	0	0	0
São Valério da Natividade	0	0	2	2
Silvanópolis	0	0	1	1
Sítio Novo do Tocantins	0	0	1	1
Sucupira	0	0	0	0
Taguatinga	0	0	1	1
Taipas do Tocantins	0	0	0	0
Talismã	0	0	0	0
Tocantínia	0	0	0	0
Tocantinópolis	0	0	2	2
Tupirama	0	0	0	0
Tupiratins	0	0	0	0

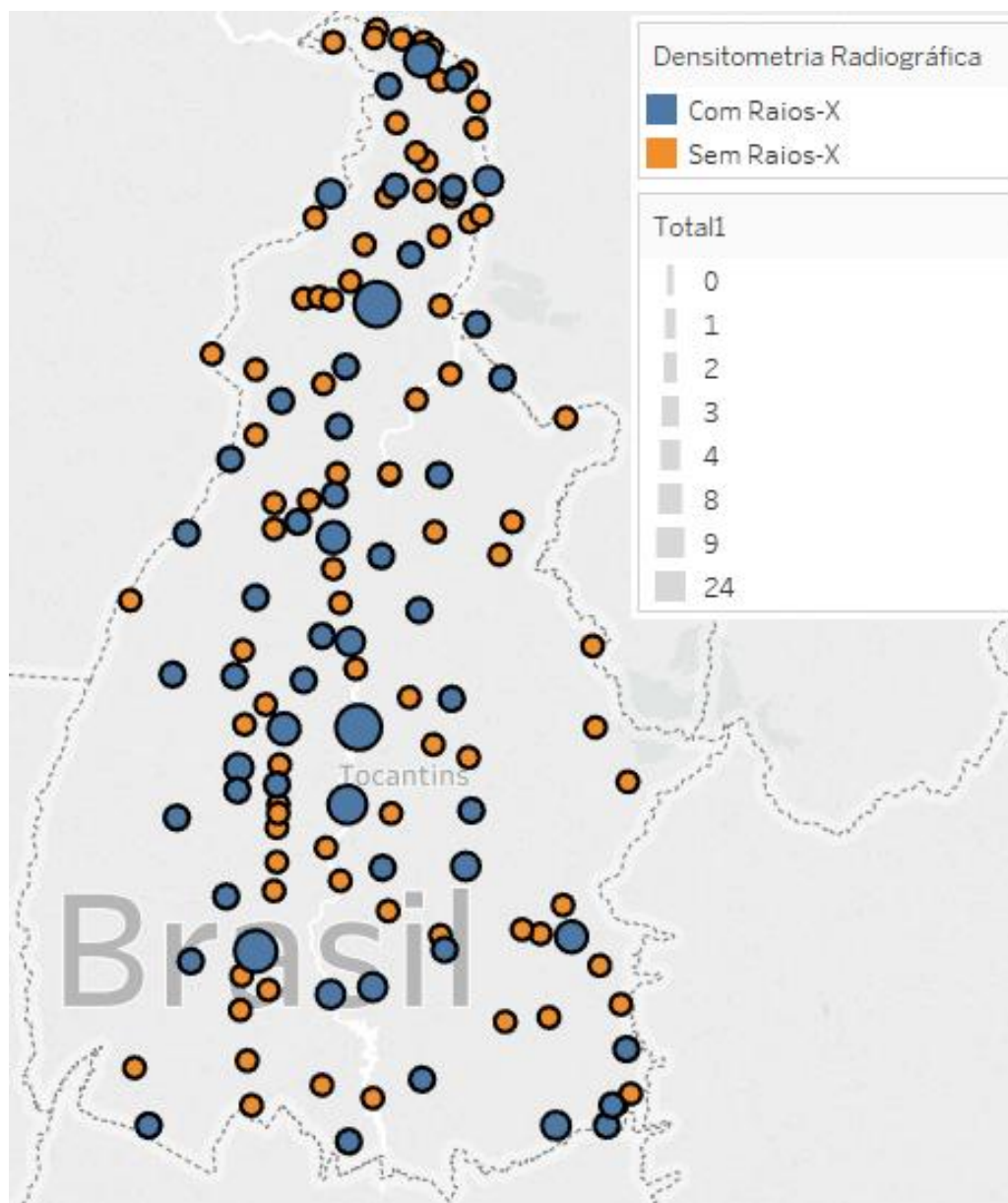
**Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica.**

Wanderlândia	0	0	1	1
Xambioá	0	0	2	2

Ao extrair os dados da Tabela 14 foi desenvolvido o mapa demográfico dos municípios do estado do Tocantins-TO, de acordo com a disponibilidade dos equipamentos, visando assim uma melhor compreensão dos locais exatos para a realização dos exames DXA (Figura 82) e raios-X (Figura 83) nessa região.



**Figura 82** – Mapa demográfico do número de equipamento de DXA no estado do Tocantins-TO.

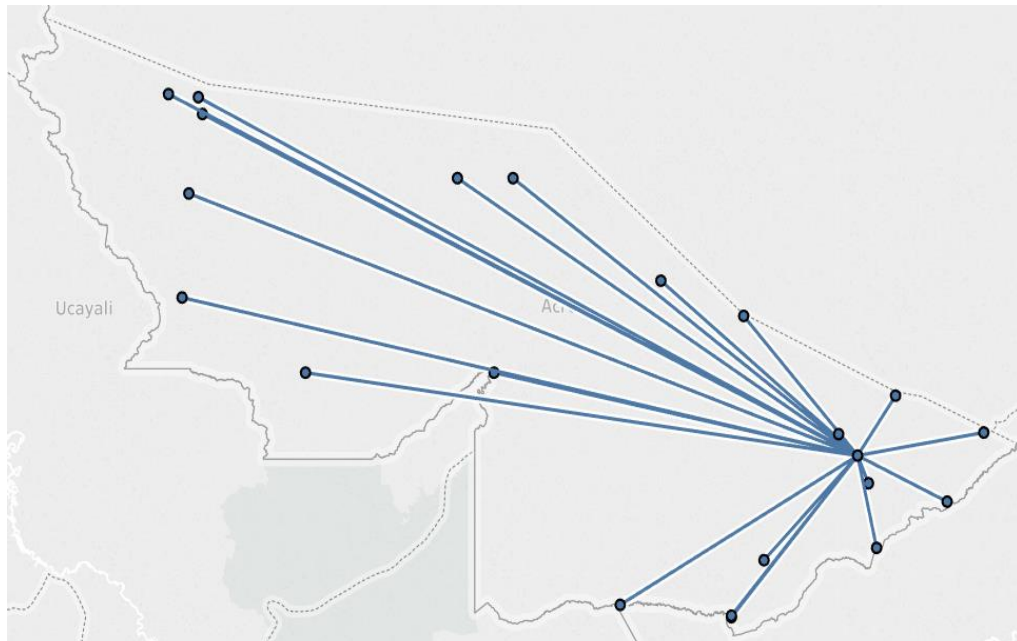


**Figura 83** – Mapa demográfico do número de equipamento de raios-X no estado do Tocantins-TO.

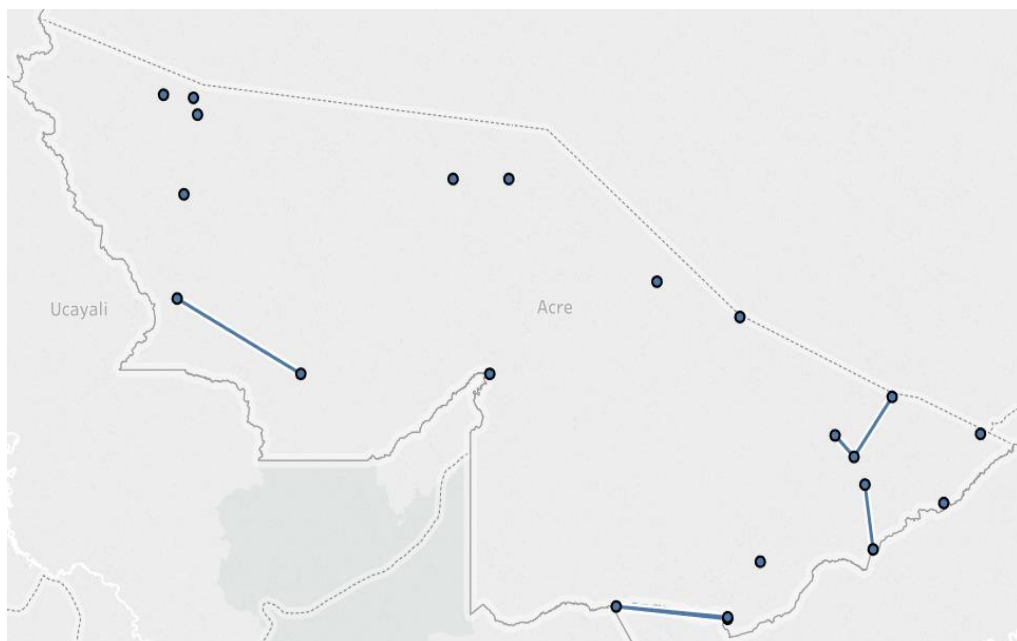
### 5.7. Resultado da análise da movimentação de pessoas para a realização do exame de densidade óssea (DXA) e raios-X.

A análise de movimentação por rede de grafos permitiu observar o deslocamento das pessoas em cada estado da região norte para a realização dos exames de densitometria óssea e raios-X. A Figura 84 representa o deslocamento populacional para a realização dos exames de densitometria óssea (DXA) no estado do Acre-AC, que dispõe somente de um equipamento de densitometria. Já a Figura 85 projeta uma perspectiva do deslocamento populacional para

realização do exame de densitometria radiográfica por meio do raio-X no estado do Acre-AC, mostrando uma redução na movimentação dos pacientes para realização do exame, uma vez que o deslocamento ocorre em seis municípios (que não dispõe de equipamentos de raios-X).

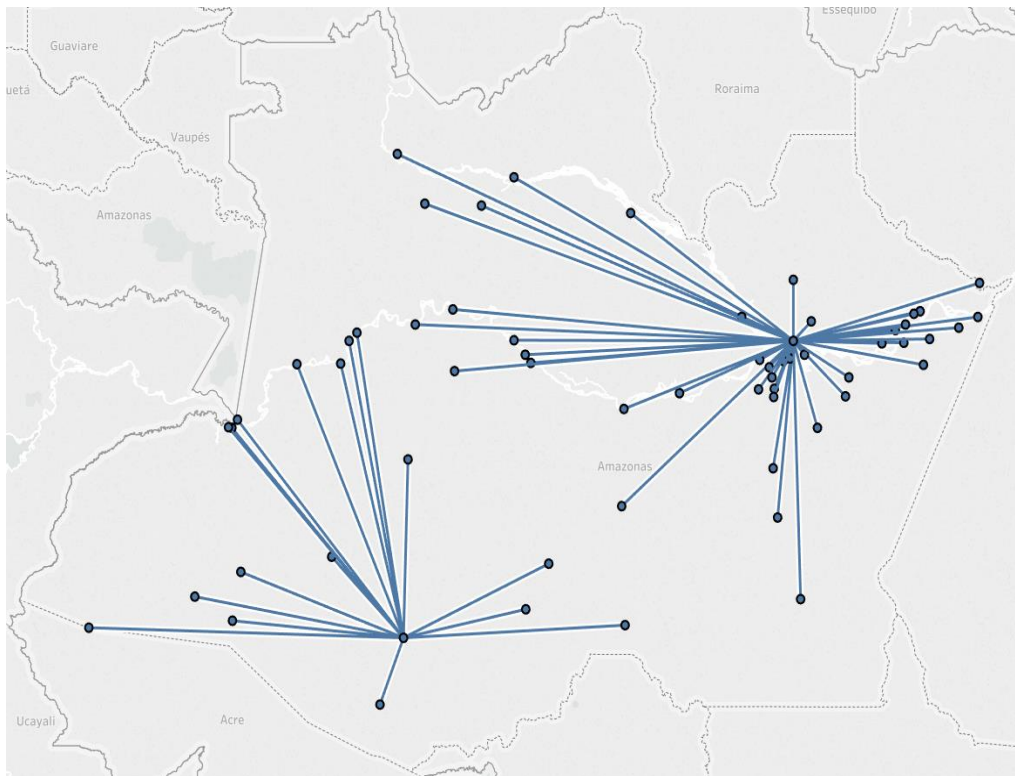


**Figura 84** – Análise de redes de grafos para realização do exame de densitometria óssea (DXA) no estado do Acre-AC.



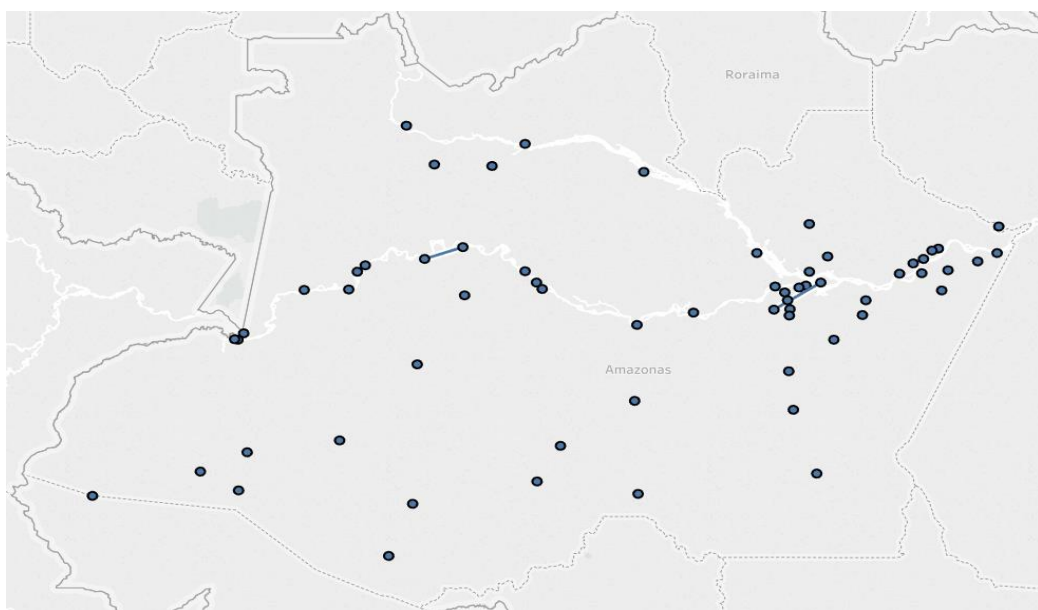
**Figura 85** – Análise de redes de grafos para realização de exames de densitometria radiográfica (raios-X) no estado do Acre-AC.

Somente dois municípios do estado do Amazonas-AM possuem o equipamento de densitometria óssea (DXA). Na Figura 86 é apresentada a rede de movimentação de pessoas para realização do DXA nessa região.



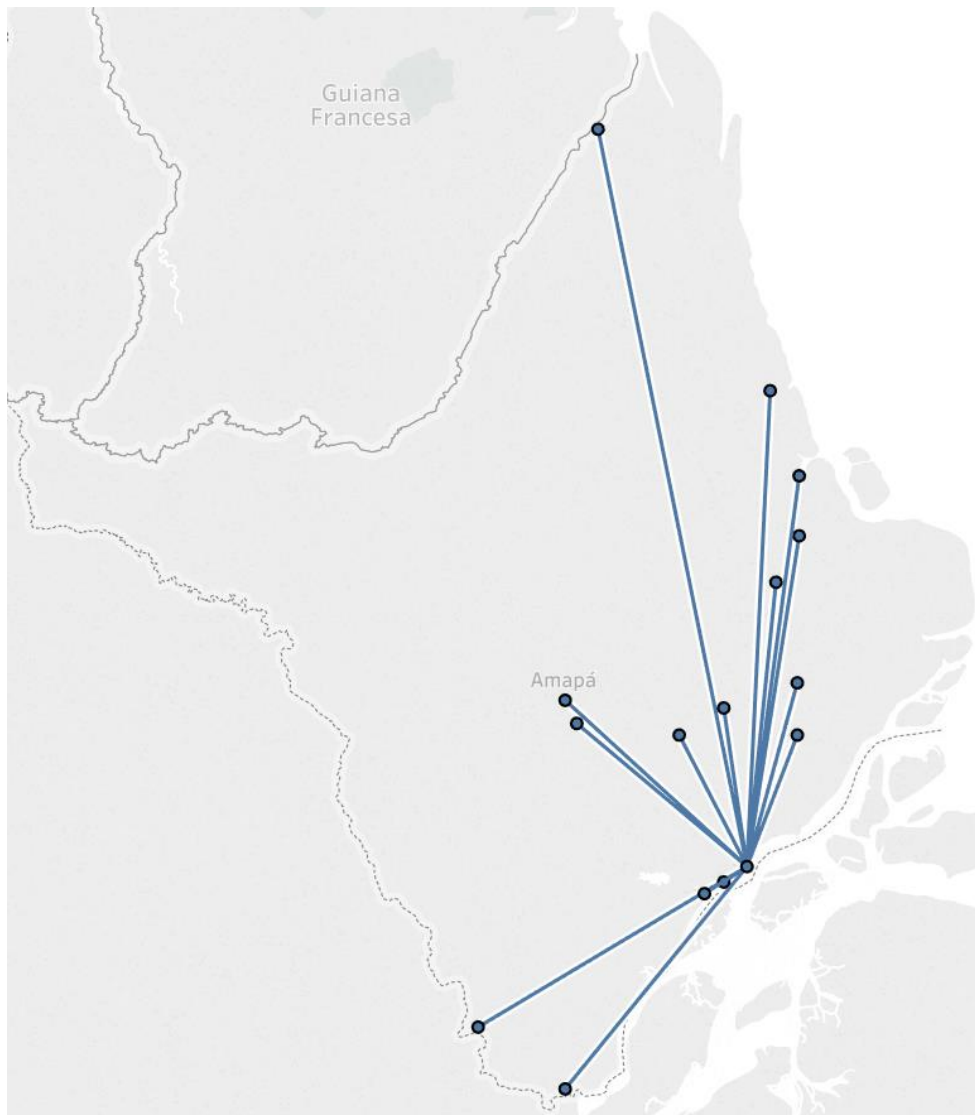
**Figura 86** – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria óssea (DXA) no estado do Amazonas-AM.

Já a Figura 87 projeta uma perspectiva do deslocamento populacional para realização do exame de densitometria radiográfica por meio do raio-X no estado do Amazonas-AM, mostrando uma redução na movimentação dos pacientes para realização do exame, uma vez que o deslocamento ocorre em apenas dois municípios (que não dispõe de equipamentos de raios-X).



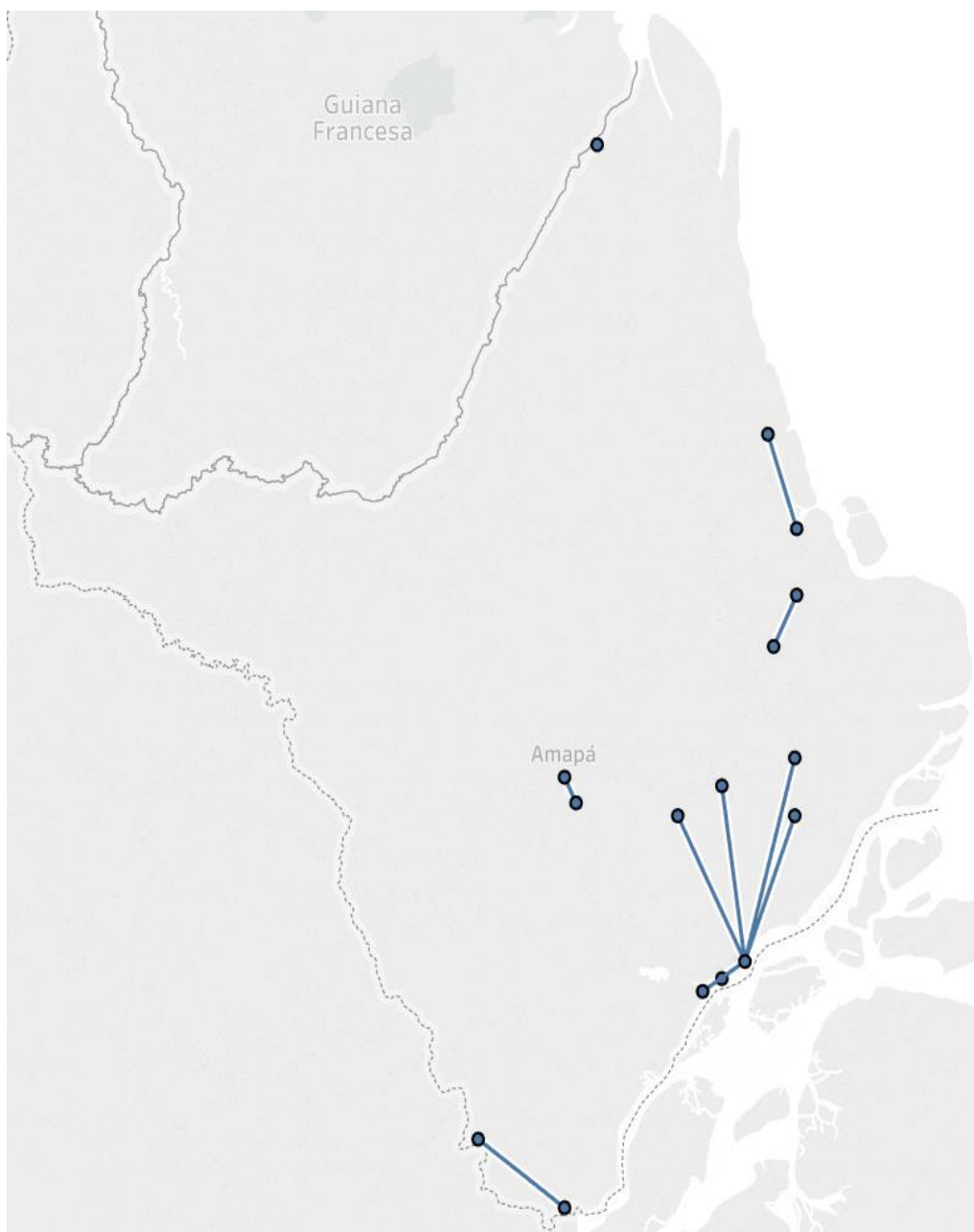
**Figura 87** – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria radiográfica (raios-X) no estado do Amazonas-AM.

Somente um município do estado do Amapá-AP possui o equipamento de densitometria óssea (DXA). Na Figura 88 é apresentada a rede de movimentação de pessoas para realização do DXA nessa região



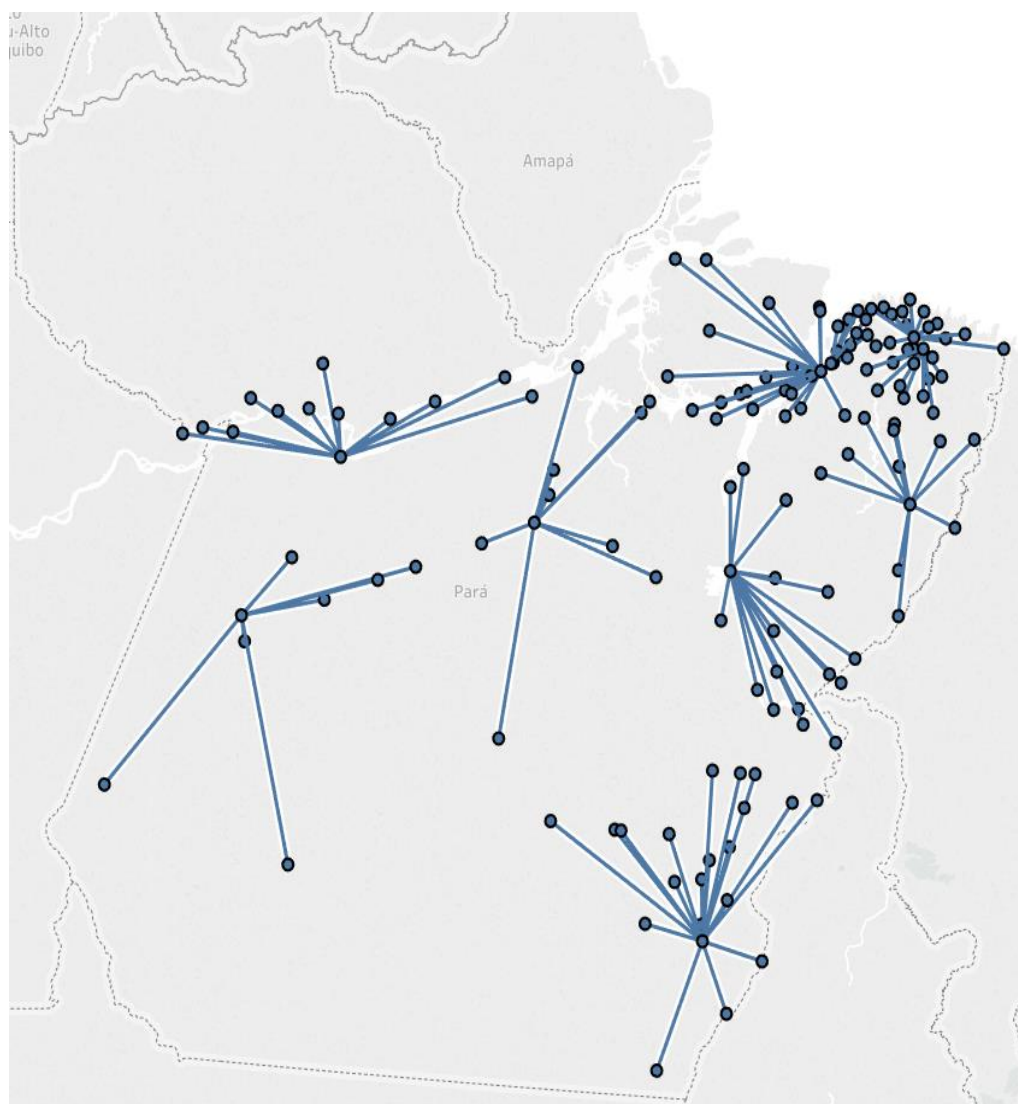
**Figura 88** – Análise de redes de grafos para realização de exames de densitometria óssea (DXA) no estado do Amapá-AP.

Já a Figura 89 projeta uma perspectiva do deslocamento populacional para realização do exame de densitometria radiográfica por meio do raio-X no estado do Amapá-AP, mostrando uma redução na movimentação dos pacientes para realização do exame, uma vez que o deslocamento ocorre em apenas nove municípios (que não dispõem de equipamentos de raios-X).

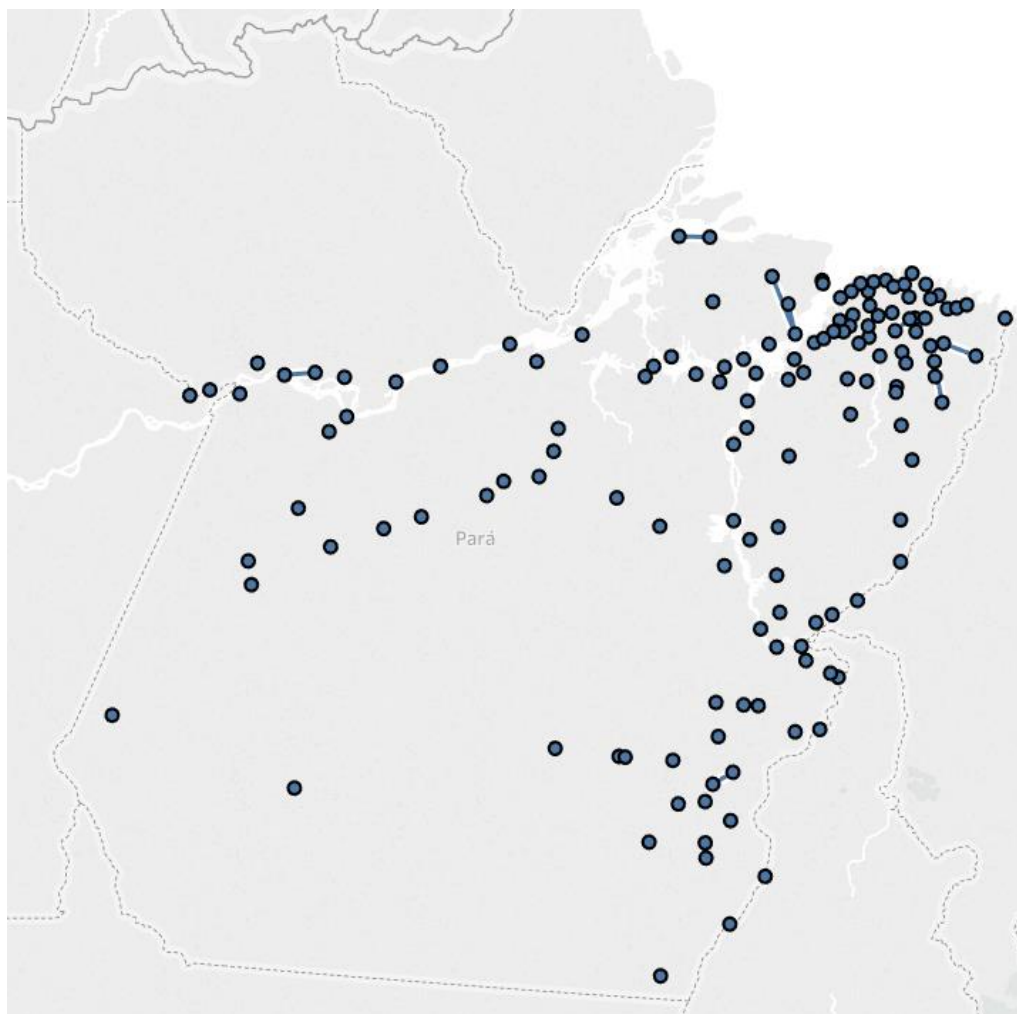


**Figura 89** – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria radiográfica (raios-X) no estado do Amapá-AP.

Na Figura 90 é apresentada a movimentação de pessoas para a realização do exame de densitometria óssea (DXA) no estado do Pará-PA, que dispõe de dez equipamento de densitometria. Já a Figura 91 projeta uma perspectiva do deslocamento populacional para realização do exame de densitometria radiográfica por meio do raio-X no estado do Pará-PA, mostrando uma redução na movimentação dos pacientes para realização do exame, uma vez que o deslocamento ocorre em vinte e um municípios (que não dispõe de equipamentos de raios-X).

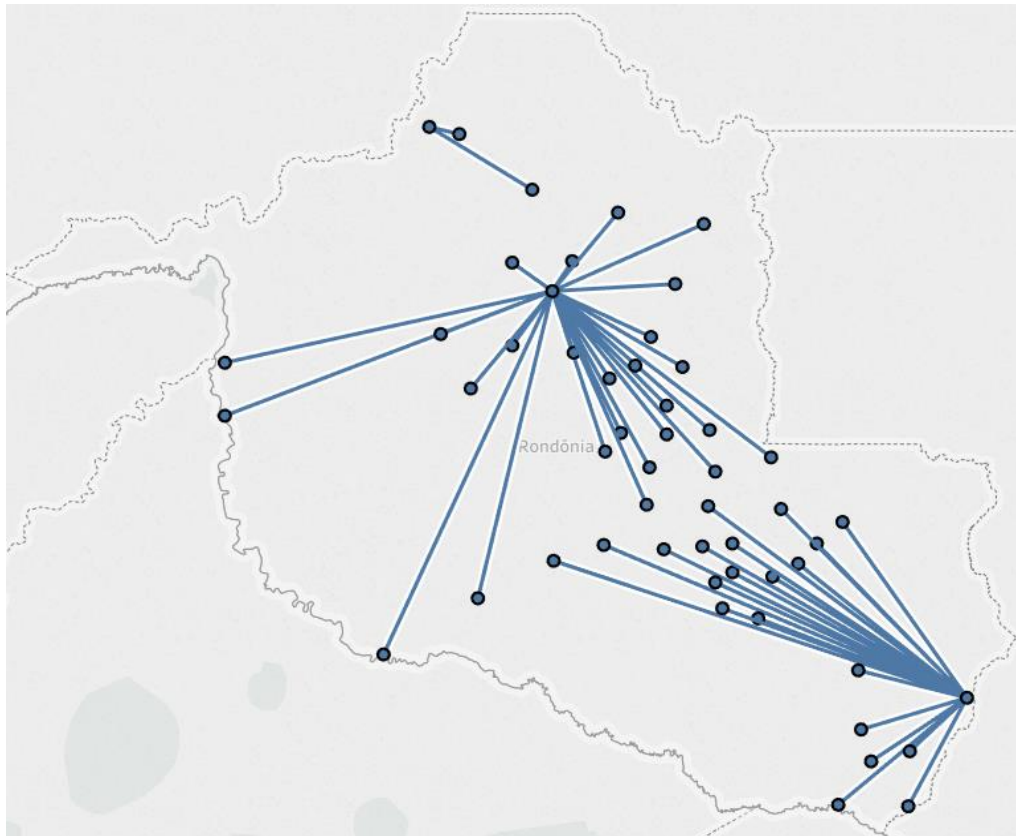


**Figura 90** – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria óssea (DXA) no estado do Pará-PA.

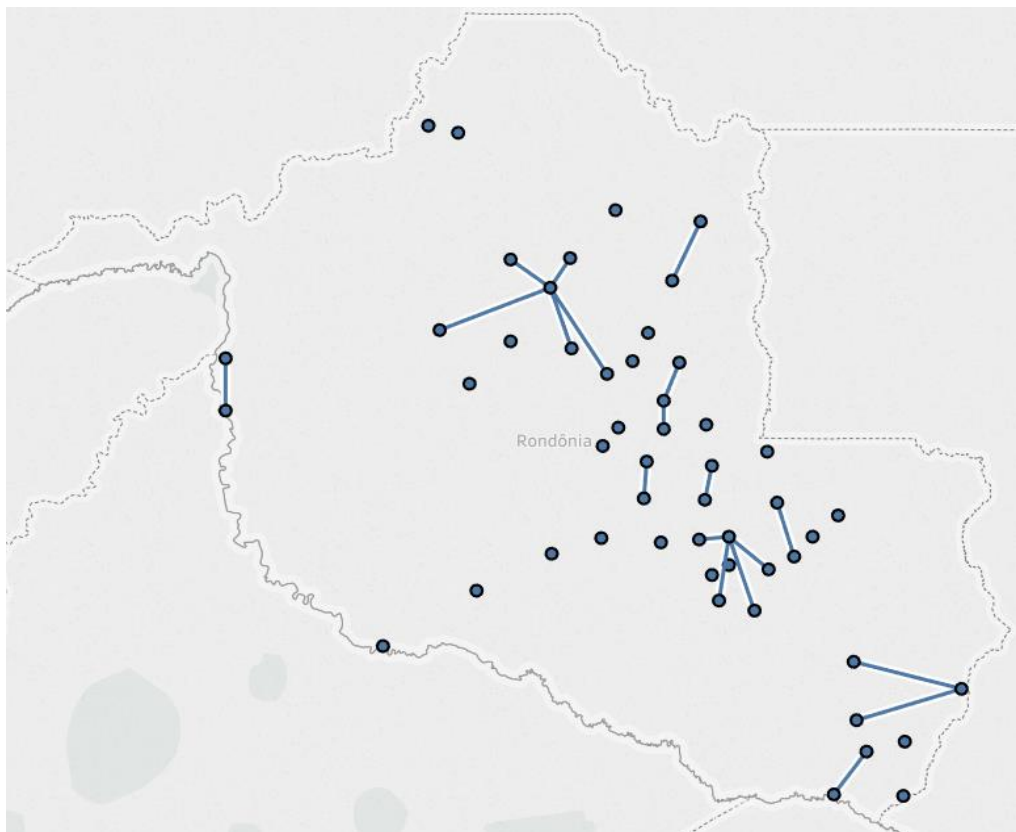


**Figura 91** – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria radiográfica (Raio-X) no estado do Pará-PA.

Na Figura 92 é apresentada a movimentação de pessoas para a realização do exame de densitometria óssea (DXA) no estado de Rondônia-RO, que dispõe somente de três equipamentos de densitometria. Já a Figura 93 projeta uma perspectiva do deslocamento populacional para realização do exame de densitometria radiográfica por meio do raio-X no estado do Rôndonia-RO, mostrando uma redução na movimentação dos pacientes para realização do exame, uma vez que o deslocamento ocorre em dezenove municípios (que não dispõe de equipamentos de raios-X).

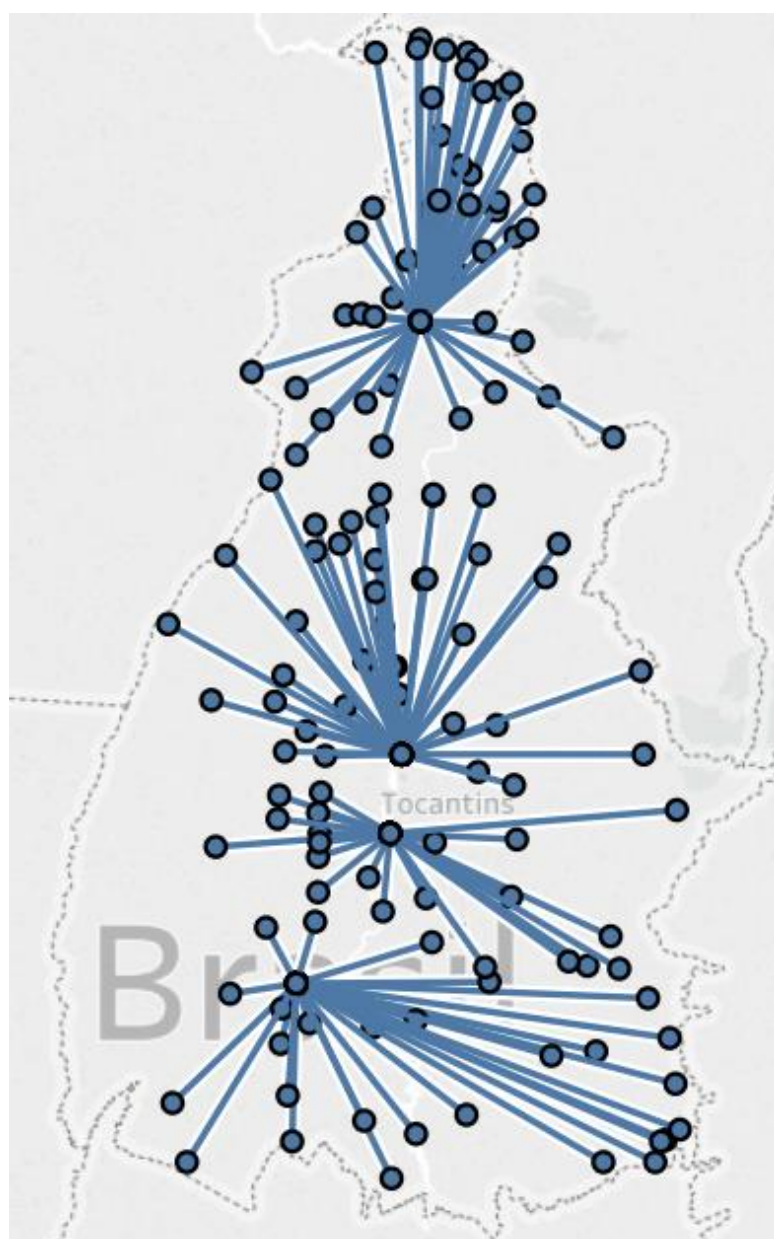


**Figura 92** – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria óssea (DXA) no estado de Rondônia-RO.

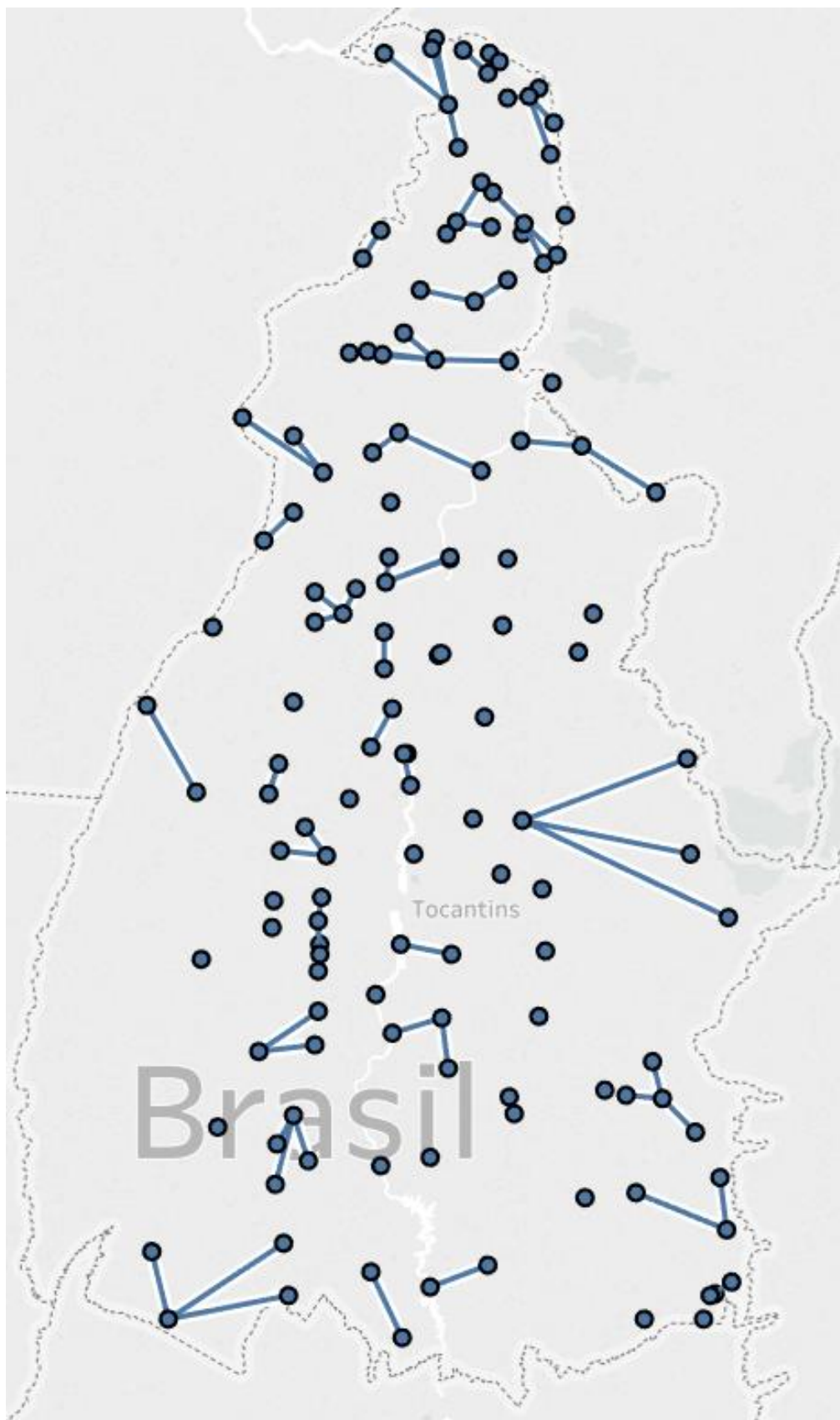


**Figura 93** – Análise de redes de grafos para realização de exames de densitometria radiográfica (raios-X) no estado de Rondônia-RO.

Na Figura 94 é apresentada a movimentação de pessoas para a realização do exame de densitometria óssea (DXA) no estado de Tocantins-TO, que dispõe somente de quatro equipamentos de densitometria. Já na Figura 95 projeta uma perspectiva do deslocamento populacional para realização do exame de densitometria radiográfica por meio do raio-X no estado do Acre-AC, mostrando uma redução na movimentação dos pacientes para realização do exame, uma vez que o deslocamento ocorre em oitenta e seis municípios (que não dispõe de equipamentos de raios-X).



**Figura 94** – Análise de redes de grafos para realização de exame de densitometria óssea (DXA) no estado do Tocantins-TO.



**Figura 95** – Análise de redes de grafos para realização de exames de densitometria radiográfica (raios-X) no estado do Tocantins-TO.

## **5.8. Resumo do capítulo**

O capítulo apresenta os resultados de densidade radiográfica expressa em milímetros de alumínio das 36 radiografias (um artefato densitométrico e três objetos de estudo) com sua espessura média, desvio padrão, coeficiente de variância e erro experimental.

A variabilidade da variância residual apresentou uma tendência de ajuste de curva polinomial de 5º ordem nas 36 radiografias. Já a aplicação de filtro de cores permitiu observar as características de absorção dos raios-X nas radiográficas.

O estudo quantitativo de equipamentos DXA e raio-X permitiu observar a distribuição dos equipamentos nos estados da região norte, bem como o deslocamento populacional necessário para realização de cada exame, por meio da análise de redes de movimentação.

Já no CAPÍTULO VI – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS é apresentada a discussão dos resultados obtidos. E por fim no CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES são abordadas as considerações finais, os contributos do trabalho, limitações do trabalho, trabalho futuro e recomendações.

## CAPÍTULO VI – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Segundo (Pereira, 2013b) a discussão pode ser considerado “*O local do artigo que abriga os comentários sobre o significado dos resultados, a comparação com outros achados de pesquisas e a posição do autor sobre o assunto*”

### 6. Introdução

Neste capítulo serão discutidos os resultados obtidos da análise de densidade radiográfica em milímetros de alumínio das amostras ósseas, da análise da curva de ajuste polinomial do artefato densitométrico, da aplicação do filtro de cores para verificação das características de absorção dos raios-X nos ensaios radiográficos, do erro estimado entre a média computacional de altura em milímetros de alumínio e a altura apurada pelo paquímetro, dos dados obtidos da variabilidade de variância residual, além de discutir os dados demográficos a partir do número de equipamentos de mensuração de densidade óssea (DXA) e aparelhos de raios-X disponíveis no Sistema Único de Saúde na região norte do Brasil. Por fim o deslocamento necessário para a realização do exame (DXA) e uma projeção da aplicabilidade desta proposta por meio da análise de redes de grafos, onde o deslocamento ocorreria em função da localização dos aparelhos de raios-X.

Os tópicos de interesse deste capítulo estão divididos em:

- ❖ Seção Discussão dos resultados obtidos;
- ❖ Seção Densidade Radiográfica;
- ❖ Seção Variabilidade de variância residual;
- ❖ Seção Ajuste de curva polinomial;
- ❖ Seção Absorção de raios-x por meio de filtro de cores;
- ❖ Seção Resultado da análise da movimentação de pessoas para a realização do exame de densidade óssea (DXA) e raios-X.;

## 6.1. Discussão dos resultados obtidos

### 6.1.0. Densidade Radiográfica

A utilização da técnica de densitometria radiográfica permite, a partir de uma escala de referência confeccionada em material inerte (ex: alumínio), que se obtenha resultados de altura em milímetros de alumínio (Martin, Papamichos & Dannucci, 1990) (Meakim et al., 1981) (Plotnick, Beresin & Simkins, 1970) (Rahal et al., 2002) (Seo et al., 1994) (Trouerbach et al., 1984) (Yang et al., 1994).

Os resultados obtidos de densidade radiográfica em milímetros de alumínio apresentados nas Tabela 4 e Tabela 5, demonstraram grande capacidade de exatidão e precisão do algoritmo de seleção polinomial, principalmente ao processar os blocos ósseos 1, 2, 4 e 5. Entretanto observa-se que nas amostras ósseas de baixa densidade, como os blocos 3 e 6, há exatidão, porém, baixa precisão. Um dos fatores relacionado à essa baixa precisão pode ser o tamanho da amostra (Braillon et al., 1998) e a configuração do equipamento radiológico (Klemetti et al., 1993).

(Braillon et al., 1998) analisaram a precisão do DXA, na mensuração do conteúdo mineral ósseo do esqueleto humano, evidenciando a sua importância para determinar os limites de mensuração da densidade óssea. Os autores utilizaram medicamentos solidificados (Ossopan® e Orocal® nas medidas: 129 mg e 500 mg de cálcio respectivamente) incorporados em um bloco acrílico com espessura média de 2,5 cm. Por meio de software específico foi realizada a análise das amostras utilizadas em exames de recém-nascidos, que resultaram em uma precisão de 28,5%. Observou-se que os valores superiores a 3.550g ofereceram uma precisão média de 1,83%, ou seja, quanto menor o objeto a ser analisado, menor será a precisão do DXA na mensuração da densidade mineral óssea, corroborando com os resultados de baixa precisão encontrados no presente estudo.

(Klemetti et al., 1993) relataram que a configuração do equipamento radiológico (posicionamento do objeto a ser radiografado, tempo de exposição ou kVp) pode ser fator decisivo na qualidade do exame radiográfico. Semelhantemente, Kinds et al. (2011) avaliaram os efeitos da configuração da quilovoltagem em tomadas radiográficas digitais. Foram observadas diferenças nas funções (44kV  $g = 24,4 + 19,0w - 0,6w^2 + 0,006w^3$ ; 55kV  $g = 30,6 + 15,2w - 0,4w^2 + 0,004w^3$ ; 66kV  $g = 30,3 + 12,5w - 0,3w^2 + 0,003w^3$ ) para projeção da curva característica entre tons de cinza e os degraus da escada de alumínio. Possivelmente a baixa precisão deve-se ao fato de ambos os blocos estarem posicionados próximo ao ponto zero do referencial densitométrico.

As figuras Figura 58 e Figura 59, demonstram a baixa precisão das amostras entre a medição pelo algoritmo e a medição realizada pelo paquímetro, corroborando com os estudos mencionados anteriormente. Oliveira, (2014) desenvolveu um software para mensurar a altura em milímetros de alumínio, utilizando a função polinomial de 3ª ordem em um objeto de estudo confeccionado em alumínio. Ao projetar o gráfico de dispersão de cinco degraus de uma escada de alumínio (objeto de estudo), observou-se que os degraus inferiores possuíam baixa precisão em relação aos outros degraus da escada de alumínio.

### **6.1.1. Variabilidade de variância residual**

A variância residual é um parâmetro numérico capaz de realizar a seleção da função de ajuste polinomial a partir de sua variabilidade. Neste estudo os resultados apresentados nas tabelas Tabela 6 e Tabela 7 demonstram uma diminuição gradativa dos valores de variância entre os polinômios de ordem dois para três; três para quatro e quatro para cinco, sem demonstrar qualquer variabilidade (aumento gradativo), apenas decrementando os valores de variância e realizando corretamente a seleção do polinômio. Em consonância, (Filho, 2007) utilizou os dados populacionais fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, para apurar os valores de variância residual. O autor observou um aumento da variância residual, entre a terceira e quarta ordem

polinomial, determinando assim que o polinômio adequado para o ajuste de curva é o de terceira ordem.

### **6.1.2. Ajuste de curva polinomial**

O modelo estatístico da análise de regressão é utilizado para verificar a correlação entre duas variáveis. A análise de regressão obtida por meio do ajuste de curva permite mensurar a correlação entre a altura em milímetros do referencial densitométrico e a sua densidade radiográfica (tons de cinza), possibilitando o cálculo de altura em milímetros de alumínio do objeto de estudo. Nos Gráfico 11 a Gráfico 46 é projetada a curva característica dos 36 referenciais densitométricos presentes nas tomadas radiográficas analisadas, obtendo-se o resultado médio do coeficiente de determinação  $r^2$  de 0,9986; demonstrando assim uma forte correlação não linear positiva entre as variáveis. Corroborando com os resultados citados, (Oliveira, 2014) analisou uma escada de alumínio como objeto de estudo, observando que o valor do coeficiente de determinação  $r^2$  foi de 0,9989.

### **6.1.3. Absorção de raios-x por meio de filtro de cores**

(Lerch *et al.*, 2017) utilizaram o filtro de cores *lookup tables* do software ImageJ para visualizar o aumento do estresse em neurônios DRG (dorsal root ganglion). (Bassett *et al.*, 2012) aplicou esta mesma técnica para converter imagens radiográficas monocromática óssea de roedores em imagem coloridas.

O filtro de cores disponibilizado pelo software ImageJ permitiu observar as características de absorção dos raios-X do referencial densitométrico e das amostras ósseas presentes nas tomadas radiográficas. Nas 18 radiografias iniciais analisadas, o bloco 1 apresentou características de absorção semelhante em 10 dessas tomadas radiográficas. Já o bloco 2 apresentou características de absorção semelhante em 15 tomadas radiográficas processados e o bloco 3 apresentou características absorção de semelhante em 11 blocos processados.

As demais radiografias processadas (blocos 4, 5 e 6) apresentaram características de absorção semelhante em todos os blocos processados, possivelmente por serem blocos de baixa altura.

#### **6.1.4. Quantitativos de equipamentos DXA, raios-X e análise de redes.**

Os sete estados da região norte do Brasil possuem ao menos um aparelho DXA cada. A figura 70 apresenta o mapa do estado do Acre-AC com a distribuição de equipamentos DXA, apresentando indisponibilidade de equipamento de densitometria óssea, para cobrir a demanda de vinte dois municípios. Já o estado do Amapá (Figura 72) possui uma disponibilidade de dois equipamentos de densitometria óssea para dezesseis municípios. No estado do Amazonas (Figura 74) a situação é ainda mais complicada, com uma disponibilidade de dois equipamentos de densitometria para sessenta e dois municípios. O Pará (Figura 76) é o estado que contempla o maior número de equipamentos de densitometria, com aproximadamente dezenove equipamentos para cento e quarenta e três municípios. Rondônia (Figura 78) com uma disponibilidade três equipamentos de densitometria para cinquenta e um municípios. Roraima (Figura 80) há disponibilidade de seis equipamentos de densitometria para quinze municípios. A situação do estado do Tocantins (Figura 82) é a mais complicada devido ao número limitado de equipamento disponíveis, havendo sete DXA para cento e trinta e nove municípios.

Por outro lado, o quantitativo de equipamentos de raios-X presentes na região norte é superior ao número de aparelhos de densitometria óssea, sendo o número de equipamentos de raios-X superior ao número de municípios de cada estado, exceto o estado do Tocantins. No Acre (Figura 71), por exemplo há vinte e oito equipamentos disponíveis para vinte e dois municípios. No estado do Amapá (Figura 73) há vinte e três equipamentos disponíveis para dezesseis municípios. Já no Amazonas (Figura 75) há cento e oitenta equipamentos para sessenta e dois municípios. No Pará (Figura 77) há trezentos e sessenta e um equipamentos para cento e quarenta e três municípios. Rondônia (Figura 79) possui aproximadamente oitenta e sete aparelhos de raios-X para atender cinquenta e

um municípios. No estado de Roraima (Figura 81) há uma disponibilidade de vinte e um equipamentos de raios-x para atender quinze municípios. O único estado que possui um número menor de equipamentos de raios-X em relação ao número total de município, é o Tocantins (Figura 83), com cento e trinta e um equipamentos para cento e trinta e nove municípios.

A região norte foi selecionada para o presente estudo devido às suas condições socioeconômicas e ampla extensão territorial, o que dificulta a realização de exames de alta complexidade, como o DXA. Observou-se que há uma maior proporção equipamentos raios-X/município do que equipamentos DXA/município, evidenciando assim a necessidade de ampliação da execução do exame de densitometria óssea por meio de técnicas que permitam uma maior abrangência por meio dos equipamentos de raios-X disponíveis. Outro importante indicador é a movimentação dos habitantes até os municípios que dispõe de equipamentos para mensuração de densidade óssea. Uma vez que há um maior número de equipamento de raios-X, bem como uma melhor distribuição desses, o deslocamento necessário empregando-se a técnica proposta neste estudo o deslocamento seria extremamente reduzido em relação ao que ocorre no cenário atual, otimizando a realização do exame.

## **6.2. Resumo do capítulo**

Neste capítulo, foi realizada uma análise crítica dos valores obtidos de densidade radiográfica em milímetros de alumínio, abrangendo a exatidão e precisão das amostras ósseas presentes nas tomadas radiográficas, absorção dos raios-x, bem como os limites da mensuração óssea e as configurações do equipamento radiológico.

Já no tópico variabilidade de variância residual foram explanados sobre os resultados obtidos, além de estudo semelhante que houve o emprego da variância residual como seletor polinomial para cálculo de ajuste de curva.

No item ajuste de curva polinomial foi realizada uma análise da projeção de curva características dos referenciais densitométrico, demonstrando uma forte correlação não linear positiva entre as variáveis. A visualização da absorção dos raios-x por meio de filtro de cores possibilitou observar as características de absorção presentes nas tomadas radiográficas e a discussão do quantitativo dos equipamentos DXA e raios-x, além de explanar sobre uma possível aplicação da técnica auxiliando os pacientes na realização do exame.

No CAPITULO VII – CONCLUSÕES são abordadas as considerações finais, os contributos do trabalho, limitações do trabalho, trabalho futuro e recomendações.

## CAPITULO VII – CONCLUSÕES

### 7. Introdução

Este estudo de doutoramento tem como objetivo propor um algoritmo de seleção da função de ajuste polinomial por meio da variância residual. Foi realizada uma revisão de literatura, visando apresentar os estudos realizados sobre a utilização da técnica de densitometria radiográfica, equipamento para medição de densidade óssea e outros estudos relacionados à tese. Na metodologia foi descrito o tipo de estudo, delineamento, obtenção das amostras, realização das tomadas radiográficas, processamento computacional, aplicação do filtro de cores e a extração de dados quantitativos no portal do Sistema Único Brasileiro. No tópico “proposta” foram explanados os conceitos relacionados ao funcionamento do algoritmo de seleção polinomial por meio da variabilidade de variância residual, o coeficiente de determinação e a variância residual. Na seção de resultados foram apresentados os valores obtidos de densidade radiográfica, variabilidade de variância residual, ajuste de curva polinomial, aplicação de filtro para visualização da absorção dos raios-X, estudo quantitativo de DXA e raios-X e movimentação (por redes de grafos) dos habitantes da região norte do Brasil para realização de exames. Os resultados obtidos no presente estudo foram relacionados aos trabalhos disponíveis na literatura.

#### 7.1. Considerações Finais

Pode-se concluir que:

❖ O algoritmo de seleção polinomial proposto apresentou alto potencial para mensurar a densidade radiográfica em milímetros de alumínio. A partir dos resultados médios de densidade radiográfica em milímetros de alumínio observou-se que o algoritmo proposto possui grande exatidão e precisão em todas as amostras ósseas, exceto nas amostras ósseas 3 e 6 que demonstraram baixa precisão.

- ❖ A metodologia proposta para a confecção das amostras ósseas e exames radiográficos demonstraram fácil reprodutibilidade.
- ❖ O estudo quantitativo realizado permitiu uma melhor visualização do cenário atual para mensuração da densidade óssea (DXA) e realização de exame radiológico.
- ❖ As redes de grafos demonstraram o deslocamento necessário dos habitantes para realizarem o exame de densitometria óssea DXA pelo sistema único de saúde. Em seguida foi projetado um novo cenário para realização do exame utilizando a presente proposta para reduzir o deslocamento dos pacientes.
- ❖ Com base nos valores de densidade radiográfica em milímetros de alumínio, foi possível realizar a projeção tridimensional dos blocos analisados.

## **7.2. Os contributos do trabalho**

O principal contributo do trabalho é a criação de um modelo de seleção polinomial que possibilite determinar a melhor função de ajuste de curva para mensuração de densidade radiográfica em milímetros de alumínio, permitindo visualizar os valores médios da densidade radiográfica. O presente trabalho também expõe o impacto que a proposta poderá proporcionar aos habitantes da região norte do Brasil.

## **7.3. Limitações do trabalho**

Este trabalho, por ser um projeto centrado em termos procedimentais, enquadrado como técnico (modelagem matemática/algoritmo), apresenta algumas limitações, principalmente aquelas relacionadas ao referencial densitométrico e às amostras (objeto de estudo).

As limitações significativas do presente estudo foram:

- ❖ Dificuldade na confecção das referências densitométricas (estáveis) em escalas diferentes;
- ❖ Baixa precisão do algoritmo proposto para calcular valores de densidade de amostras ósseas com dimensões reduzidas;
- ❖ Dificuldade na padronização dos valores de densidade óssea em conformidade com a Organização Mundial da Saúde (OMS);
- ❖ Extração dos dados populacionais atuais para a projeção de redes de grafos;

#### **7.4. Trabalhos Futuros**

O presente estudo propõe o uso do algoritmo para a mensuração da densidade radiográfica, facilitando a realização do exame de densitometria óssea devido o emprego do equipamento radiológico, sem a necessidade do DXA. Estudos futuros devem ser realizados no intuito de:

- ✓ Corrigir os valores de densidade radiográfica em milímetros de alumínio, reduzindo o erro experimental;
- ✓ Empregar novas funcionalidades matemáticas/estatísticas para mensurar a densidade óssea;
- ✓ Incorporar a escala T-Score e Z-Score no algoritmo para obter-se os valores de densidade óssea em conformidade com os valores estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

#### **7.5. Recomendações**

- ❖ Os futuros trabalhos devem seguir a metodologia proposta para a reprodução da mesma;

- ❖ Deve-se considerar o emprego de novos materiais para a confecção do objeto de estudo; como por exemplo a hidroxiapatita de cálcio, visando reduzir o erro experimental;
- ❖ Com o mesmo objetivo de reduzir o erro experimental, sugere-se a utilização de equipamentos para a avaliação das características de absorção dos raios-X;
- ❖ Políticas públicas para ampliação da rede de equipamentos de diagnóstico por imagem (DXA e raios-X).

## REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, T.S.K.; GOLDENBERG, F.C.; TACOLA, C.G.; SANNOMUYA, E.K. (2009). Avaliação qualitativa entre as radiografias cefalométricas laterais digital e convencional. *Dental Press Ortodon Ortop Facial*. v. 14, n. 3, p. 60-68, ISSN: 1415-5419.

ADACHI, J.D.; WEBBER, C.E. (1991). The interchangeability of radioisotope and X-ray based measurements of bone mineral density. *The British Journal of Radiology*, v.64, n.759, p.217-220. ISSN: 0007-1285.

AMATO FILHO, A. C. S. (2009). Neuroimagem dos infartos e hemorragias. *ComCiência*, nº 109. ISSN: 1519-7654.

ANDREUCCI, R. (2008). A Radiologia Industrial [Em linha]. ABENDI: Associação brasileira de ensaios não destrutivos e inspeção. Ed. Jan/2008. [Consult. 16 de Mar. 2018]. Disponível em: <https://www.abendi.org.br>

ARAUJO, D.V.; OLIVEIRA, J.H.; BRACCO, O.L. (2005). Custo da fratura osteoporótica de fêmur no sistema suplementar de saúde brasileiro. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia*, v.49, n.6, p.897-901. ISSN: 1677-9487.

Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: report of a WHO study group. World Health Organization technical report series, v.843, 129p., 1994. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7941614> ISSN: 0512-3054.

BARAN, D.T.; KELLY, A.M.; KARELLAS, A.; GIONET, M.; PRICE, M.; LEAHEY, D.; STAUTERMAN, S.; MCSHERRY, B.; ROCHE, J. (1988). Ultrasound attenuation of the os calcis in women with osteoporosis and hip fractures. *Calcified Tissue International*, v.43, Issue 3, p.138-142. ISSN: 0171-967X.

BASSETT, J.H.D.; SPEK, A.V.D.; GOGAKOS, A.; WILLIAMS, G.R. (2011). Quantitative X-ray Imaging of Rodent Bone by Faxitron. *Bone Research Protocols*. v. 816, p. 499-506. ISBN: 978-1-61779-415-5.

BERTO, R.M.V.S.; NAKANO, D.N. (1999). [Em linha]. A produção científica nos anais do encontro nacional de engenharia de produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. Production [on line], ISSN: 0103-6513, v.9, n.2, p.65-75. [Consult. 16 de Mar. 2018]. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/prod/v9n2/v9n2a05.pdf> ISSN: 1980-5411

BERTRAND, J.W.M.; FRANSOO, J.C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. International Journal of Operations & Production Management, v.22, n.2, p.241–264. ISSN: 0144-3577.

BIANCO, A.C. (1991). Regulação endócrina da homeostase do cálcio. In: Aires, M.M. (ed) Fisiologia, Guanabara-Koogan, Rio de Janeiro, p.1525-1553. ISBN: 978-85-277-2100-4.

BLAKE, G.M.; WAHNER, H.W.; FOGELMAN, I. (1999). The evaluation of osteoporosis : dual energy x-ray absorptiometry and ultrasound in clinical practice. Disponível em: Libraries Australia ID: 20060354. 2ed. London: Martin Dunitz. 470 p. ISBN: 1853174726.

BOWEN A.J.; BURD M.A.; CRAIG J.J.; CRAIG M. (2013). Radiographic calibration for analysis of bone mineral density of the equine third metacarpal bone. *Journal of Equine Veterinary Science*. v. 33, nº 12. P. 1131–1135. ISSN: 0737-0806.

BRAILLON, P.; LAPILLONNE, A.; GIRAUD, S.; SALLE, B.L.; COCHAT, P. (1998). Precision of body composition measurements by dual energy X-ray absorptiometry. Applied radiation and isotopes : including data, instrumentation and methods for use in agriculture, industry and medicine, v.49, n.5-6, p.501-502. ISSN: 0969-8043.

BRASIL (2004). Controle Do Câncer De Mama. [Consult. 30 de Jan. 2018]. Disponível em <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/ConsensoIntegra.pdf>

BRASIL (2017). Em 2016, expectativa de vida era de 75,8 anos. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. [Consult. 16 de Mar. 2018]. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/18470-em-2016-expectativa-de-vida-era-de-75-8-anos>

CAMPOS FILHO, F. F. (2007). Algoritmos Numéricos. Editora LTC, 428 páginas. ISBN: 852161537X. Disponível em:

[https://books.google.com.br/books/about/Algoritmos\\_num%C3%A9ricos.html?hl=pt-BR&id=83y5MgAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/Algoritmos_num%C3%A9ricos.html?hl=pt-BR&id=83y5MgAACAAJ&redir_esc=y) ISBN: 9788521615378.

CARVALHO, A.; MIGUEL, R.M.; SANTOS PINTO, M.C.; BAUSELLS, J. (1976). Fator de correção em densitometria radiológica. Revista da faculdade de farmácia e odontologia de Araraquara, v.10 (supl.1), 115-124. ISSN: 0014-6684.

CLARK, P.; CONS-MOLINA, F.; DELEZÉ, M.; RAGI-EIS, S.; HADDOCK, L.; ZANCHETTA, J.R.; JALLER, J.J.; PALERMO, L.; TALAVERA, J.O.; MESSINA, D.O.; MORALES-TORRES, SALMERON, J.; NAVARRETE, A.; SUAREZ, E.; PÉREZ, C.M.; CUMMINGS, S.R. (2009) The prevalence of vertebral fractures in Latin American countries: The Latin-American Vertebral Osteoporosis Study (LAVOS). Osteoporosis International, v.20, n.2, p.275-282. ISSN: 1433-2965.

COMPSTON, J. E. (2001). Sex steroids and bone. Physiological Reviews, v.81, n.1, p.419-447. ISSN: 1522-1210.

Consenso Brasileiro de Osteoporose (2002). Revista Brasileira de Reumatologia, v.42, nº 6. Disponível em: <http://www.cidmed.com.br/pdf/osteoporose.pdf> ISSN: 1809-4570.

COSMAN, F.; DE BEUR, S. J.; LEBOFF, M. S.; LEWIECKI, E. M.; TANNER, B.; RANDALL, S.; LINDSAY R. (2014). Clinician's guide to prevention and treatment of osteoporosis. Osteoporosis International, v.25, n.10, p.2359–2381. ISSN: 1433-2965.

CUMMINGS, S.R. (1985). Are patients with hip fractures more osteoporotic? Review of the evidence. The American journal of medicine, v.78, n.3, p.487-494. ISSN: 1555-7162.

CUPERSCHMID, E. M.; MARTINS, M. C. S. (2014). Instituto de Radium de Minas Gerais: vanguarda da radioterapia no Brasil, 1923-1935. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*. v.21, n.4, p.1235-1260. ISSN: 1678-4758

DE ALMEIDA, R. N. (2015) O método dos mínimos quadrados: estudo e aplicações para o ensino médio. (Master's thesis - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – Uenf - Campos dos Goytacazes) disponível em <https://goo.gl/79NNq2>.

DE MIRANDA, J.A. (2009). Desenvolvimento de uma metodologia para a calibração de instrumentos de medida utilizados no controle da qualidade em radiodiagnóstico intervencional. (Master's thesis – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN) disponível em <https://goo.gl/7Cunsv>

DENDERE R.; WHILEY S.P.; DOUGLAS T.S. (2014). Computed digital absorptiometry for measurement of phalangeal bone mineral mass on a slot-scanning digital radiography system. *Osteoporosis International*. v.25, nº 11, p. 2625–2630. ISSN: 1433-2965.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. (1998). Applied regression analysis. Wiley, 3ªed, 706p. [Em linha]. Disponível em <https://books.google.com.br/books?id=8n8pAQAAAMAJ> ISBN: 0471170828.

DUBREZ, B.; JACOT-DESCOMBES, A.; PUN, T.; CIMASONI, G. (1992). Comparison of photodensitometric with high-resolution digital analysis of bone density from serial dental radiographs. *Dento maxillo facial Radiology*, v.21, n.1, p.40–44. ISSN: 1476-542X.

DUINKERKE, A.S.; VAN DE POEL, A.C.; VAN DER LINDEN, F.P.; DOESBURG, W.H.; LEMMENS, W.A. (1978). Compensation of differences in density of radiographs by densitometry. *Oral Surgery, Oral Medicine and Oral Pathology*, v.45, n.4, p.637–642. ISSN: 2212-4411.

ERDOGAN Ö.; INCKI K.K.; BENLIDAYI M.E.; SEYDAOGLU G.; KELEKCI S. (2009) Dental and radiographic findings as predictors of osteoporosis in postmenopausal women. *Geriatr Gerontol*. v. 9, nº 2, p. 155 – 164, ISSN: 1447-0594.

ERIKSEN, E.F.; COLVARD, D.S.; BERG, N.J.; GRAHAM, M.L.; MANN, K.G.; SPELSBERG, T.C.; RIGGS, B.L. (1988). Evidence of estrogen receptors in normal human osteoblas-like cells. *Science*, v.241, p.84-86. ISSN: 1095-9203.

ESTEITIE, R. (2015). Fundamentos de Pesquisa Clínica. AMGH Editora. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=OR-vCQAAQBAJ>. ISBN: 9788580555127

FLORES SANTOS, F.; PINHEIRO DA SILVA, J.; FELICÍSSIMO FLORES, P. (2013). Fraturas Atípicas do Fêmur Associadas a Terapêutica Prolongada com Bisfosfonatos. Acta Med Port, v. 26, nº 6, p. 746 – 750. ISSN:0870-399X.

FORTES, E.M.; RAFFAELLI, M.P.; BRACCO, O.L.; TAKATA, E.T.T.; REIS, F.B.; SANTILI, C.; CASTRO, M.L. (2008). Elevada morbimortalidade e reduzida taxa de diagnóstico de osteoporose em idosos com fratura de fêmur proximal na cidade de São Paulo. [Em linha]. Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia, v.52, n.7, p.1106-1114. [Consult. 15 de Jan. 2018] Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abem/v52n7/06.pdf> ISSN: 1677-9487.

FRAZÃO, P.; NAVEIRA, M. (2006). Prevalência de osteoporose: uma revisão crítica. [Em linha]. Revista Brasileira de Epidemiologia, vol.9, n.2, p.206-214. [Consult. 23 de Fev. 2018] Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbepid/v9n2/07.pdf> ISSN: 1980-5497

FROST, H.M. (1991). A new direction for osteoporosis research: a review and proposal. Bone, v. 12, n.6, p. 429-437. ISSN: 8756-3282.

GARTON, M.J.; ROBERTSON, E.M.; GILBERT, F.J.; GOMERSALL, L.; REID, D.M. (1994). Can radiologists detect osteopenia on plain radiographs? Clinical radiology, v.49, n.2, p.118-122. ISSN: 0009-9260.

GIL, A. C. (2008). Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. Editora Atlas, 6ªed. Disponível em: <https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9nicas-de-pesquisa-social.pdf> ISBN: 978-85-224-5142-5.

GLÜER, C.C.; BLAKE, G.; LU, Y. (1995). Accurate Assessment of Precision Errors: How to Measure the Reproducibility of Bone Densitometry Techniques. Osteoporosis International, v.5, Issue 4, p.262–270. ISSN: 1433-2965.

GOLDBARG, M.C.; LUNA, H. P.L.; GOLDBARG, E.F.G. (2015). Programação Linear e Fluxos em Redes. Elsevier Editora Ltda, 520p. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/book/9788535278149#book-description> [Consult. 15 de Mai. 2018]. ISBN: 978-85-352-7814-9.

HUGHES, D.E.; DAI, A.; TIFFEE, J.C.; LI, H.H.; MUNDY, G.R.; BOYCE, B.F. (1996). Estrogen promotes apoptosis of murine osteoclasts mediated by TGF-beta. *Nature Medicine*, v.2, n.10, p.1132-1136. ISSN: 10788956.

IBGE (2010). Portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. [Consult. 16 de Mar. 2018]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>

KANIS, J.A. (2002). Diagnosis of osteoporosis and assessment of fracture risk. *Lancet*, v.359, n.9321, p.1929-1936. ISSN: 1474-547X.

KANIS, J.A.; BURLET, N.; COOPER, C.; DELMAS, P.D.; REGINSTER, J.Y.; BORGSTROM, F.; RIZZOLI, R.; European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis and Osteoarthritis (ESCEO). (2008). European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Osteoporosis International*, v.19, n.4, p.399-428. ISSN: 1433-2965.

KINDS, M.B.; BARTELS, L.W.; MARIJNISSEN, A.C.; VINCKEN, K.L.; VIERGEVER, M.A.; LAFEVER, F.P.; DE JONG, H.W. (2011). Feasibility of bone density evaluation using plain digital radiography. *Osteoarthritis and Cartilage*, v.19, n.11, p.1343-1348. ISSN: 1063-4584.

KINDS M.B.; BARTELS L.W.; MARIJNISSEN A.C.A.; VINCKEN K.L.; VIERGEVER M.A.; LAFEVER F.P.J.G. (2011). Feasibility of bone density evaluation using plain digital radiography. *Osteoarthr Cartil.* v. 19, nº 11, p 1343-1348. ISSN: 1063-4584.

KLEMETTI, E.; KOLMAKOV, S.; HEISKANEN, P.; VAINIO, P.; LASSILA, V. (1993). Panoramic mandibular index and bone mineral densities in postmenopausal women. *Oral Surgery, Oral Medicine and Oral Pathology*, v.75, n.6, p.774–779. ISSN: 2212-4411.

KOMM, B.S.; TERPENING, C.M.; BENZ, D.J.; GRAEME, K.A.; GALLEGOS, A.; KORC, M.; GREENE, G.L.; O'MALLEY, B.W.; HAUSSLER, M.R. (1988). Estrogen binding, receptor mRNA, and biologic response in osteoblast-like osteosarcoma cells. *Science*, v.241, n.4861, p.81-84. ISSN: 1095-9203.

LAMIN, Maria Regina Nunes. Resolução de problemas modelados com sistemas de equações lineares. Universidade Federal de Santa Catarina. Trabalho de conclusão de curso, Florianópolis, 2000, 238p. Disponível em: [http://www.mtm.ufsc.br/~daniel/7105/Maria\\_Regina\\_Nunes\\_Lamin.PDF](http://www.mtm.ufsc.br/~daniel/7105/Maria_Regina_Nunes_Lamin.PDF)

LAUTEN, S.D.; COX, N.R.; BRAWNER, W.R.Jr.; GOODMAN, S.A.; HATHCOCK, J.T.; MONTGOMERY, R.D.; KINCAID, S.A.; MORRISON, N.E.; SPANO, J.S.; LEPINE, A.J.; REINHART, G.A.; BAKER, H.J. (2002). Influence of dietary calcium and phosphorus content in a fixed ratio on growth and development in Great Danes. *American journal of veterinary research*, v.63, n.7, p.1036–1047. ISSN: 0002-9645.

LIGESH, C.A.S.; SHANKER, N.; VIJAY, A.; ANBURAJAN, M. (2011). Estimation of Bone Mineral Density from the Digital Image of the Calcaneum Bone. *3rd International Conference on Electronics Computer Technology*.

LOUZADA, M.J.Q. (1994). Otimização da técnica de densitometria óptica em imagens radiográficas de peças ósseas, estudo “in vitro”. (Doctoral thesis - Universidade Estadual de Campinas). Disponível em <https://goo.gl/EkQ8gd>

MARKEL, M.; J BOGDANSKE, J. Dual-energy X-ray absorptiometry of canine femurs with and without fracture fixation device. *American journal of veterinary research*, v.55, n.6, p.862–866. ISSN: 0002-9645.

MARONE, M.M.S.; LEWIN, S.; BIANCO, A.C.; CORREA, P.H.S. (1989). Diagnóstico precoce de osteoporose através da densitometria de dois fótons. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v.35, p.57-62. ISSN: 1806-9282.

MARQUES, P. V; Modenesi, P.J.; Bracarense A. Q. (2007). *Soldagem - Fundamentos e Tecnologia*. Editora UFMG, Belo Horizonte/MG, 363p. ISBN: 85-70410-437-4.

MARTIN, R.B.; PAPAMICHOS, T.; DANNUCCI, G.A. (1990). Linear calibration of radiographic mineral density using video-digitizing methods. *Calcified Tissue International*, v.47, n.2, 82-91. ISSN: 1432-0827.

MAZESS, R.; COLLICK, B.; TREMPER, J.; BARDEN, H.; HANSON, J. (1989). Performance evaluation of a dual-energy x-ray bone densitometry. *Calcified Tissue International*, v.44, p.228-232. ISSN: 1432-0827.

MAZESS, R.B. (1983). Errors in measuring trabecular bone by computed tomography due to marrow and bone composition. *Calcified Tissue International*, v.35 p.148-152. ISSN: 1432-0827.

MEAKIM, D.W.; OTT, E.A.; ASQUITH, R.L.; FEASTER, J.P. (1981). Estimation of mineral content of the equine third metacarpal by radiographic photometry. *Journal of Animal Science*, v.53, n.4, p.1019–1026. ISSN: 1525-3163.

MELTON, L.J.; ATKINSON, E.J.; O'FALLON, W.M.; WAHNER, H.W.; RIGGS, B.L. (1993). Long-term fracture prediction by bone mineral assessed at different skeletal sites. *Journal of Bone and Mineral Research*, v.8, n.10, p.1227-1233. ISSN: 1523-4681.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. (2006). Introduction to linear regression analysis. *Wiley Series in Probability and Statistics*, v.615, 640p. Disponível em [https://books.google.com.br/books?id=dybEQgAACAAJ&hl=pt-PT&source=gbs\\_book\\_other\\_versions](https://books.google.com.br/books?id=dybEQgAACAAJ&hl=pt-PT&source=gbs_book_other_versions) ISBN: 0471754951

MORROW JR., J.R.; JACKSON, A.W.; DISCH, J.G.; MOOD, D.P. (2014). *Medida e Avaliação do Desempenho Humano*. Artmed Editora, 4ªed. Disponível em <https://books.google.com.br/books?id=Jbm-AwAAQBAJ> ISBN: 9788565852500

OLIVEIRA, M.T. Programa computacional ODR-ATA para densitometria óssea baseado na densitometria radiográfica. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP. Araçatuba, 2014, Dissertação de Mestrado. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/128101?locale-attribute=es>

OLIVEIRA, M.T.; NAKAMURA, E.H.; GOUVEIA, L.B.; MASSUNARI, L.; LOUZADA, M.J.Q. (2015). Computational Solution “ODR-ATA” to Measurement of Bone Density from Radiographic Density. *International Bone & Mineral Society, Poster Presentations in The 4th Joint Meeting of ECTS and IBMS*, Article number: 673. Disponível em:

<https://www.nature.com/bonekey/knowledgeenvironment/2015/150410/bonekey201540/pdf/bonekey201540.pdf> ISSN: 1940-8692.

OLIVEIRA, S. L. (1997). Tratado de Metodologia Científica. Editora Pioneira. Disponível em: <https://www.estantevirtual.com.br/livros/silvio-luiz-de-oliveira/tratado-de-metodologia-cientifica/1948307212> ISBN: 9788522100705.

PELÁ, C.A.; LOUZADA, M.J.Q.; PAULA, E.; GHILARDI NETTO, T. (1990). Avaliação sensitométrica de filmes utilizados em radiologia. In: *reunião latino americana de física médica*, 5º workshop de física médica e engenharia biomédica.

PEREIRA, A.M.R. (2012). Estudo do Impacto da Descoberta dos Raios-X e das suas Aplicações Médicas em Portugal. (Master's thesis – Universidade de Lisboa). Disponível em <https://goo.gl/jekUuV>

PEREIRA, M. G. (2013). A seção de discussão de um artigo científico. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v.22, n.3, p.537–538. ISSN: 1679-4974.

PEREIRA, M. G. (2013). A seção de resultados de um artigo científico. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v.22, n.2, p.353–354. ISSN: 1679-4974.

Perfil do município de Belém/PA. (2016). [Em linha] NESP: Núcleo de estudos em saúde pública. [Consult. 26 de Fev 2018] Disponível em: [http://www.nesp.unb.br/saudelgbt/images/arquivos/Perfil\\_Belem.pdf](http://www.nesp.unb.br/saudelgbt/images/arquivos/Perfil_Belem.pdf)

PIETROBELLI, A.; FORMICA, C.; WANG, Z.; HEYMSFIELD, S.B. (1996). Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *The American Journal of Physiology*, v.271, n.6, p.E941-E951. ISSN: 0002-9513.

PINHEIRO, M.M. (2008). Mortalidade após fratura por osteoporose. [Em linha] *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia*, v.52, n.7, p.1071-1072. [Consult. 02 de Ago. 2017] Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abem/v52n7/01.pdf> ISSN: 1677-9487

PINHEIRO, M.M.; DOS REIS NETO, E.T.; MACHADO, F.S.; OMURA, F.; YANG, J.H.K.; SZEJNFELD, J.; SZEJNFELD, V.L. (2010). Risk factors for osteoporotic fractures and low

bone density in pre and postmenopausal women. *Revista de Saúde Pública*, v.44, n.3, p.479-485. ISSN: 1518-8787.

PISKE, R. B. (2012). *Introdução à Informática - Visando um mundo da máquina*. Editora Baraúna. Disponível em: <https://issuu.com/editorabarauna/docs/introducaoainformatica151> ISBN: 978-85-7923-488-0.

PLOTNICK, I.J.; BERESIN, V.E.; SIMKINS, A.B. Study of In Vivo Radiographic Densitometry. *Journal of Dental Research*, v.49, n.5, p.1034–1041. ISSN: 1544-0591.

Portaria nº224 de 26 de março de 2014. [Em linha] Ministério da Saúde. Protocolo Clínico e Diretrizes terapêuticas da Osteoporose. [Consult. 03 de Abr 2018] Disponível em: <http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2014/abril/02/pcdt-osteoporose-2014.pdf>

PRICE, W.A. (1901). The Science of dental Radiology. *Dental Cosmos*, v. 43, p. 483 – 503.

Prevention and management of osteoporosis : report of a WHO scientific group. World Health Organization technical report series, v.921, 192p. Geneva (Switzerland), 2003. Disponível em: <http://www.who.int/iris/handle/10665/42841> ISSN: 0512-3054.

RABELLO, J. M. B. (1995). *Radiografia Industrial e Interpretação Radiográfica*. Rio de Janeiro. Apostila treinamento Petrobras, 238 p.

RADOMINSKI, S.C.; BERNARDO, W.; DE PAULA, A.P.; ALBERGARIA, B.; MOREIRA, C.; FERNANDES, C.E.; CASTRO, C.H.M.; ZERBINI, C.A.F.; DOMICIANO, D.S.; MENDONÇA, L.M.C.; POMPEI, L.M.; BEZERRA, M.C.; LOURES, M.A.R.; WENDER, M.C.O.; CASTRO, M.L.; PEREIRA, R.M.R.; MAEDA, S.S.; SZEJNFELD, V.L.; BORBA, V.Z.C. (2017). Diretrizes brasileiras para o diagnóstico e tratamento da osteoporose em mulheres na pós-menopausa. *Revista Brasileira de Reumatologia*, v.57, n.2, p.452-466. ISSN: 1809-4570.

RAHAL, S. C.; MORTARI, A.C.; CAPORALI, E.H.G.; VULCANO, L.C.; dos SANTOS, F.A.M.; TAKAHIRA, R. K.; CROCCI, A.J. (2002). Densitometria óptica radiográfica na avaliação do

hiperparatireoidismo secundário nutricional induzido em gatos jovens. *Ciência Rural*. v. 32, nº 3, p. 421-425. ISSN: 0103-8478.

SCHNEIDER, R. (1984). Radiologic methods of evaluating generalized osteopenia. *Orthopedic Clinics of North America*, v.15, n.4, p.631-651. ISSN: 0030-5898.

Seo, G.S.; Shiraki, M.; Aoki, C.; Chen, J.T.; Aoki, J.; Imose, K.; Togawa, Y.; Inoue, T. (1994). Assessment of bone density in the distal radius with computer assisted X-ray densitometry (CXD). *Bone and Mineral*, v.27, n.3, p.173–182. ISSN: 0169-6009.

SILVA, E.L.; MENEZES, E.M. (2005). Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4ªEd. Universidade Federal de Santa Catarina.

Silva, M.C. Densitometria óssea. Atualizado em 13 de Dez 2012 [Em linha] [Consult. 13 de Jan. 2018] Disponível em: [http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/images/documentos/Densitometria\\_ossea.pdf](http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/images/documentos/Densitometria_ossea.pdf)

SILVEIRA VA, MEDEIROS MM, COELHO-FILHO JM, MOTA RS, NOLETO JC, COSTA FS, DE PONTES F.J.O.; SOBRAL, J.B.; AGUIAR, R.F.; LEAL, A.C.; CLEMENTE, C.M. (2005). Incidência de fratura do quadril em área urbana do Nordeste brasileiro. *Cadernos de Saúde Pública*, v.21, n.3, p.907-912. ISSN: 1678-4464.

TEIXEIRA, C. (2015). Construção De Algoritmos No Século XXI. *Simplíssimo (Edição Digital)*. ISBN: 9788563654762.

TOZONI-REIS, M.F.C. (2009). Metodologia de Pesquisa. IESDE Brasil S.A., 2ªEd. Disponível em: <https://teologiaediscernimento.files.wordpress.com/2015/04/metodologia-da-pesquisa.pdf> ISBN: 978-85-7638-905-7.

TRINDADE-SUEDAM I.K.; de MORAIS J.; FAEDA R.S.; LEITE F.R.M.; TOSONI G.M.; NETO C.B. (2010). Bioglass Associated With Leukocyte-Poor Platelet-Rich Plasma in the Rabbit Maxillary Sinus: Histomorphometric, Densitometric, and Fractal Analysis. *J Oral Implantol*; v. 36, nº 5, p. 333–343, ISSN: 1548-1336.

TROUERBACH, W.T.; STEEN, W.H.A.; ZWAMBORN, A.W.; SCHOUTEN H.J.A. (1984). A study of the radiographic aluminum equivalent values of the mandible. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, v.58, n.5, p.610–616. ISSN 2212-4403.

VOGEL, M.V.; ANDERSON, J.T. (1971). Rectilinear transmission scanning of irregular bones for quantification of mineral content. *Journal Nuclear Medicine*. v 13, n.1, p. 13-18. ISSN: 1535-5667.

YANG, S.O.; HAGIWARA, S.; ENGELKE, K.; DHILLON, M.S.; GUGLIELMI, G.; BENDAVID, E.J.; SOEJIMA, O.; NELSON, D.L.; GENANT, H.K. (1994). Radiographic absorptiometry for bone mineral measurement of the phalanges: precision and accuracy study. *Radiology*, v.192, n.3, p.857-859. ISSN: 0033-8419.

WILL, M.; BERTRAND, J. (2002). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*. v. 22, nº 2, p. 241–264. ISSN: 0144-3577.

ZANATTA, L.B.; MARCATTO, C.; RAMOS, C.S.; MAÑAS, N.; MOREIRA, C.; BORBA, V. (2017). Uso de pamidronato para o tratamento da osteoporose no sistema único de saúde no Brasil. *Revista Brasileira de Reumatologia*, v.57, n.6, p.514-520. ISSN: 1809-4570.

## ANEXOS

### Anexo 1 – Parecer dos comités de éticas da Universidade Fernando Pessoa e Hospital Escola da Fundação Fernando Pessoa.



*Comissão de ética para a saúde do Hospital-Escola da Fundação Fernando Pessoa*

### PARECER N.º 9

A Comissão de ética para a saúde do Hospital-Escola da Fundação Fernando Pessoa (CES-HE-FFP) dá parecer positivo ao projecto “Desenvolvimento de algoritmos dinâmicos para densitometria óssea tendo como base a densitometria radiográfica”, apresentado pelo discente Márcio Teixeira Oliveira (Universidade Fernando Pessoa), sob a supervisão do Doutor Luis Manuel Borges Gouveia (Universidade Fernando Pessoa).

15.02.2016

**Marina Lencastre**

Vice-Presidente da Comissão de Ética para a Saúde do Hospital-Escola da Fundação Fernando Pessoa



Universidade Fernando Pessoa  
www.ufp.pt

Dare conhecimento ao  
aluno e orientador.  
*[Handwritten signature]*  
22/01/2016

Exma. Senhora  
Prof. Doutora Inês Gomes  
Diretora da FCHS

Porto, 20 de Janeiro de 2016

Exma. Senhora Prof. Doutora,

A Comissão de Ética, através da sua Presidente, informou o orientador de que o projeto em causa deve ser remetido para a Comissão de Ética do Hospital Escola.

Com os melhores cumprimentos.

A Presidente da  
Comissão de Ética

*[Handwritten signature]*  
Teresa Martinho Toldy

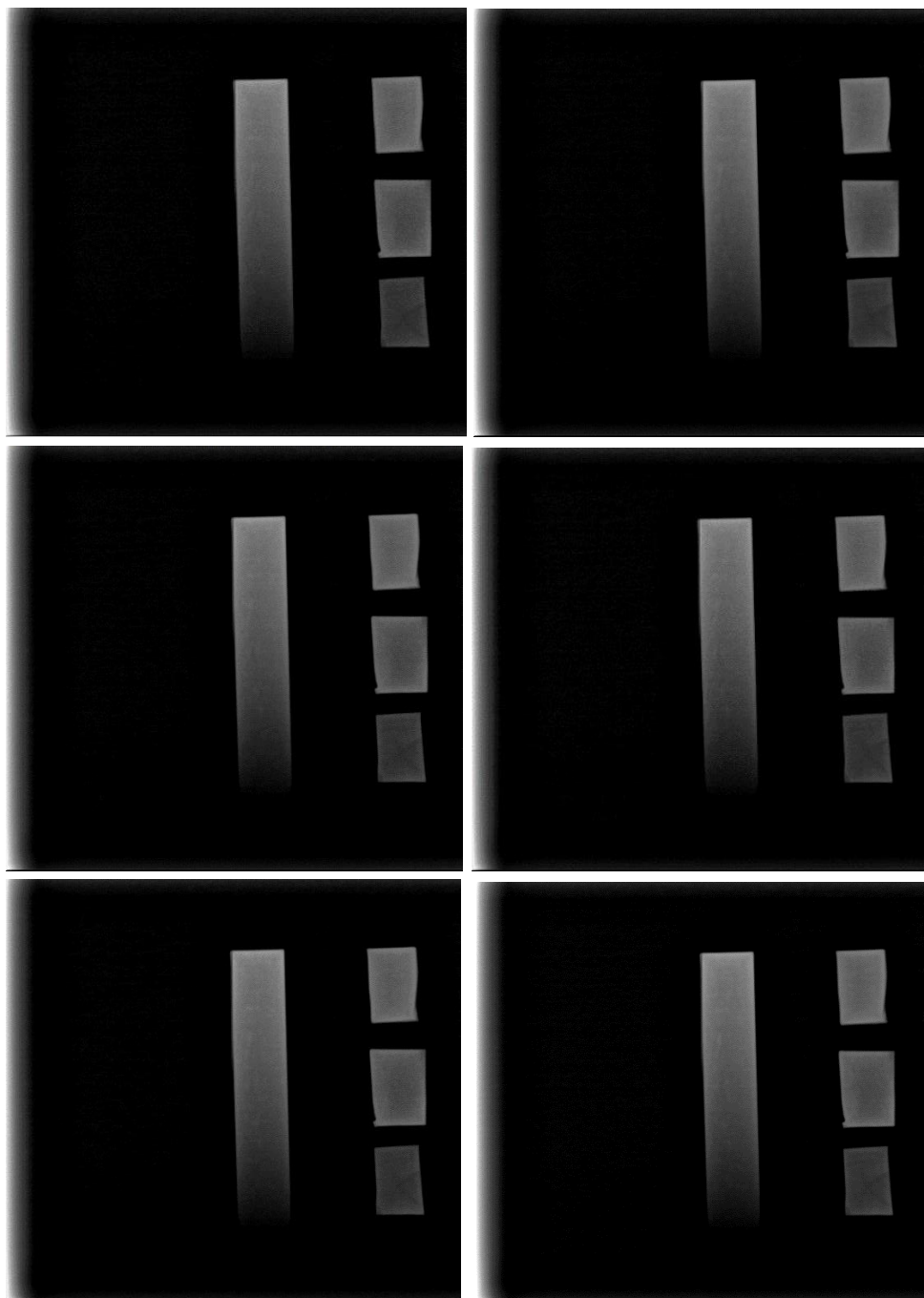


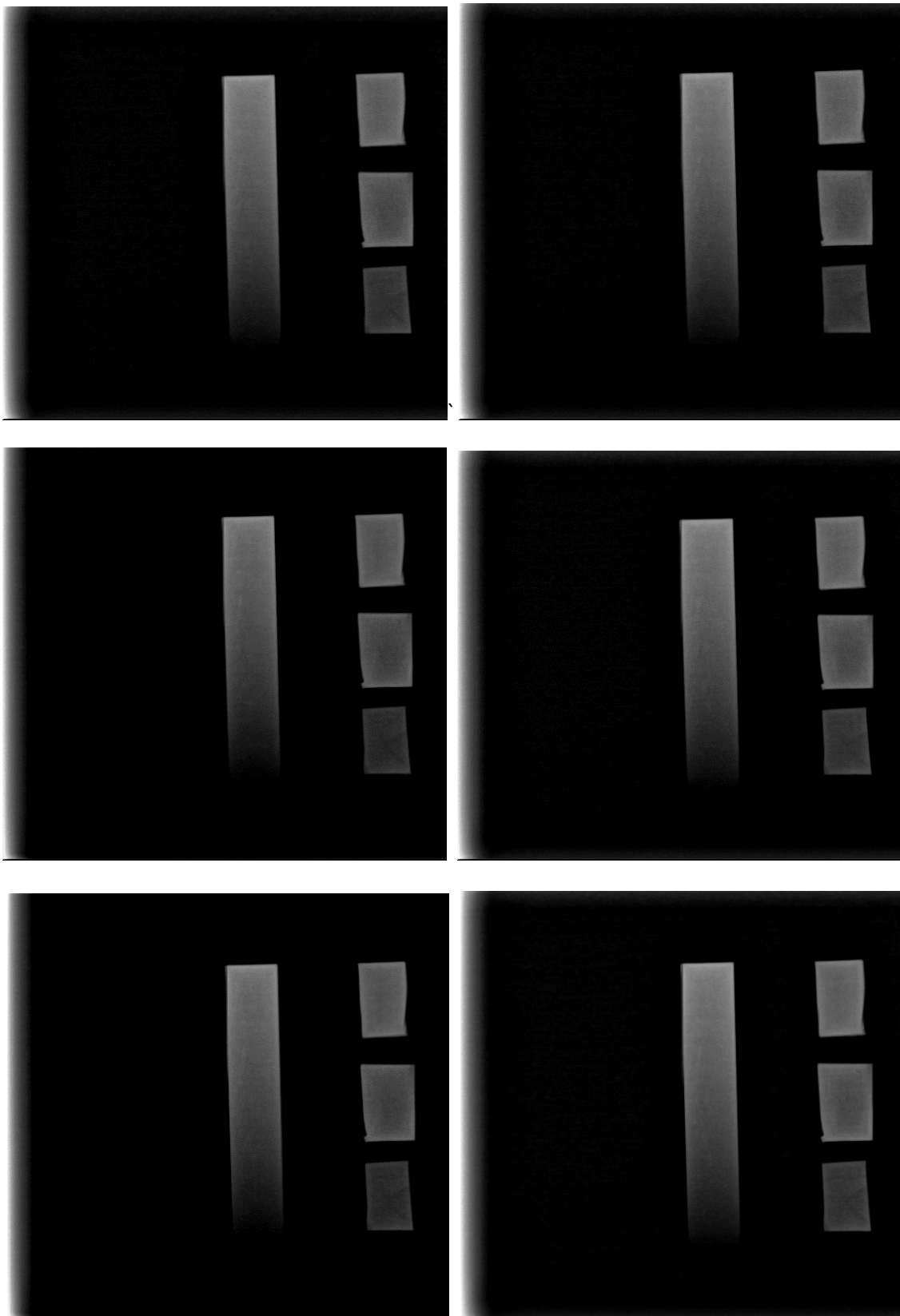
Fundação Ensino e Cultura "Fernando Pessoa"

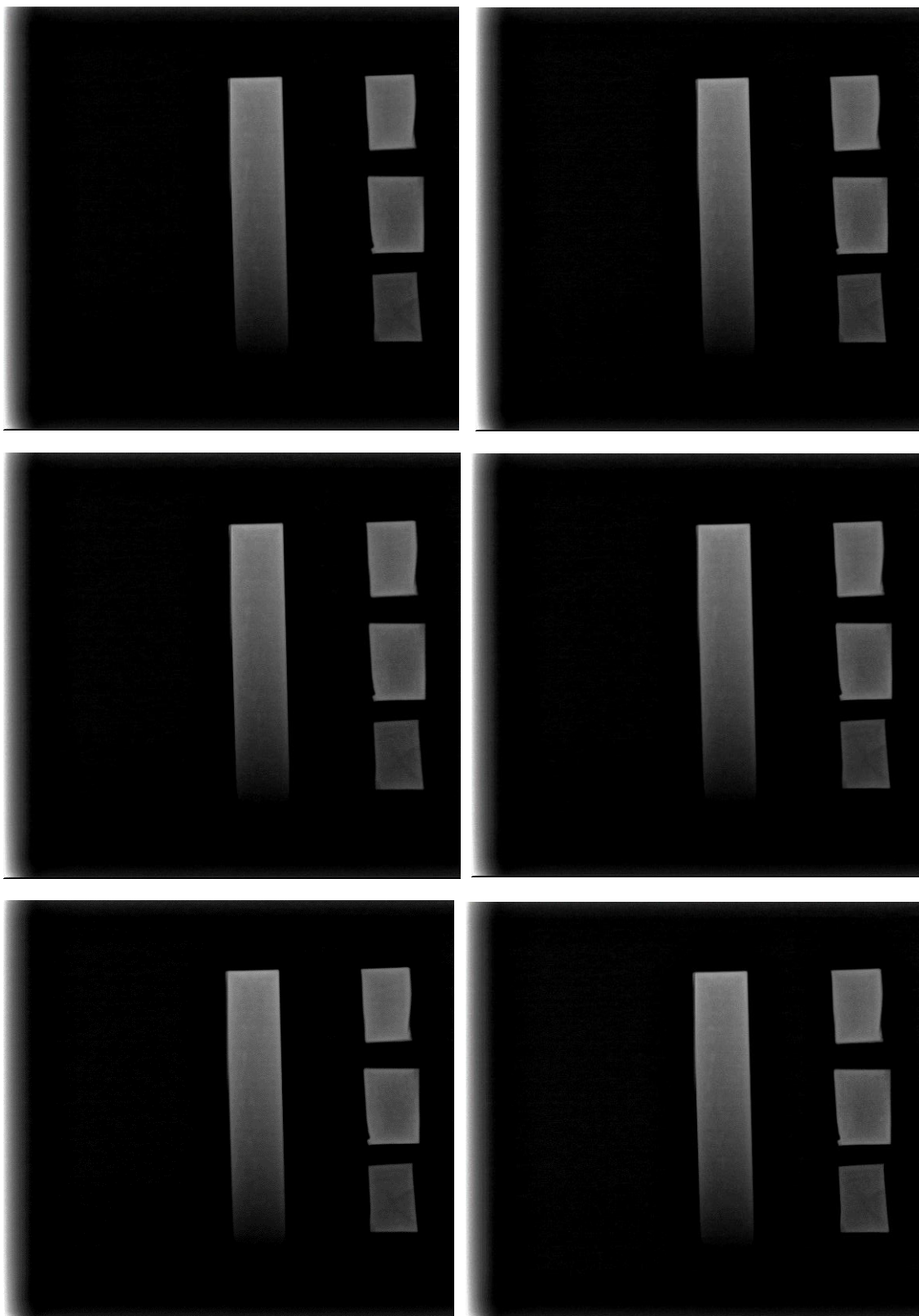
UFP, 50107-600 - Reg. Comercial n.º 26 (Lisboa) e do Registo Comercial de Porto

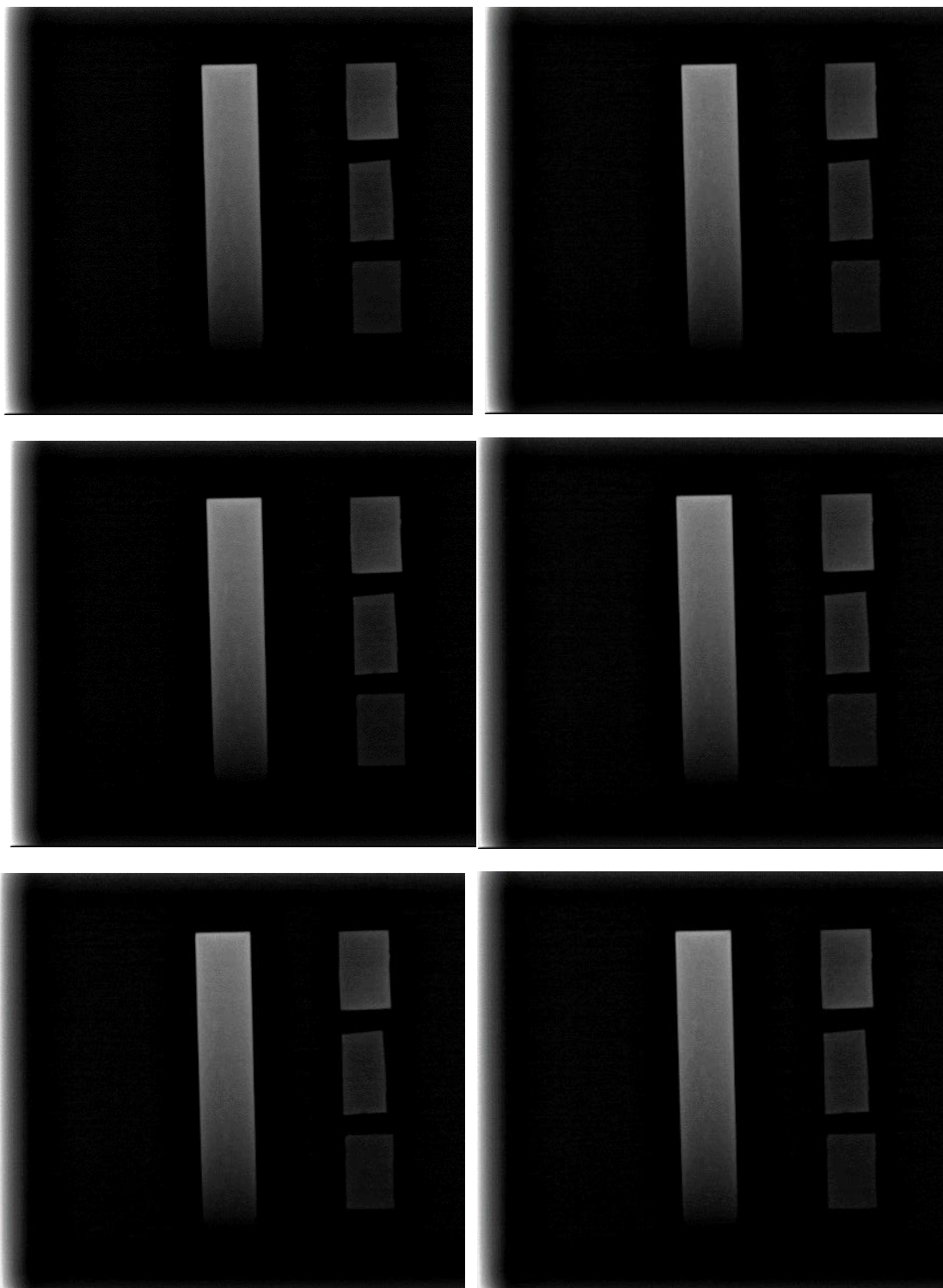
93113004 - [Faculdade de Ciências Humanas e Sociais] - [Faculdade de Ciências e Tecnologia] (Praça 3 de Abril, 340 - 4249-004 Porto - Portugal) - T. +351 22 507 1000 - F. +351 22 550 6200 - geral@ufp.pt  
[Faculdade de Ciências da Saúde] - [Escola Superior de Saúde] R. Carlos Da Maia, 266 - 4000-150 Porto - Portugal - T. +351 22 537 4630 - F. +351 22 507 4637 - R. Belém Maia, 334 - 4050-213 Porto - Portugal  
T. +351 22 509 6371 - geral@esade@ufp.pt 0980481 de Ponte de Lima - Casa da Guarda - R. Conde de Beira-Mar - 4990-076 Ponte de Lima Portugal - T. +351 258 741 626 - F. +351 258 741 412 - geral@esade@ufp.pt

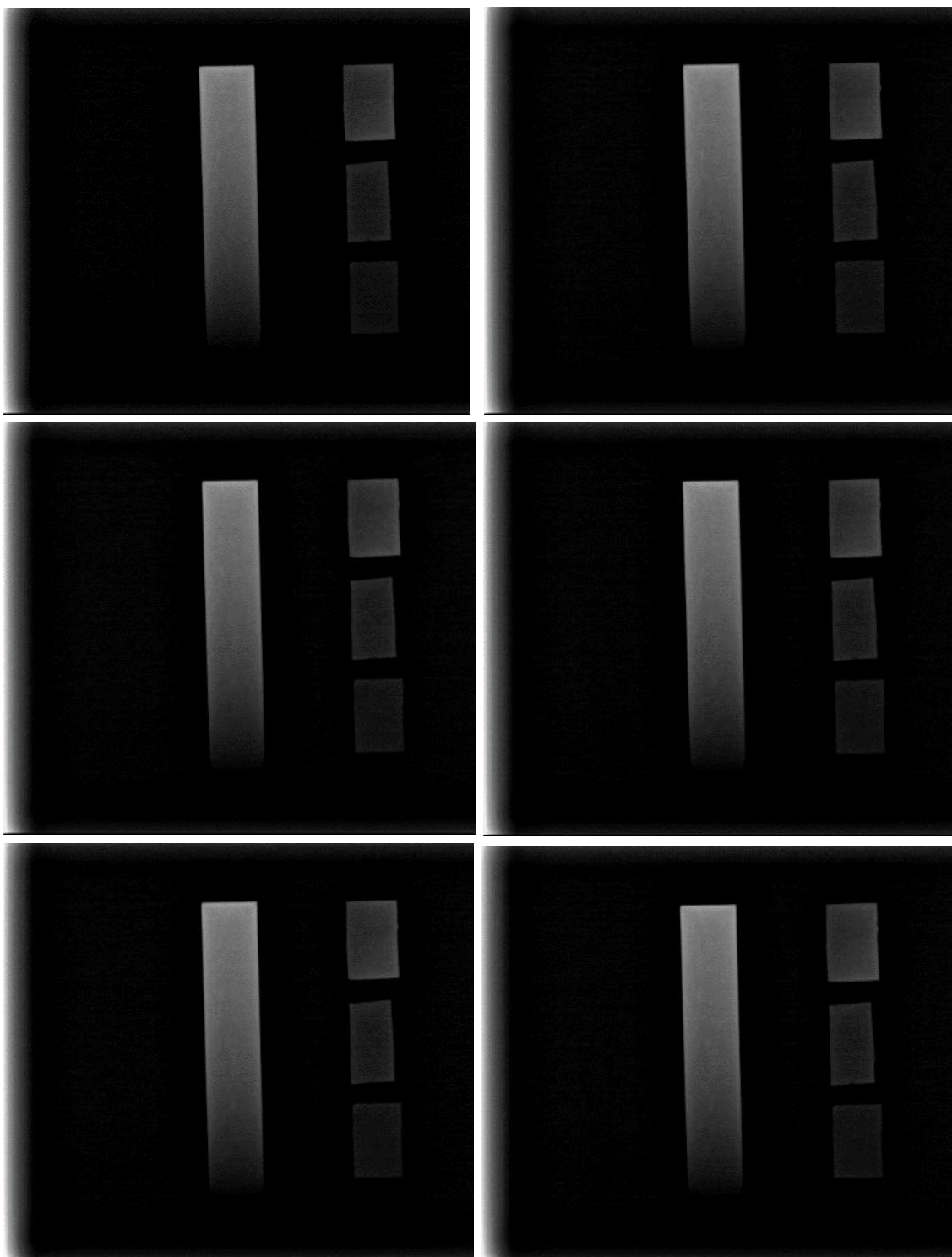
Anexo 2 – Radiografias utilizadas nos experimentos.

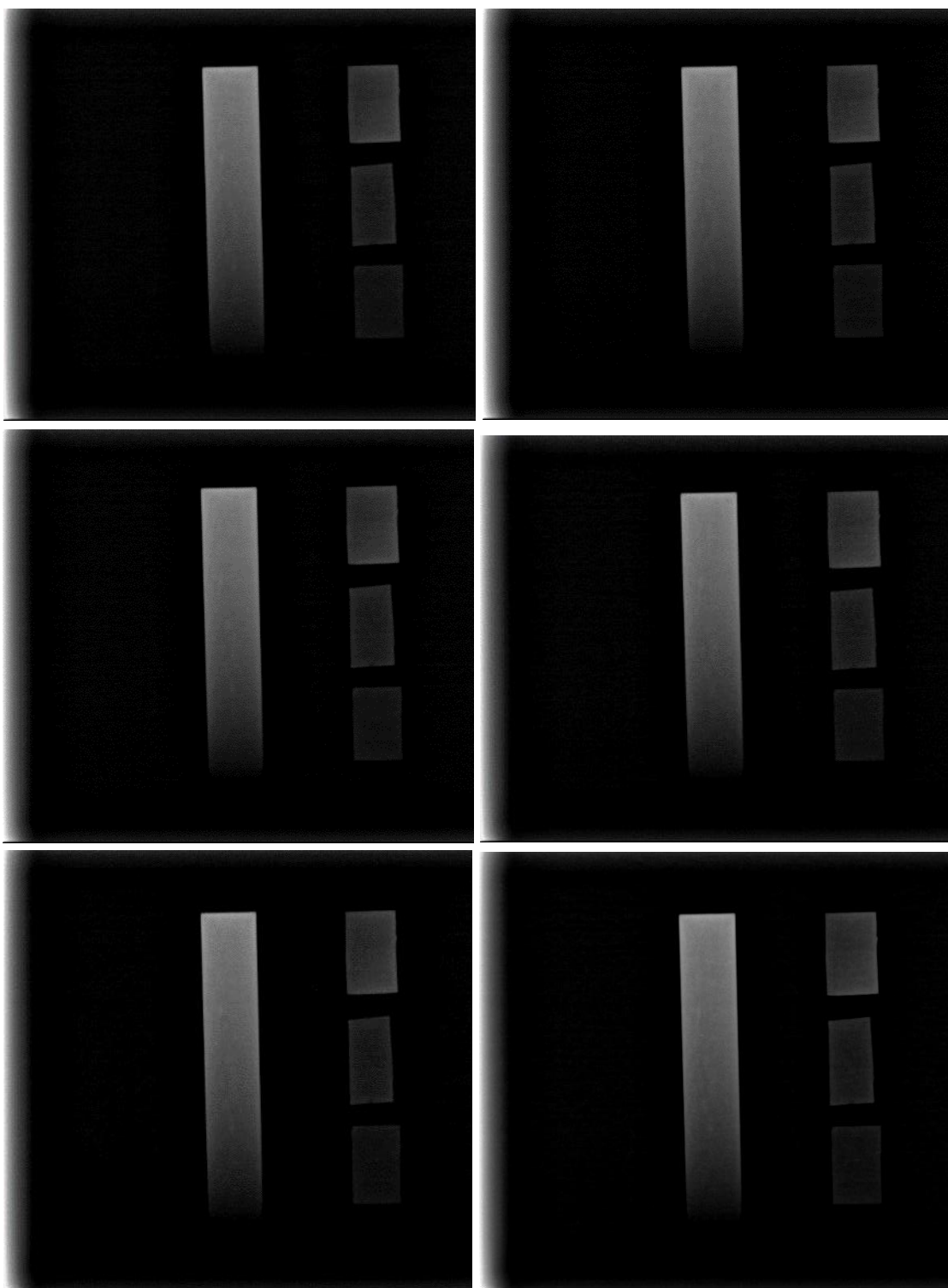












### Anexo 3 – Codificação complementar do algoritmo

```
public class Ordem3 {
    private double det;
    private double detx;
    private double detx2;
    private double detx3;
    private ArrayList<Double> predito;
    private double r2;

    public double getDet() {
        return det;
    }

    public void setDet(double det) {
        this.det = det;
    }

    public double getDetx() {
        return detx;
    }

    public void setDetx(double detx) {
        this.detx = detx;
    }

    public double getDetx2() {
        return detx2;
    }

    public void setDetx2(double detx2) {
        this.detx2 = detx2;
    }

    public double getDetx3() {
        return detx3;
    }

    public void setDetx3(double detx3) {
        this.detx3 = detx3;
    }

    public ArrayList<Double> getPredito() {
        return predito;
    }

    public void setPredito(ArrayList<Double> predito) {
        this.predito = predito;
    }

    public double getR2() {
        return r2;
    }

    public void setR2(double r2) {
        this.r2 = r2;
    }
}
```

```
public class Ordem4 {

    private double detx;
    private double detx2;
    private double detx3;
    private double detx4;
    private double detx5;
    private ArrayList<Double> predito;
    private double r2;

    public double getDetx() {
        return detx;
    }

    public void setDetx(double detx) {
        this.detx = detx;
    }

    public double getDetx2() {
        return detx2;
    }

    public void setDetx2(double detx2) {
        this.detx2 = detx2;
    }

    public double getDetx3() {
        return detx3;
    }

    public void setDetx3(double detx3) {
        this.detx3 = detx3;
    }

    public double getDetx4() {
        return detx4;
    }

    public void setDetx4(double detx4) {
        this.detx4 = detx4;
    }

    public double getDetx5() {
        return detx5;
    }

    public void setDetx5(double detx5) {
        this.detx5 = detx5;
    }

    public ArrayList<Double> getPredito() {
        return predito;
    }

    public void setPredito(ArrayList<Double> predito) {
```

```
        this.predito = predito;
    }

    public double getR2() {
        return r2;
    }

    public void setR2(double r2) {
        this.r2 = r2;
    }
}
```

```
public class Ordem5 {

    private double det;
    private double detx;
    private double detx2;
    private double detx3;
    private double detx4;
    private double detx5;
    private ArrayList<Double> predito;
    private double r2;

    public double getDet() {
        return det;
    }

    public void setDet(double det) {
        this.det = det;
    }

    public double getDetx() {
        return detx;
    }

    public void setDetx(double detx) {
        this.detx = detx;
    }

    public double getDetx2() {
        return detx2;
    }

    public void setDetx2(double detx2) {
        this.detx2 = detx2;
    }

    public double getDetx3() {
        return detx3;
    }

    public void setDetx3(double detx3) {
        this.detx3 = detx3;
    }
}
```

```
public double getDetx4() {
    return detx4;
}

public void setDetx4(double detx4) {
    this.detx4 = detx4;
}

public double getDetx5() {
    return detx5;
}

public void setDetx5(double detx5) {
    this.detx5 = detx5;
}

public ArrayList<Double> getPredito() {
    return predito;
}

public void setPredito(ArrayList<Double> predito) {
    this.predito = predito;
}

public double getR2() {
    return r2;
}

public void setR2(double r2) {
    this.r2 = r2;
}
}
```

```
public class Somatoria {
    private int n;
    private double x;
    private double y;
    private double y2;
    private double x2;
    private double x3;
    private double x4;
    private double x5;
    private double x6;
    private double x7;
    private double x8;
```

```
private double x9;  
private double X10;
```

```
private double xy;  
private double x2y;  
private double x3y;  
private double x4y;  
private double x5y;
```

```
public Somatoria() {  
  
}
```

```
public Somatoria(int n, double x, double x2, double x3, double x4,  
                double x5, double x6, double x7, double x8, double x9,  
                double x10, double y, double xy, double x2y,  
                double x3y, double x4y, double x5y) {
```

```
    this.n = n;  
    this.x = x;  
    this.x2 = x2;  
    this.x3 = x3;  
    this.x4 = x4;  
    this.x5 = x5;  
    this.x6 = x6;  
    this.x7 = x7;  
    this.x8 = x8;
```

```
this.x9 = x9;  
this.X10 = x10;
```

```
this.y = y;  
this.xy = xy;  
this.x2y = x2y;  
this.x3y = x3y;  
this.x4y = x4y;  
this.x5y = x5y;
```

```
}
```

```
public Somatoria(int p0, double p1, double p2, double p3, double p4,  
                double p5, double p6, double p7, double p8, double p9,  
                double p10, double p11, double p12, double p13,  
                double p14, double p15, double p16, double p17,  
                double p18, double p19, double p20, double p21,  
                double p22, double p23, double p24) {
```

```
}
```

```
public int getN() {  
    return n;  
}
```

```
public void setN(int n) {  
    this.n = n;  
}
```

```
public double getX() {  
    return x;  
}
```

```
public void setX(double x) {  
    this.x = x;  
}
```

```
public double getY() {  
    return y;  
}
```

```
public void setY(double y) {  
    this.y = y;  
}
```

```
public double getX2() {  
    return x2;  
}
```

```
public void setX2(double x2) {  
    this.x2 = x2;  
}
```

```
public double getX3() {  
    return x3;  
}
```

```
public void setX3(double x3) {  
    this.x3 = x3;  
}
```

```
public double getX4() {  
    return x4;  
}
```

```
public void setX4(double x4) {  
    this.x4 = x4;  
}
```

```
public double getX5() {  
    return x5;  
}
```

```
public void setX5(double x5) {  
    this.x5 = x5;  
}
```

```
public double getX6() {  
    return x6;  
}
```

```
public void setX6(double x6) {  
    this.x6 = x6;  
}
```

```
public double getX7() {  
    return x7;  
}
```

```
public void setX7(double x7) {  
    this.x7 = x7;  
}
```

```
public double getX8() {  
    return x8;  
}
```

```
public void setX8(double x8) {
```

```
this.x8 = x8;
}

public double getXy() {
    return xy;
}

public void setXy(double xy) {
    this.xy = xy;
}

public double getX2y() {
    return x2y;
}

public void setX2y(double x2y) {
    this.x2y = x2y;
}

public double getX3y() {
    return x3y;
}

public void setX3y(double x3y) {
    this.x3y = x3y;
}

public double getX4y() {
    return x4y;
}

public void setX4y(double x4y) {
    this.x4y = x4y;
}
```

```
}

public double getX5y() {
    return x5y;
}

public void setX5y(double x5y) {
    this.x5y = x5y;
}

public double getX9() {
    return x9;
}

public void setX9(double x9) {
    this.x9 = x9;
}

public double getX10() {
    return X10;
}

public void setX10(double X10) {
    this.X10 = X10;
}

public double getY2() {
    return y2;
}

public void setY2(double y2) {
    this.y2 = y2;
}
```

```
public String toString(){  
  
    return "n: " + n + "\nx: " + x + "\nx2: " + x2 + "\nx3: " + x3 + "\nx4: " + x4 + "\nx5:  
"+x5 + "\nx6: " + x6 + "\nx7: " + x7 + "\nx8: " + x8 + "\nx9: " + x9 + "\nx10: " + X10 + "\ny:  
"+y + "\nxy: " + xy + "\nx2y: " + x2y + "\nx3y: " + x3y + "\nx4y: " + x4y + "\nx5y: " + x5y;  
    }  
}
```