

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ARARAQUARA
INSTITUTO DE QUÍMICA**

WELLINGTON DA ROCHA GOUVEIA

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA COMPUTACIONAL PARA
AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO TECIDO ÓSSEO AO REDOR DE
DIFERENTES SUPERFÍCIES DE IMPLANTES EM HUMANOS**

Araraquara
2018

WELLINGTON DA ROCHA GOUVEIA

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA COMPUTACIONAL PARA
AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO TECIDO ÓSSEO AO REDOR DE
DIFERENTES SUPERFÍCIES DE IMPLANTES EM HUMANOS**

Tese apresentada ao Instituto de Química,
Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita
Filho”, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Doutor em Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Guastaldi

Araraquara
2018

FICHA CATALOGRÁFICA

G719d Gouveia, Wellington da Rocha
Desenvolvimento de metodologia computacional para
avaliação do comportamento do tecido ósseo ao redor de
diferentes superfícies de implantes em humanos /
Wellington da Rocha Gouveia. – Araraquara : [s.n.], 2018
105 f. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Química
Orientador: Antonio Carlos Guastaldi

1. Materiais biomédicos. 2. Implantes dentários.
3. Software. 4. Radiografia. 5. Processamento de imagens.
I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: "Desenvolvimento de metodologia computacional para avaliação do comportamento do tecido ósseo ao redor de diferentes superfícies de implantes em humano"

AUTOR: WELLINGTON DA ROCHA GOUVEIA

ORIENTADOR: ANTONIO CARLOS GUASTALDI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em BIOTECNOLOGIA, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ANTONIO CARLOS GUASTALDI
Departamento de Físico-Química / Instituto de Química - UNESP - Araraquara

Prof. Dr. ANDRÉ DE SOUZA TARALLO
Departamento de Computação / Instituto Federal de São Paulo - IFSP - Araraquara

Prof. Dr. LUIZ RICARDO MENANI
Cirurgião Dentista / Clínica de Odontologia - Ribeirão Preto

Prof. Dr. VANDERLEI SALVADOR BAGNATO
Departamento de Física e Ciência dos Materiais / Instituto de Física - USP - São Carlos.

Prof. Dr. JONAS DE CARVALHO
Departamento de Engenharia Mecânica / Escola de Engenharia de São Carlos - USP - São Carlos

Araraquara, 17 de dezembro de 2018

Dedicatória

Primeiramente a Deus, que nos criou e foi criativo nesta tarefa. A minha amada mãe Maria Aparecida que já não está entre nós, aos meus irmãos Wignas e Weder, aos meus sobrinhos Bianca, Maria Vitória, Wallace e Enzo, ao meu avô Justiniano (in memoriam) e aos meus tios Almir e Lucia.

Agradecimentos

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

A minha mãe Maria Aparecida (in memorian), que mesmo não estando entre nós, sempre me deu energia para a conquista deste trabalho e aos meus tios Almir e Lucia pelo apoio e compreensão não só durante os estudos mas por toda a minha vida.

Agradeço aos meus irmãos Wignas e Weder, as minhas cunhadas Gleice e Rose e aos meus sobrinhos Enzo, Maria Vitória, Wallace e Bianca e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu vencesse esta etapa da minha vida.

A toda minha família, pelo companheirismo, paciência, carinho e incentivo. Em especial ao meu avô Justiniano (in memorian), as minhas primas Mônica, Rosana e Giovana e as minhas tias Jacinta e Mariana.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos Guastaldi, pela oportunidade, paciência e orientação para a realização deste trabalho.

A todos os meus amigos em especial à Antonio Maurio Villas Boas, André Tarallo e Fabio de Oliveira, que sempre me incentivaram e não deixaram de me apoiar nos melhores e piores momentos.

Aos meus professores do IQ/UNESP pelos ensinamentos passados e pela amizade conquistada.

Aos colegas do Grupo de Biomateriais do IQ/UNESP, pela amizade e pelas valiosas colaborações prestadas em especial ao Dr. Fernando Guastaldi.

Aos meus colegas de trabalho da Etec Paulinho Botelho - Centro Paula Souza e do Centro Universitário Central Paulista – UNICEP que de alguma maneira contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

A Agencia de Inovação e Empreendedorismo Inova Paula Souza, pelo programa de qualificação para estudos de Mestrado & Doutorado na Universidade Estadual Paulista.

A todos funcionários da Seção Técnica de Pós-Graduação do Instituto de Química da UNESP de Araraquara, em especial a Wennia, Cintia e Ana Paula pela atenção e serviços prestados.

À todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram na construção deste trabalho.

“Faça o que for necessário para ser feliz. Mas não se esqueça que a felicidade é um sentimento simples, você pode encontrá-la e deixá-la ir embora por não perceber sua simplicidade.”

Mario Quintana

Resumo

A reabilitação oral utilizando-se implantes dentários está dentre os procedimentos necessários para a manutenção da qualidade de vida do cidadão. No Brasil, são instalados aproximadamente 1 milhão de implantes por ano. Atualmente o procedimento para a instalação de implantes e, subsequentemente, a reabilitação com próteses sobre implantes tem seus custos determinado com os materiais utilizados e pelo tempo que o profissional dispense neste tipo de procedimento. As metodologias modernas, não acompanham a demanda crescente por este tipo de procedimento. É importante salientar que devido ao grande avanço nos equipamentos utilizados para obtenção de radiografias digitais odontológicas, surge a necessidade do desenvolvimento de novas metodologias computacionais para o auxílio no diagnóstico. Essa tese apresenta o início do desenvolvimento de novas metodologias computacionais para processamento e análise de radiografias digitais odontológicas, metodologias essas de suma importância na área odontológica, pois devido ao envelhecimento da população e cada vez mais a necessidade de reabilitação oral com implantes dentários, demonstra que é de suma importância o desenvolvimento de novas metodologias para auxiliar os profissionais de odontologia em seus diagnósticos.

Palavras-chaves: Materiais biomédicos; Implantes dentários; Software; Radiografia; Processamento de imagens.

Abstract

Oral rehabilitation using dental implants is among the procedures necessary to maintain the quality of life of the citizen. In Brazil, approximately 1 million implants are installed per year. Currently, the procedure for the implant installation and, subsequently, the rehabilitation with implants has its costs determined with the materials used and the time that the professional spends on this type of procedure. Modern methodologies do not accompany the increasing demand for this type of procedure. It is important to note that due to the great advance in the equipment used to obtain dental digital radiographs, the need arises for the development of new computational methodologies to aid in diagnosis. This thesis presents the beginning of the development of new computational methodologies for the processing and analysis of dental digital radiographs, which are extremely important methodologies in the dental area, since due to the aging of the population and increasingly the need for oral rehabilitation with dental implants, the development of new methodologies to assist dentistry professionals in their diagnosis is of paramount importance.

Keywords: Biomedical materials; Dental implants; Software; Radiography; Image processing.

Lista de Figuras

Figura 1: Osseointegração	15
Figura 2: Equipamento Osstell®	16
Figura 3: Mandíbula edentula total.....	17
Figura 4: Exemplo do nível da crista óssea peri-implantar de implantes	20
Figura 5: Quatro implantes instalados, aleatoriamente e com diferentes tratamentos de superfície, entre os forames mentonianos.....	21
Figura 6: Mandíbula Edentula; Vista Inferior (80%); Destaque no Forame mental. .	22
Figura 7: Sensor Digital Direto de Radiografia Digital (Sensor CDR)	23
Figura 8: Exemplo de imagem adquirida com raios X digital odontológico	24
Figura 9: Face mesial e distal do implante	26
Figura 10: Exemplo de Imagem tomográfica.....	31
Figura 11: Imagens radiografias digitais odontológicas intraorais: (A) Ortoradial Direito e (B) Ortoradial Esquerdo	31
Figura 12: Nervo maxilar [V/2]; Nervo mandibular [V/3]; após remoção de uma parte da maxila e da mandíbula e exposição do canal da mandíbula; vista lateral; Destaque para a localização do Nervo mental	32
Figura 13: Implantes utilizados (A) SLActive® Straumann, (B) Implacil, (C) Implacil modificada por LASER com deposição de apatitas e (D) Implacil com superfície modificada por feixe de LASER	33
Figura 14: Exemplo de imagens de radiografias periapicais	34
Figura 15: Redimensionamento - (A) imagem original, (B) imagem redimensionada .	35
Figura 16: Gráfico com as posições dos implantes (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha	36
Figura 17: Segmentação - (A) Imagem radiográfica dos implantes, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna e (C) gráfico que representa a coluna de início e fim de cada implante possível implante na imagem	37
Figura 18: Segmentação - (A) Imagem radiográfica dos implantes, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha e (C) gráfico que representa a linha de início do implante na imagem.....	38
Figura 19: Segmentação - (A) imagem original e (B) imagem segmentada	39
Figura 20: Extração de Características - (A) imagem original e (B) imagem com aglomerado de pixels realçado	39
Figura 21: Mascaras 3x3, vertical e horizontal do operador de Sobel	40

Figura 22: Pós-processamento - (A) imagem com linhas para mostrar a localização dos pontos e (B) imagem rotacionada	40
Figura 23: Separação Osso/Implante - Implantes extraídos da imagem original	41
Figura 24: Separação Osso/Implante - (A) imagem contendo somente o implante e (B) imagem contendo somente osso	42
Figura 25: Histogramas: (A) histograma do implante e (B) histograma do osso	43
Figura 26: Gráfico e borda detectada entre o implante e o osso	43
Figura 27: Áreas localizadas ao redor do implante	44
Figura 28: Gráficos com informações sobre (A) altura do implante, (B) largura do implante e (C) crista óssea	45
Figura 29: Retas traçadas nas faces mesial e distal do implante	46
Figura 30: Gráficos para análise da perda óssea do paciente em diversos tempos, (A) gráfico de barras e (B) gráfico de linhas.....	47
Figura 31: Exemplo de área selecionada da imagem.....	48
Figura 32: Regiões selecionadas para cálculo da densidade óssea	49
Figura 33: Gráficos para análise da média de intensidade dos pixels por região	50
Figura 34: Gráfico para análise da densidade óssea por região e tempo.....	51
Figura 35: Segmentação do Lado Direito no Tempo 0 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	52
Figura 36: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 0 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	53
Figura 37: Segmentação do Lado Direito no Tempo 1 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	54
Figura 38: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 1 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	55
Figura 39: Segmentação do Lado Direito no Tempo 2 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	56
Figura 40: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 2 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	57

Figura 41: Segmentação do Lado Direito no Tempo 3 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	58
Figura 42: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 3 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	59
Figura 43: Segmentação do Lado Direito no Tempo 4 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	60
Figura 44: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 4 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	61
Figura 45: Segmentação do Lado Direito no Tempo 5 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	62
Figura 46: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 4 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	63
Figura 47: Segmentação do Lado Direito no Tempo 5 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	64
Figura 48: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 4 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	65
Figura 49: Segmentação do Lado Direito no Tempo 6 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	66
Figura 50: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 6 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes	67
Figura 51: Grafico da mensuração automática no no implante 1.....	68
Figura 52: Grafico da mensuração manual no implante 1	69
Figura 53: Grafico da mensuração automática no implante 2	70
Figura 54: Grafico da mensuração manual no implante 2	70

Figura 55: Grafico da mensuração automática no implante 3	71
Figura 56: Grafico da mensuração manual no implante 3	72
Figura 57: Grafico da mensuração automática no implante 4	73
Figura 58: Grafico da mensuração manual no implante 4	73
Figura 59: Gráfico para análise da densidade óssea por região e tempo.....	75

Lista de Tabelas

Tabela 1: Valores do aumento ou diminuição da perda óssea	46
Tabela 2: Valores da média de intensidade dos pixels por região	49
Tabela 3: Valores da média de intensidade dos pixels por região – Convertido	50
Tabela 4: Valores de perda óssea utilizando metodologia desenvolvida – Implante 168	
Tabela 5: Valores de perda óssea utilizando mensuração manual – Implante 1.....	69
Tabela 6: Valores de perda óssea utilizando metodologia desenvolvida – Implante 269	
Tabela 7: Valores de perda óssea utilizando mensuração manual – Implante 2.....	70
Tabela 8: Valores de perda óssea utilizando metodologia desenvolvida – Implante 371	
Tabela 9: Valores de perda óssea utilizando mensuração manual – Implante 3.....	71
Tabela 10: Valores de perda óssea utilizando metodologia desenvolvida – Implante 4	72
Tabela 11: Valores de perda óssea utilizando mensuração manual – Implante 4.....	73
Tabela 12: Valores da média de intensidade dos pixels por região	74

Sumário

1	Introdução.....	15
1.1	Osseointegração	25
1.2	Mensuração da altura óssea.....	25
1.3	Detecção da Perda Óssea.....	25
1.4	Determinação da Densidade Óssea	27
2	Objetivos.....	28
2.1	Objetivos Específicos	28
3	Metodologia	29
3.1	Imagens Utilizadas	30
3.2	Processos para tratamento das imagens.....	34
3.2.1	Pré-processamento	34
3.2.2	Redimensionamento da imagem	35
3.2.3	Segmentação	36
3.2.4	Extração de características.....	39
3.2.5	Pós-processamento da imagem	40
3.2.6	Separação Osso/Implante	41
3.2.7	Localização da crista óssea.....	43
3.3	Determinação da Perda Óssea.....	44
3.3.1	Cálculo da distância entre os pontos	45
3.3.2	Comparação das distâncias em função do tempo	46
3.3.3	Armazenamentos da distância dos tempos	47
3.4	Determinação da Densidade Óssea	48
3.4.1	Cálculo da média de intensidade dos pixels	48
3.4.2	Comparação das densidades em função do tempo	49
3.4.3	Armazenamentos da densidade óssea em função do tempo.....	50
3.5	Ambiente de desenvolvimento.....	51
4	Resultados e Discussões.....	52
4.1	Resultados obtidos com o algoritmo de segmentação	52
4.2	Resultados da comparação da perda óssea.....	68
4.3	Resultados da comparação da densidade óssea.....	74
5	Conclusão.....	76
	Referências	77
	Anexo 1- Implantes Paciente 1	81

1 Introdução

O diagnóstico por imagem utilizando radiologia digital é empregado na odontologia para realizar exames por imagem de alta qualidade, o qual deverá fornecer o máximo de informações da região a ser analisada, sendo um importante recurso para auxiliar no diagnóstico odontológico.

A utilização da radiologia digital também trouxe benefícios na proteção radiológica, para o paciente e para os profissionais que operam os aparelhos, pela sensível diminuição das doses de radiação. O fator que, provavelmente, mais chama a atenção dos profissionais que atuam na área de diagnóstico é, sem dúvida, o manuseio das imagens, sejam elas fotográficas, radiográficas e/ou tomográficas. Recursos como contraste, brilho, ampliação e realização de medidas fazem parte da gama de ferramentas que garantem diagnósticos mais preciso e conseqüentemente, maior eficácia nos tratamentos odontológicos. As imagens digitais facilitam, também, o intercâmbio de informações entre profissionais, fator importante especialmente em casos mais graves, que requerem uma segunda opinião, contribuindo assim, com o avanço científico dos profissionais que a utilizam.

O exame clínico tem por objetivo oferecer ao profissional de odontologia informações a respeito do tratamento. Dessa forma, torna-se possível o estabelecimento do prognóstico e do plano de tratamento pelo clínico (ZYBUTZ et al., 2000).

A utilização de implantes osseointegrados na reabilitação oral vem aumentando significativamente nos últimos anos em função de estudos que apresentaram altos índices de sucesso e do desenvolvimento científico e industrial que ampliou a aplicação desses implantes (Attard, Zarb, 2005), criando assim a necessidade de melhores formas de avaliação da osseointegração.

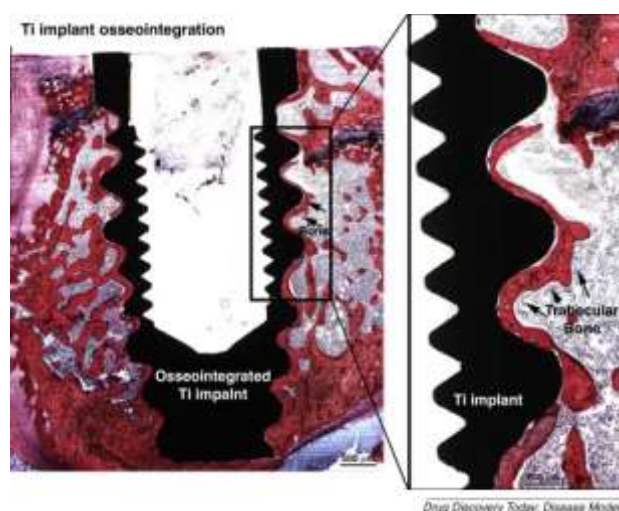
Segundo o CFO 2018, Conselho Federal de Odontologia, existe no Brasil um total de 312.923 cirurgiões dentistas inscritos sendo 15.020 implantodontistas no Conselho Federal de Odontologia (CFO). Destes, 92.120

encontram-se no Estado de São Paulo. Segundo o CROSP 2018, há uma estimativa de formação de mais de 2.000 especialistas em Implantodontia por ano, com uma previsão da instalação de 1 milhão de implantes anualmente, demonstrando inequivocamente a aplicação do projeto desenvolvido.

As melhorias nas propriedades dos implantes têm sido demonstradas em vários estudos, em virtude dos avanços micro e macros estruturais, que permitiram sua ativação imediata ou precoce. Esses procedimentos estão sendo muito apreciados pelos pacientes, pois diminuem o tempo de tratamento e reduzem também o desconforto devido a perda parcial ou total de dentes (DONATI et al., 2008; PALATTELLA; TORSELLO; CORDARO, 2008).

Segundo Branemark 1977, a osseointegração define-se como uma conexão direta estrutural e funcional entre o osso vivo, ordenado, e a superfície de um implante submetido a uma carga funcional. A obtenção e manutenção da osseointegração (Figura 1) dependem do conhecimento das capacidades de cicatrização, reparação e remodelação dos tecidos.

Figura 1: Osseointegração



Fonte: Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1740675714000395>

A consolidação da reabilitação com implantes osseointegráveis deu início a inúmeros trabalhos experimentais com o objetivo de ampliar as

possibilidades de resoluções protéticas frente às perdas dentárias. Em pouco tempo, reabilitações unitárias passaram a ser praticadas com grande previsibilidade funcional e estética. Desenhos dos implantes foram alterados conforme aumentava a necessidade de reabilitação nos locais onde a qualidade óssea dificultava a estabilidade inicial.

A estabilização inicial do material osseocondutor é de grande importância para os resultados de formação óssea. A presença de micromovimentos pode inibir o crescimento ósseo na superfície do biomaterial utilizado no implante (HJØRTING-HANSEN, WORSAAE, LEMONS, 1990).

Para medir a presença de micromovimentos e com isso a estabilidade dos implantes odontológicos pode-se utilizar o método de análise por frequência de ressonância (RFA) do complexo osso/implante, ou seja, pela leitura do quociente de estabilidade do implante (ISQ) registrado pelo equipamento Osstell® (BALLERI, 2002; SIM; LANG, 2010). O uso do Osstell® é utilizado como referência em estudos científicos e por especialistas em implantodontia (OSSTELL, 2018).

O Osstell® é um dispositivo que consiste em um pequeno transdutor piezoelétrico (SmartPeg - TM, Integration Diagnostics AB, Göteborg, Sweden), que após ser energizado por um pulso magnético, emite um sinal que é mensurado como uma função da frequência de ressonância. São disponíveis para vários sistemas de implante (Figura 2). Os transdutores imprimem uma força lateral fixa aos implantes e o deslocamento do sistema é, então, mensurado (OSSTELL, 2018).

O valor obtido pelo Osstell® é em Hertz, sendo convertido automaticamente para um índice chamado de Coeficiente de Estabilidade do Implante (CEI ou ISQ: Implant Stability Quotient), A escala do ISQ é formada por valores numéricos de 1 a 100, e quanto maior o valor do ISQ maior a estabilidade do implante. O aumento ou diminuição substancial na estabilidade do implante pode ser detectado por esse método, ao contrário de quando se realiza uma avaliação clínica (RODRIGO et al., 2009).

O equipamento Osstell® utiliza a análise por frequência de ressonância (RFA), que é um meio mais objetivo de avaliar a estabilidade do implante. O uso do RFA em investigações clínica indicam confiabilidade dos

examinadores e a repetitividade do dispositivo RFA, usado para medir a estabilidade do implante (DEGIDI et al., 2010; GABAY et al., 2012).

Figura 2: Equipamento Osstell®



Fonte: Disponível em <https://www.osstell.com/product/osstell-isq/>

Tecnologias para a produção de imagens radiográficas digitais estão disponíveis à comunidade Odontológica/Médica desde a década de 1980. A radiologia digital está subdividida em duas categorias principais: Radiografia Computadorizada (CR) e Radiografia Direta (DR). Em sistemas de radiologia direta a excitação do material e a detecção da radiação visível são realizadas em um único dispositivo concomitantemente. Na radiologia computadorizada, o material sensibilizado é promovido a estados excitados metaestáveis com tempo de vida de diversas horas, o que permite uma detecção tardia. Nesses sistemas CR existem dispositivos contendo as placas sensíveis chamados de “cassetes”, os quais após a incidência de radiação são levados a um equipamento separado (scanner) para a leitura e produção da imagem digital (UFFMANN et al., 2005).

Em Odontologia, sistemas digitais para radiografias panorâmicas foram os primeiros a serem introduzidos no mercado. Em meados da década de 1990, já estavam disponíveis equipamentos para a produção de imagens de raios X digitais intraorais. Esses sistemas baseiam-se em tecnologias com intensificadores convencionais acoplados a sensores ópticos de semicondutor (CCD/CMOS), ou sistemas baseados em placas de fósforo flexíveis (PSPL). (HAITER NETO; MELO, 2010).

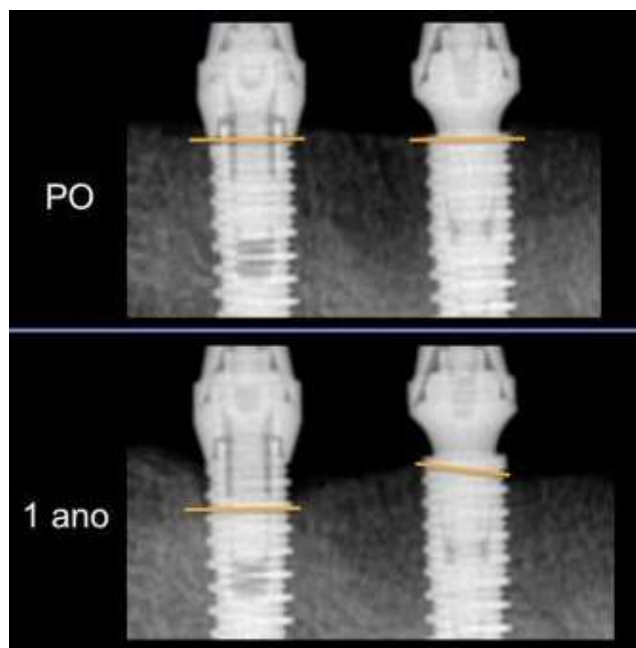
Foram obtidas radiografias digitais odontológicas intraorais de pacientes que já foram submetidos à instalação de implantes dentários (em diferentes períodos de evolução do processo), descritos no projeto: Processo FAPESP nº: 2014/05626-8 (**“Estudo prospectivo em humanos empregando-se implantes com diferentes tratamentos de superfície instalados em mandíbula com carga tardia e prótese protocolo”**). A proposta da pesquisa foi de analisar prospectiva e comparativamente, em mandíbulas edentulas totais de humanos (Figura 3), ou seja, mandíbulas com a ausência completa de dentes, a estabilidade dos implantes, a taxa de sobrevivência e o nível da crista óssea peri-implantar de implantes (Figura 4) com diferentes tratamentos de superfície.

Figura 3: Mandíbula edentula total



Fonte: Adaptação de Disponível em <http://ossos.com.br/loja/odontologia/mandibula/4010at-01-mandibula-edentula-com-reabsorc-o-ossea-i.html>

Figura 4: Exemplo do nível da crista óssea peri-implantar de implantes



Fonte: Adaptação de Disponível em:

<http://www.inpn.com.br/Materia/DiscussindoMerito/131990>

Foram selecionados vinte pacientes sem comprometimento sistêmico, não fumantes e desdentados totais. Serão instalados 4 implantes, distribuídos aleatoriamente entre os forames mentuais, sendo 1 implante de cada superfície por paciente (Figura 05).

Esses pacientes foram submetidos a procedimento cirúrgico para instalação de quatro implantes de 4,0 x 10 mm (conexão Cone Morse), entre os forames mentuais (Figura 6), sendo um implante de cada superfície distribuídos aleatoriamente, por paciente: (1) superfície modificada por feixe de LASER, (2) modificada por LASER com deposição de apatitas pelo método biomimético, (3) modificada por duplo ataque ácido (Implacil de Bortoli) e (4) modificada por jato de areia e ataque ácido (SLA Active, Straumann).

Figura 5: Quatro implantes instalados, aleatoriamente e com diferentes tratamentos de superfície, entre os forames mentonianos

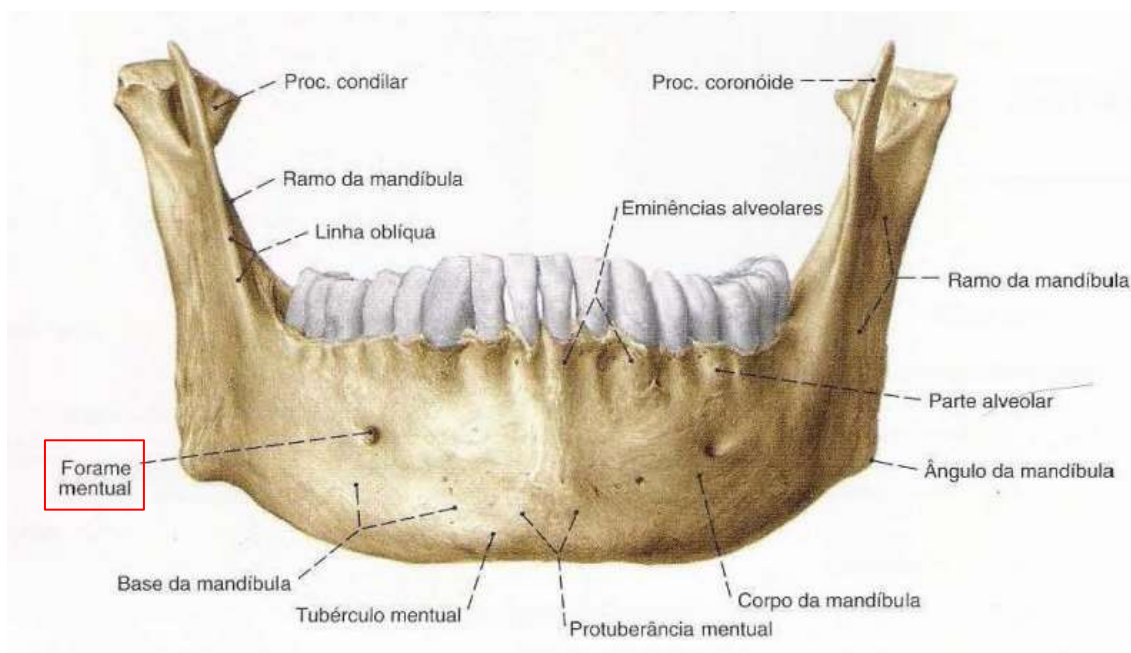


Fonte: Adaptação de Disponível em

<http://ossos.com.br/loja/odontologia/mandibula/4010at-01-mandibula-edentula-com-reabsorc-o-ossea-i.html>

As seguintes análises foram empregadas: clínica, frequência de ressonância (Osstell®), radiográfica e tomográfica. Após o período de 4 meses, como definido no projeto, foi realizada a instalação da prótese do tipo protocolo inferior. As análises clínica e radiográfica foram feitas nos períodos T0 (imediatamente após a instalação dos implantes), T1 (15 dias), T2 (30 dias), T3 (60 dias), T4 (90 dias), T5 (120 dias), T6 (180 dias), pós-instalação dos implantes.

Figura 6: Mandíbula Edentula; Vista Inferior (80%); Destaque no Forame mental.



Fonte: Adaptação de PAULSEN; WASCHKE, 2000

Para a avaliação radiográfica dos implantes nos diferentes períodos de análise, foram realizadas tomadas radiográficas da região dos implantes (uma tomada para cada dois implantes) pela técnica do paralelismo, utilizando o sensor radiográfico digital (Gendex). Na aquisição de imagem não foi aplicado nenhum tipo de filtro ou manipulação da mesma.

A padronização das radiografias foi obtida pela utilização do mesmo tempo de exposição, aparelho de raios X e posição geométrica. O posicionador radiográfico foi estabilizado na boca do paciente por meio da aplicação de resina acrílica (Pattern Resin, GC, Tóquio, Japão) na sua base e no dente da prótese total superior antagonista à região dos implantes, permitindo a reprodutibilidade das tomadas radiográficas.

Todas as tomadas radiográficas foram realizadas no mesmo aparelho de raios X seguindo os mesmos parâmetros de exposição, com 65 a 90 Kv, 7,5 a 10 mA e tempo controlado.

As imagens foram geradas utilizando Sensor Digital Direto de Radiografia Digital (Sensor CDR) com tecnologia de captura de imagens tipo

CMOS-APS (Figura 7), para o processamento foram utilizadas técnicas de visão computacional para a extração de características da imagem que são algoritmos utilizados para reduzir a quantidade de dados de entrada utilizado no processo de detecção (GOUVEIA et al, 2005).

Figura 7: Sensor Digital Direto de Radiografia Digital (Sensor CDR)



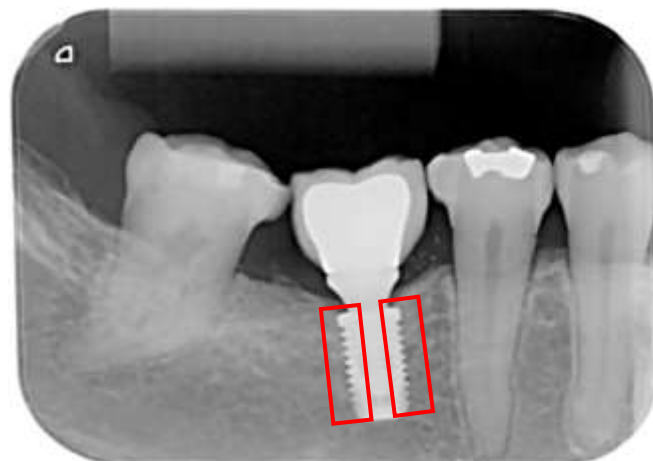
Fonte: Disponível em: <http://drnancyblock.com/general-dentistry/digital-x-rays/>

Porem foi usado reconhecimentos de padrões e dentre as principais técnicas utilizadas destacam-se os algoritmos de limiarização de imagens, detecção de bordas e extração de características, para realização da separação das regiões de osso e implante, para retornar somente a região e os pontos da imagem que serão realizadas às análises para determinar a perda óssea e a estabilidade do implante. Assim é possível o profissional de odontologia acompanhar a evolução do processo de osseointegração do implante no paciente.

O software armazena e compara os resultados obtidos nos diferentes tempos de análise (processo de comportamento do tecido ósseo) e, assim, permitir que o cirurgião dentista, com formação em implantodontia, obtenha resultados precisos e confiáveis sobre a evolução do tratamento. Os resultados foram apresentados em imagens geradas após o processamento, indicando as regiões analisadas e os resultados em cada região. Essa ferramenta que será um avanço no processo de diagnóstico por imagem utilizando raios X odontológicos intraorais.

Na Figura 8 são mostradas as regiões que serão extraídas da imagem para a realização do processamento e obtenção dos resultados.

Figura 8: Exemplo de imagem adquirida com raios X digital odontológico



Fonte: Autor

O trabalho foi desenvolvido em MATLAB (acrônimo de MATrix LABoratory), que é um software interativo de alta performance voltado para o cálculo numérico, que é a principal interface do usuário com o sistema proposto neste projeto. Através dele será possível analisar as imagens geradas pelo equipamento de raios X odontológico digital, bem como realizar o processamento e permitir que o profissional de Odontologia acompanhe o tratamento, visando dar maior suporte ao diagnóstico.

1.1 Osseointegração

A ocorrência da osseointegração depende do material, do tratamento da superfície do implante, do tipo do osso, da técnica cirúrgica, do desenho da prótese e do cuidado do paciente. A estabilidade do implante depende da conexão mecânica direta entre a superfície do implante e o osso circundante e pode ser dividida em estabilidade primária, secundária e terciária. A estabilidade primária é aquela obtida logo após a implantação, a estabilidade secundária é alcançada com a osseointegração e a estabilidade terciária refere-se à manutenção dessa fixação. A estabilidade primária é considerada fundamental para obtenção da osseointegração e depende da qualidade e quantidade óssea, da geometria do implante e da técnica de preparação cirúrgica (ELIAS, 2011, LUCAS, 2014).

1.2 Mensuração da altura óssea

A mensuração da altura óssea para avaliar a possível perda óssea marginal (peri-implantar) será realizada na distal e na mesial de cada implante utilizando a porção mais superior da plataforma do implante como ponto de referência até o contato ósseo com o corpo do implante (o ponto mais superior da crista óssea marginal) (GRÖNDAHL et al., 1998), bilateralmente, empregando-se o software de análise de imagens ImageJ, versão Latest.

1.3 Detecção da Perda Óssea

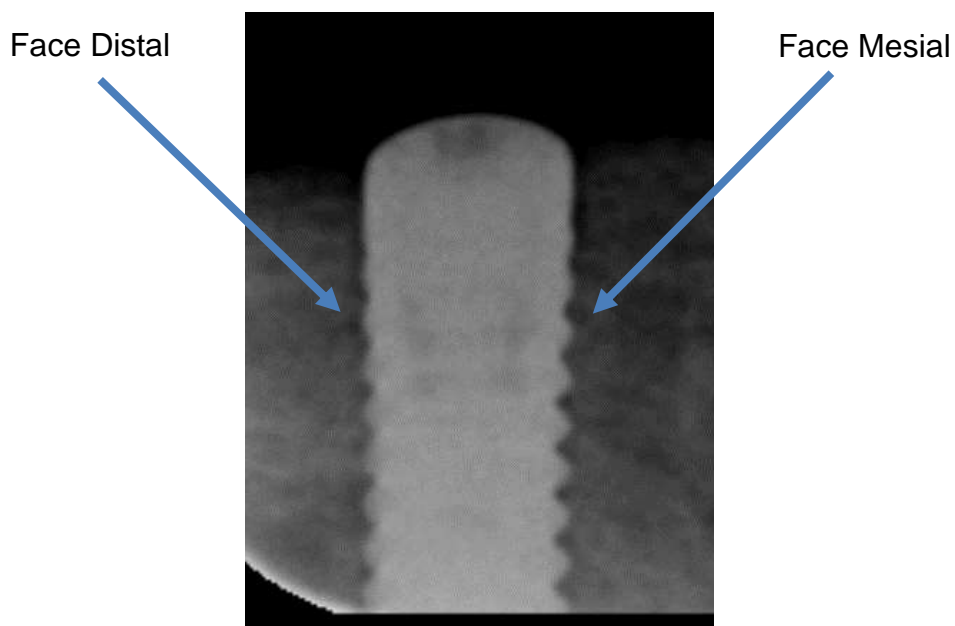
O processo de análise da perda óssea linear, após a instalação de implantes dentários, é realizado, analisando radiografias digitais odontológicas intraorais em diferentes períodos. A implementação desse processo foi realizada por meio dos processos para localizar a crista óssea em cada implante, determinar os pontos na crista óssea e nas faces mesial e distal dos implantes

(Figura 9), calcular as distâncias entre os pontos determinados e realizar a comparação das distâncias entre os tempos do tratamento.

A localização da crista óssea, é realizada determinando e analisando as regiões que contem osso e implante, realizando assim a detecção de borda e com isso detectando a região onde acaba o osso e inicia o implante na crista óssea.

Após localizar os locais de início e fim do implante na crista óssea, são marcados quatro pontos, sendo dois na face mesial e dois na face distal do implante, pontos esses que serão utilizados para calcular a distancia entre os pontos de cada face.

Figura 9: Face mesial e distal do implante



Fonte: Adaptação Projeto Fapesp

O cálculo da comparação das distâncias em diversos tempos, será realizado utilizando os dados armazenados em arquivos digitais que contem:

- a) Os dados da localização dos pontos em cada implante;
- b) A distância média entre dois pontos, dada por uma reta, entre os dois pontos encontrados em cada uma das faces do implante.

Com isso são comparados o aumento ou diminuição da distância em cada face do implante e assim apresentar a evolução do aumento ou diminuição da perda óssea.

1.4 Determinação da Densidade Óssea

Para determinar a densidade óssea nos lados mesial e distal do implante utilizando radiografias digitais odontológicas intraorais nos tempos de tratamento do paciente, são realizadas as tarefas de localização da crista óssea, determinação dos pontos próximos ao implante e o armazenamento da densidade óssea.

A localização da crista óssea consiste na execução de um algoritmo de detecção das bordas, aplicado na imagem segmentada que não possui o implante, permitindo assim obter os dados da altura da crista óssea na imagem e a sua altura próxima à região do implante.

Tendo detectado a região correspondente ao implante e a localização da crista óssea, é possível determinar 4 (quatro) pontos próximos ao implante que serão utilizados para o cálculo da intensidade dos pixels.

O cálculo da média de intensidade dos pixels é realizado marcando uma área de 30x30 pixels em dois pontos encontrados na face mesial e distal do implante, e calculada a média de valores correspondente à intensidade da cor de cada pixel em cada uma das áreas selecionadas.

O armazenamento da densidade óssea para cada tempo é realizado em um arquivo texto contendo a localização dos pontos em cada implante, a média de intensidade e o tempo de realização do exame.

Para realizar o cálculo da comparação das densidades em diversos tempos, será utilizado os dados armazenados em arquivos de dados que contém informações da análise do implante nos diversos tempos do tratamento. Para isso serão comparados o aumento ou diminuição da densidade óssea em cada área selecionada próxima a face do implante e assim apresentar a evolução do aumento ou diminuição da densidade óssea.

2 Objetivos

Tendo como objetivo principal desse trabalho, o passo inicial para o desenvolvimento de novas metodologias computacionais que serão aplicadas em imagens radiográficas digitais, tendo em vista a grande evolução dos equipamentos utilizados na aquisição de imagens, como sensor intraoral por exemplo o sistema CCD e scanners de leitura de placas de fósforo.

O resultado deste trabalho, é um programa de computador (software), que conjugado com os leitores de radiografias digitais tornará a análise da estabilidade óssea ao redor de implantes à longo prazo, um procedimento seguro e economicamente acessível para os profissionais, que atuam na reabilitação oral com implantes dentários. Esta pesquisa propicia uma grande evolução na área de processamento digital de imagens odontológicas; processando dados adquiridos para análise e aplicação de conhecimentos, fornecendo grandes quantidades de informações relevantes, que possibilitará aos profissionais da área odontológica tomar decisões precisas, auxiliar no exame clínico e acompanhar a evolução do tratamento realizado.

2.1 Objetivos Específicos

Detecção da perda óssea linear, o processo de análise da perda óssea linear, após a instalação de implantes dentários.

Determinação da densidade óssea, para determinar a densidade óssea nos lados mesial e distal do implante utilizando radiografias digitais odontológicas intraorais nos tempos de tratamento do paciente, são realizadas as tarefas de localização da crista óssea, determinação dos pontos próximos ao implante e o armazenamento da densidade óssea.

3 Metodologia

O objetivo da radiografia é reproduzir imagens com qualidade, empregando-se a menor dose de radiação possível. Para que o exame radiográfico possa contribuir eficazmente com o tratamento e beneficiar o profissional e o paciente, a presença de falhas, seja provocada durante a exposição ou no processamento radiográfico, uma vez que pode resultar imagens inadequadas, ocasionando interpretação errônea, além de acarretar repetições desnecessárias do exame, com conseqüente aumento da exposição dos pacientes à radiação. Atualmente, a baixa qualidade de imagens radiográficas pode ser um fator responsável pela redução da precisão de diagnósticos, desacreditando a radiografia como instrumento de diagnóstico, como foi apontado pela Organização Mundial de Saúde (OMS). (YACOVENCO, 2001).

A avaliação da qualidade da imagem de raio X é subjetiva e resulta da combinação de vários fatores como: densidade, contraste, incidência dos raios X, posicionamento do filme radiográfico, uso correto de posicionadores radiográficos, tempo de exposição e até etapas relacionadas ao processamento (SARMENTO; PINHO; RIVAS, 2002). Essa qualidade não depende somente dos aparelhos de raios X, filme e câmara escura, mas principalmente, da habilidade dos profissionais envolvidos (WUEHRMANN; MANSON-HING, 1981).

O presente trabalho foi dividido em dois processos principais:

- Detecção da perda óssea linear;
- Determinação da densidade óssea.

Processos esses que auxiliarão o profissional da área de implantodontia a determinar se ocorre o processo de osseointegração do implante, para a execução dos processos principais do trabalho. Inicialmente é realizada a execução das seguintes atividades:

1. **Pré-processamento**, aplicado para redução de ruído e melhoria da qualidade da imagem de entrada;
2. **Redimensionamento da imagem**, irá alterar o tamanho da imagem de 476 x 624 pixels para 3120 x 2380 pixels, equivalente a 5 (cinco)

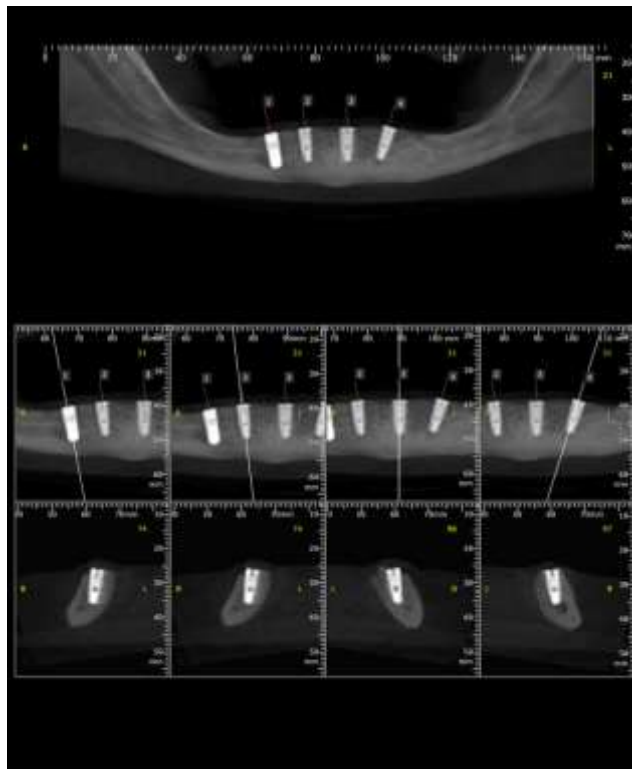
vezes o tamanho da imagem original, tamanho esse que auxiliou na extração máxima de detalhes na imagem, o que ajuda no processo de segmentação e de extração de características;

3. **Segmentação**, aplicada para retirar da imagem todas as regiões detectadas como não parte do implante ou osso;
4. **Extração de características**, em cada objeto localizado na etapa anterior;
5. **Localização dos implantes**, realizada após a etapa de extração de características, sendo que a imagem de entrada é dividida em imagens menores contendo o implante e parte do osso ao redor do implante. Essas novas imagens são utilizadas na execução das próximas tarefas, entre elas:
 - a. localização da crista óssea, utilizada para determinar a perda óssea;
 - b. módulo de separação do osso e implante que será utilizado para detectar as regiões próximas ao implante, que determinando a evolução da estabilidade do implante.
6. **Pós-processamento da imagem**, para destacar as características relevantes em cada implante, localizado na etapa anterior. Nesta etapa acontece a rotação do implante, a detecção das bordas e histogramas, contribuindo com os processos de detecção da perda óssea linear e da determinação da densidade óssea.

3.1 Imagens Utilizadas

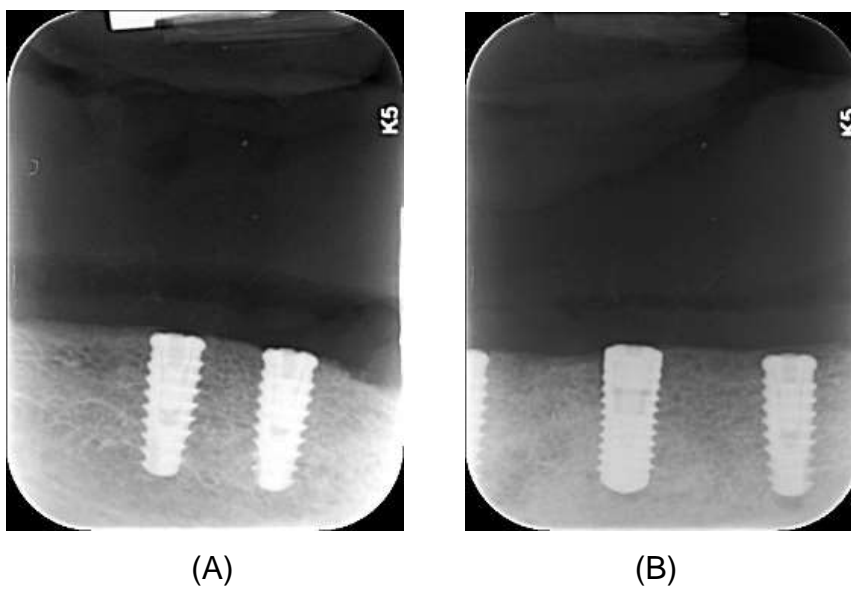
As imagens utilizadas no trabalho foram obtidas por meio de imagens tomográficas (Figura 10) e de radiografias digitais odontológicas intraorais (Figura 11) de pacientes que já foram submetidos à instalação de implantes dentários (em diferentes períodos de evolução do processo), descritos no projeto: Processo FAPESP nº: 2014/05626-8 (“**Estudo prospectivo em humanos empregando-se implantes com diferentes tratamentos de superfície instalados em mandíbula com carga tardia e prótese protocolo**”).

Figura 10: Exemplo de Imagem tomográfica



Fonte: Projeto Fapesp

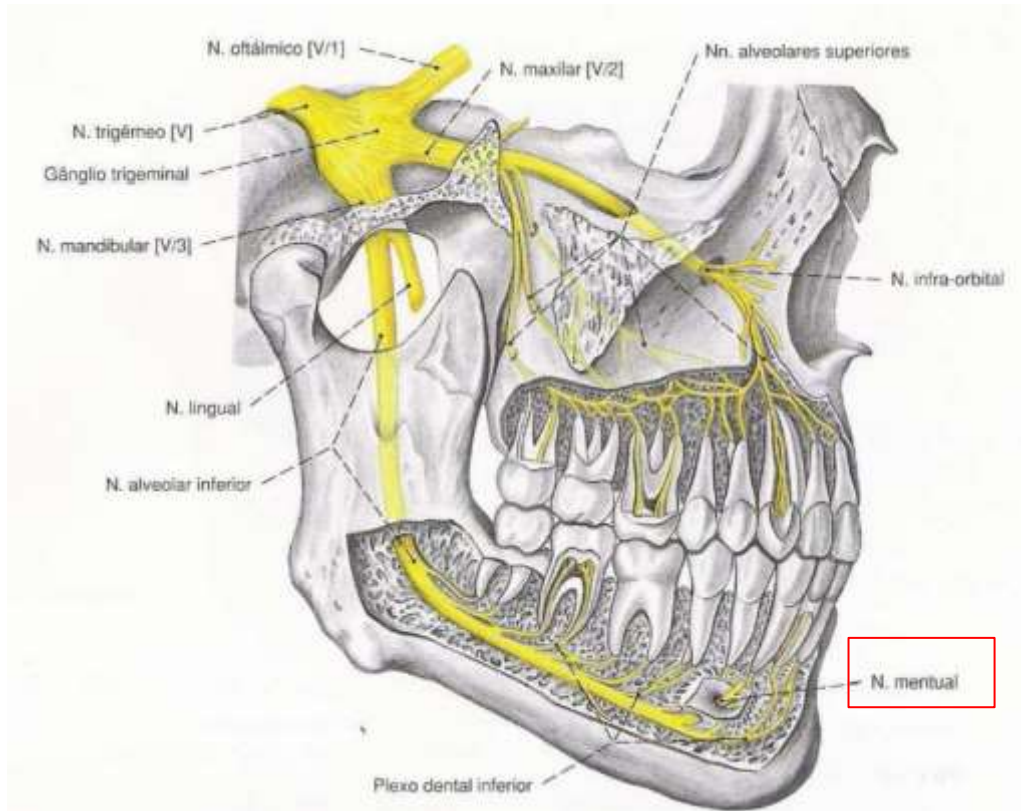
Figura 11: Imagens radiografias digitais odontológicas intraorais: (A) Ortoradial Direito e (B) Ortoradial Esquerdo



Fonte: Projeto Fapesp

O formato digital utilizado para salvar as imagens foi o TIFF (*Tagged Image File Format* - Formato de Arquivo de Imagem com Tags) que é um formato de arquivos gráficos do tipo bitmap (conjunto de *pixels* (pontos) que carregam uma informação de cor). As imagens radiográficas periapicais digitais (Gendex, Dentisply Int., Chicago, IL, USA) representando a mandíbula reabilitada com 4 implantes dentários (lados direito e esquerdo), entre os nervos mentuais conforme mostrada na Figura 12, que se exterioriza através do forame mental, de 20 pacientes, nos períodos T0 (imediatamente após a instalação do implante), T1 (após 15 dias), T2 (após 30 dias), T3 (após 60 dias), T4 (após 90 dias), T5 (após 120 dias), T6 (após 180 dias), totalizando 279 imagens com tamanho de 473 x 624 pixels.

Figura 12: Nervo maxilar [V/2]; Nervo mandibular [V/3]; após remoção de uma parte da maxila e da mandíbula e exposição do canal da mandíbula; vista lateral; Destaque para a localização do Nervo mental



Fonte: PAULSEN; WASCHKE, 2000

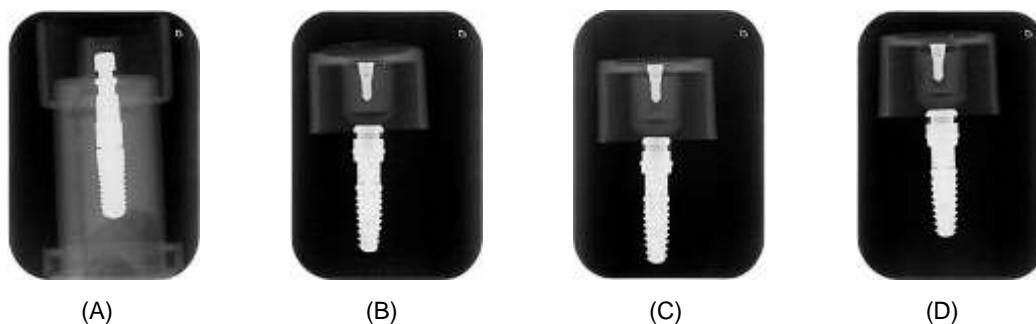
Foram utilizadas ainda, imagens tomográficas de cada paciente nos tempos T0, T4 e T7, totalizando 59 imagens, utilizadas para determinar a localização e qual o tipo de implante utilizado.

As imagens radiografias digitais intraorais e imagens tomográficas de cada paciente possuem as seguintes características:

- Formato TIFF (*Tagged Image File Format* - Formato de Arquivo de Imagem com Tags) que é um formato de arquivos gráficos bitmap, com tamanho de 473 x 624 pixels;
- Imagens radiografias periapicais digitais (Gendex, Dentisply Int., Chicago, IL, USA) representando a mandíbula reabilitada com 4 implantes dentários (lados direito e esquerdo), entre os nervos mentuais, de 20 pacientes, nos períodos de T0 à T6, totalizando 279 imagens;
- Imagens de Tomografias nos tempos T0, T4 e T7, totalizando 59 imagens, que serão utilizadas para determinar a localização e qual tipo de implante utilizado.

Cada paciente recebeu quatro implantes como visto nas imagens obtidas em cada tempo do tratamento, os implantes utilizados são de tipos diferentes e de diversos fabricantes, entre eles: SLActive® Straumann (Straumann, Villeret, Suíça); Implacil (Implacil De Bortoli, São Paulo, SP, Brasil); Implacil modificada por LASER com deposição de apatitas e Implacil superfície modificada por feixe de LASER. (Figura 13).

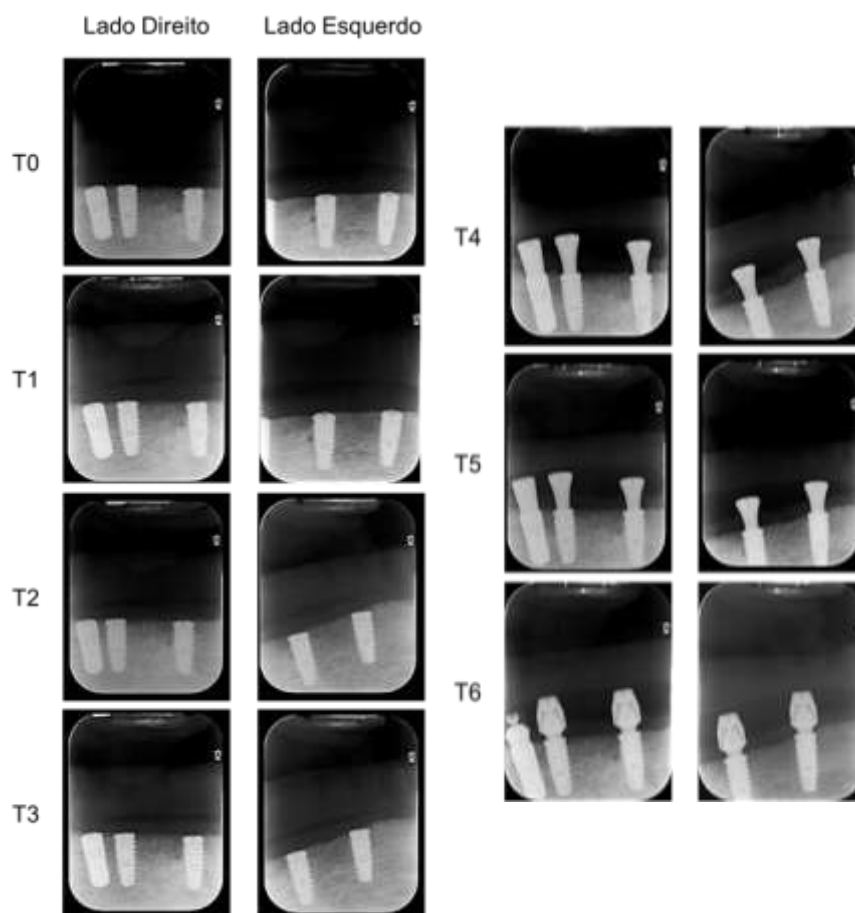
Figura 13: Implantes utilizados (A) SLActive® Straumann, (B) Implacil, (C) Implacil modificada por LASER com deposição de apatitas e (D) Implacil com superfície modificada por feixe de LASER



Fonte: Autor

Na figura 14, são apresentados os implantes nos tempos T0 até T6, instalados nas posições 33 (corresponde ao lado extremo esquerdo), posição 31 (corresponde ao lado central esquerdo), posição 43 (corresponde ao lado extremo direito) e posição 41 (corresponde ao lado extremo direito).

Figura 14: Exemplo de imagens de radiografias periapicais



Fonte: Projeto Fapesp

3.2 Processos para tratamento das imagens

3.2.1 Pré-processamento

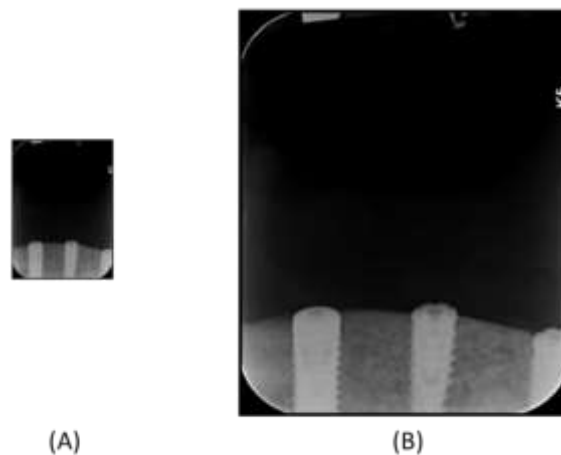
O pré-processamento é uma etapa importante para a segmentação da imagem e a sua função é melhorar a qualidade da imagem através da redução do ruído, ajuste de contraste e brilho.

Para a implementação dessa etapa foi realizada a conversão da imagem para níveis de cinza e utilizada a filtragem por mediana 3X3, que minimiza o ruído, mas preserva as bordas (GONZALES; WOODS, 2000).

3.2.2 Redimensionamento da imagem

A etapa de redimensionamento da imagem, altera o tamanho da imagem de 476x624 pixels para 3120x2380 pixels, equivalente a 5 (cinco) vezes o tamanho da imagem original (Figura 15), pois inicialmente foram realizados testes para extração de características ajustando a imagem em diversos tamanhos até obter o máximo de características com nesse processo é realizado a interpolação da imagem calculando uma média ponderada de alguns conjuntos de pixels na proximidade da localização do pixel e o ajuste da intensidade de tons de cinza da imagem e o método de análise da vizinhança para reconstruir os detalhes perdidos no processo redimensionamento.

Figura 15: Redimensionamento - (A) imagem original, (B) imagem redimensionada



Fonte: Adaptação Projeto Fapesp

Todo esse processo permite melhorar a identificação de detalhes, facilitando as tarefas de segmentação e de extração de características na imagem.

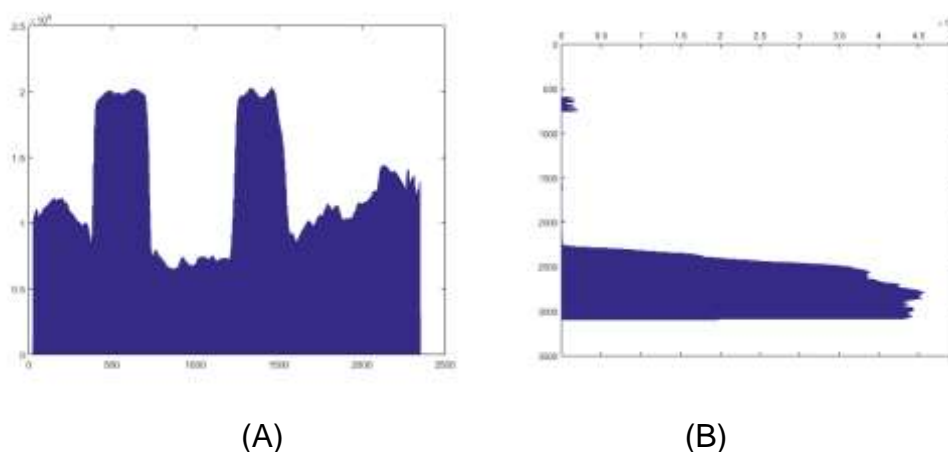
3.2.3 Segmentação

A etapa de segmentação consiste em separar as regiões que contem osso e implante das demais regiões da imagem.

Para implementação dessa etapa foi adotado o espaço de cores em tons de cinza, ou seja, os pixels possuem intensidade entre 0 e 255. Esse tipo de imagem é composto por tons de cinza que variam entre o preto com menor intensidade e o branco com maior intensidade. As imagens em tons de cinza são resultado de um cálculo de intensidade de luz em cada pixel, em cada faixa do espectro visível. As imagens em tons de cinza são armazenadas utilizando 8 (oito) bits para cada pixel, o que permite até 256 intensidades possíveis, armazenadas em escala não linear.

Na segmentação foi calculada a intensidade dos pixels brancos de cada linha e coluna da imagem e armazenadas em um vetor, apresentados no formato de gráficos (Figura 16).

Figura 16: Gráfico com as posições dos implantes (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha



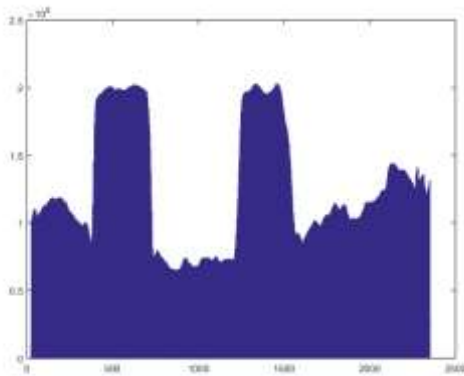
Fonte: Autor

Para localizar as possíveis colunas que se encontram os implantes são gerados gráficos que apresentam os picos da intensidade dos pixels mais claros, permitindo determinar onde inicia e termina o implante na imagem, conforme pode ser visto na Figura 17.

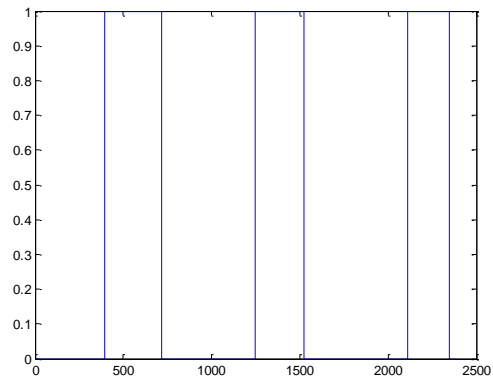
Figura 17: Segmentação - (A) Imagem radiográfica dos implantes, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna e (C) gráfico que representa a coluna de início e fim de cada implante possível implante na imagem



(A)



(B)



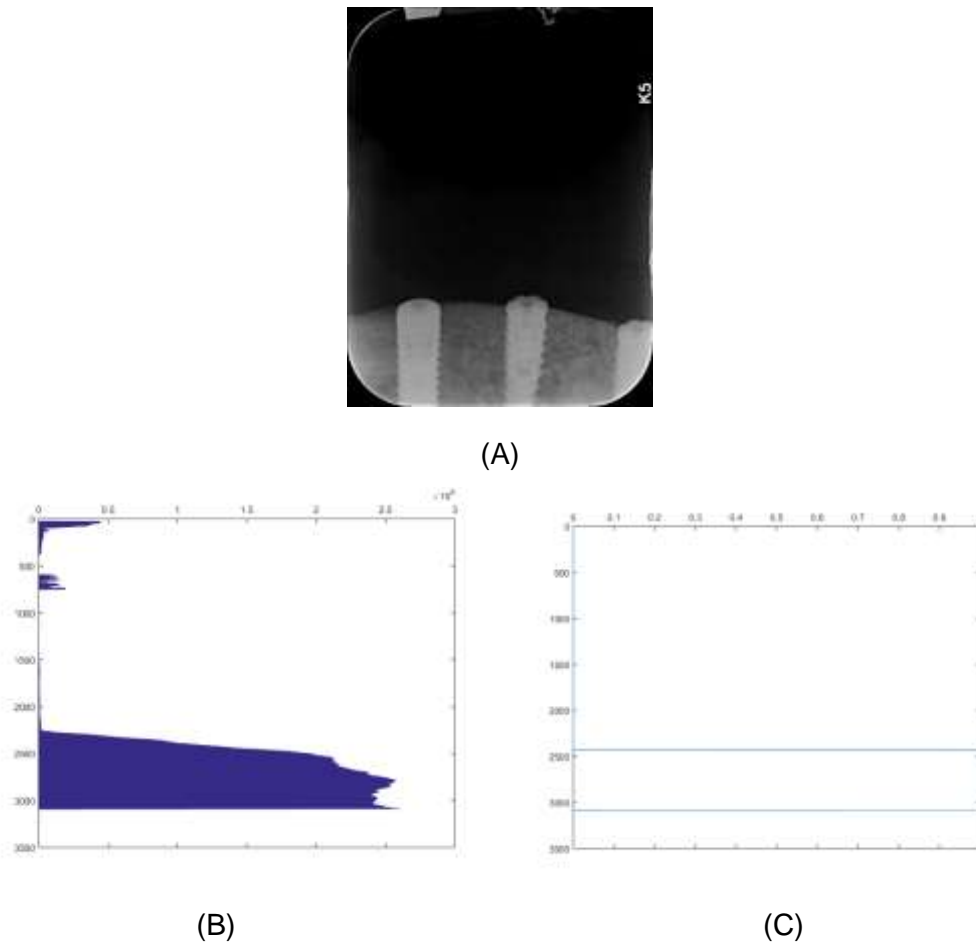
(C)

Fonte: Projeto Fapesp e Autor

Para localizar a linha que iniciam os implantes, foi gerado um gráfico que apresenta os picos da intensidade dos pixels brancos, permitindo determinar em qual linha começa e termina o implante na imagem, conforme pode ser visto na Figura 18.

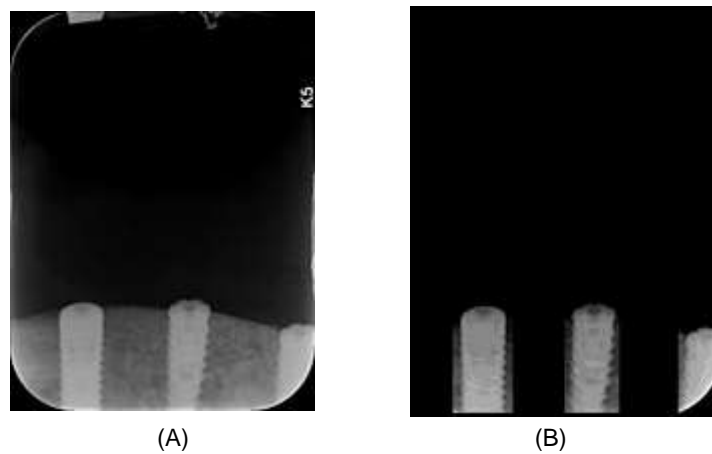
Dessa maneira é possível separar as regiões onde estão os implantes e remover todas as regiões que não são osso ou implante. No entanto é mantida uma pequena região que contém parte do osso próximo ao implante, conforme pode ser visualizada na figura 19.

Figura 18: Segmentação - (A) Imagem radiográfica dos implantes, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha e (C) gráfico que representa a linha de início do implante na imagem



Fonte: Projeto Fapesp e Autor

Figura 19: Segmentação - (A) imagem original e (B) imagem segmentada



Fonte: Autor

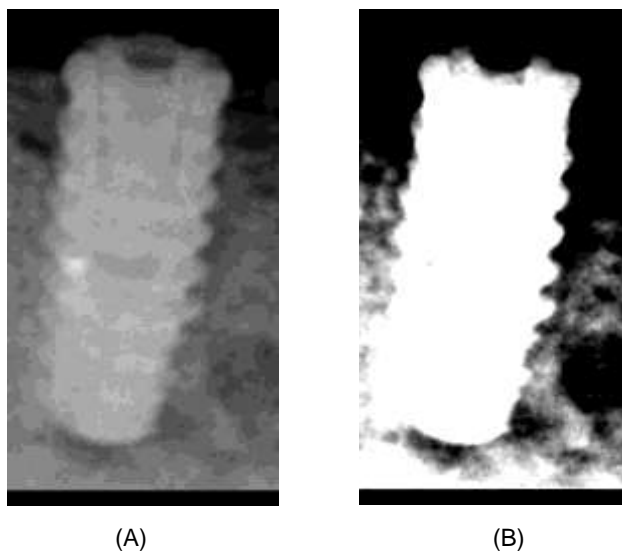
3.2.4 Extração de características

A etapa de extração de características é muito importante no processo de detecção de face, pois reduz a quantidade de dados de entrada para o processo de detecção de objetos (BIANCHI, 2006).

Nessa etapa são extraídas características da imagem resultante das tarefas anteriores, que são basicamente a região dos implantes e do osso que serão utilizadas nas próximas etapas para determinar a perda e a densidade óssea.

Para isso, é utilizada a imagem segmentada como entrada e retirada a região que possivelmente tem um implante criando assim uma nova imagem. Nessa nova imagem é analisada a região com maiores aglomerados de pixels claros, por meio da disposição e formato desse aglomerado na imagem, determinando o possível implante (Figura 20).

Figura 20: Extração de Características - (A) imagem original e (B) imagem com aglomerado de pixels realçado



Fonte: Autor

A extração de características é realizada em objetos detectados em blocos da imagem, através de um algoritmo de varredura, que irá separar e armazenar em uma matriz a posição de todos os objetos encontrados.

3.2.5 Pós-processamento da imagem

Na etapa de pós-processamento é realizada a rotação do implante e são aplicados filtros de dilatação na imagem, para corrigir pequenas falhas que tenham ocorrido na etapa de segmentação (GOUVEIA, 2010). Além disso, são aplicados ainda filtros de aguçamento para realçar detalhes finos ou detalhes que tenham sido borrados nos passos anteriores, e por fim a imagem é binarizada utilizando o método de Otsu (AZEVEDO et al, 2013), para permitir a detecção de bordas utilizando o operador Sobel na vertical e horizontal, cujas máscaras são apresentadas na figura 21.

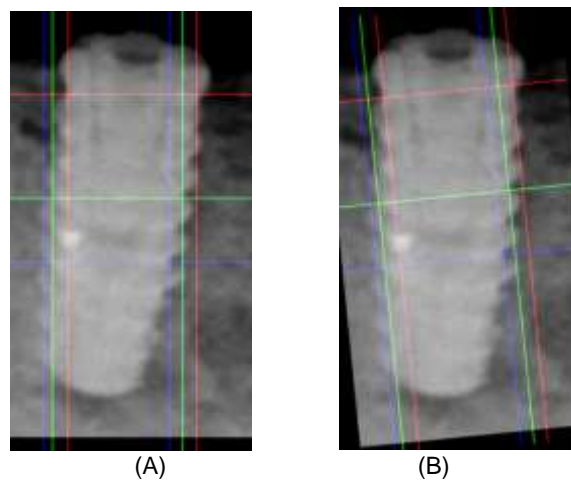
Figura 21: Máscaras 3x3, vertical e horizontal do operador de Sobel

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Fonte: GOUVEIA, 2010

O processo de rotação é realizado localizando seis pontos nas laterais do aglomerado de pixels. Utilizando o teorema de Pitágoras é calculado o valor do ângulo de rotação da imagem e um algoritmo é utilizado para rotacionar a imagem, conforme figura 22.

Figura 22: Pós-processamento - (A) imagem com linhas para mostrar a localização dos pontos e (B) imagem rotacionada



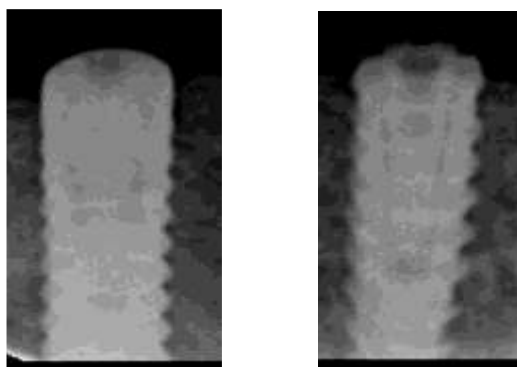
Fonte: Autor

3.2.6 Separação Osso/Implante

Para realizar a separação do osso e implante, é utilizado as informações geradas na etapa de extração de características e pós-processamento, que irá dividir a imagem de entrada em diversas imagens menores (Figura 23). Com essas imagens menores são realizadas tarefas como:

- a) Localização da crista óssea utilizado para determinar a perda óssea;
- b) Módulo de separação do osso e implante, que será utilizado para detectar as regiões próximas ao implante, que determinarão a evolução da estabilidade do implante.

Figura 23: Separação Osso/Implante - Implantes extraídos da imagem original



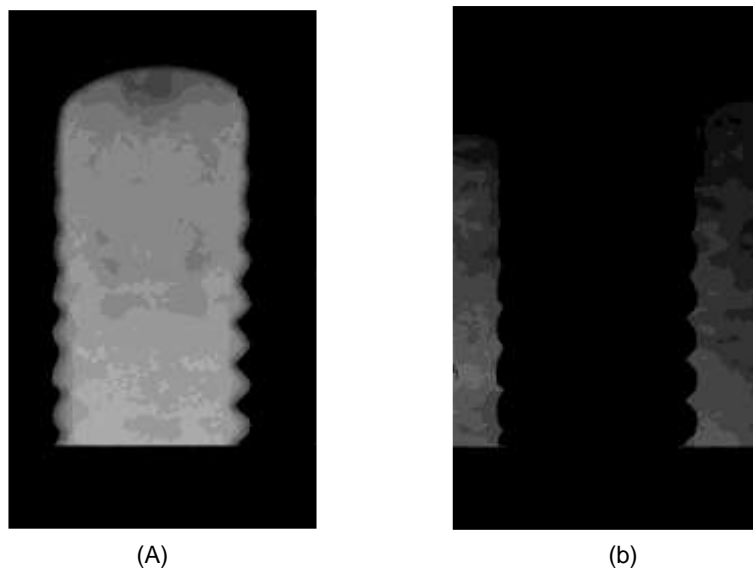
Fonte: Autor

A tarefa de geração de uma imagem contendo osso e outra contendo implante é dada após a tarefa de localização dos implantes. Com os implantes separados, é realizado um novo processamento para remoção das regiões que não pertencem ao implante ou ao osso, como exemplo a borda da radiografia.

Para a separação do osso e do implante, é gerado um histograma da região que contém o implante, informação essa obtida na etapa de extração de características. O histograma armazena em um vetor de cores a quantidade de cada tom de cinza contido na imagem. Utilizando os dados do histograma, é capturado o tom com maior intensidade, que caracteriza uma possível cor do implante, pois na radiografia o implante se apresenta em tons muito mais claros

que os tons atribuídos ao osso. Com o pico de cor capturado, é realizado a análise dos picos de cores vizinhas e determinado o limiar de cores relativo ao implante. Após a definição do limiar, é realizado a separação do osso e do implante e gerado novas imagens, conforme mostrado na figura 24.

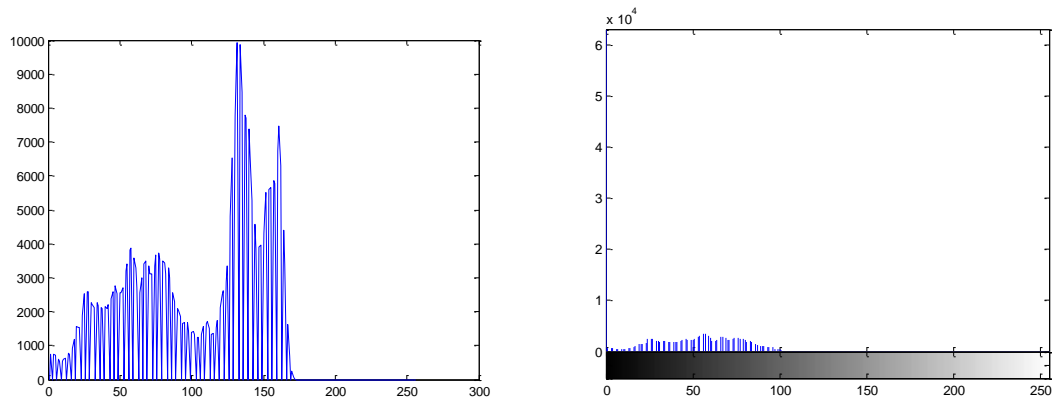
Figura 24: Separação Osso/Implante - (A) imagem contendo somente o implante e (B) imagem contendo somente osso



Fonte: Autor

A figura 25 apresenta o histograma do implante e do osso, que apresenta a informação sobre a distribuição estatística dos valores de cor na imagem. Assim é possível notar a quantidade de tons de cinza em cada imagem. Neste trabalho eles são utilizados para equalizar a imagem e possibilitar a localização e retirada das regiões no osso, contendo áreas denominadas como não osso.

Figura 25: Histogramas: (A) histograma do implante e (B) histograma do osso

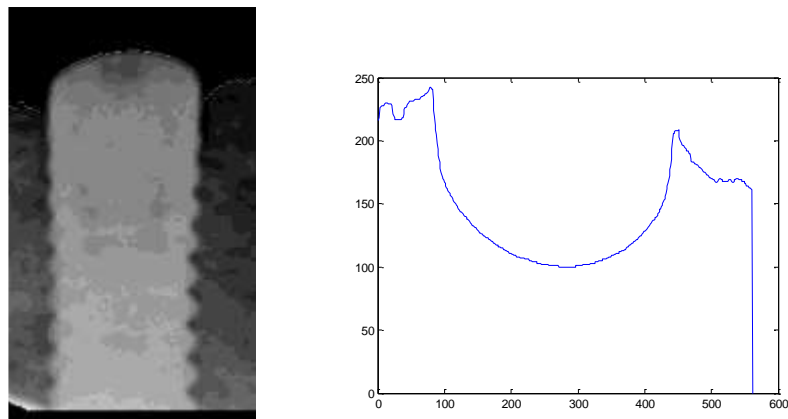


Fonte: Autor

3.2.7 Localização da crista óssea

A tarefa de localização da crista óssea utiliza dados adquiridos na etapa de extração de características, que contem informações sobre implante e osso. Dessa maneira é realizado a análise das regiões que contém osso e implante, por meio de um algoritmo para a detecção de borda, que analisa o limiar entre a região que compreende o osso/implante e a região detectada como não implante, como pode ser visto na figura 26. A figura 26 apresenta a borda detectada na região de implante e osso e o gráfico mostra os picos entre o osso e o implante.

Figura 26: Gráfico e borda detectada entre o implante e o osso



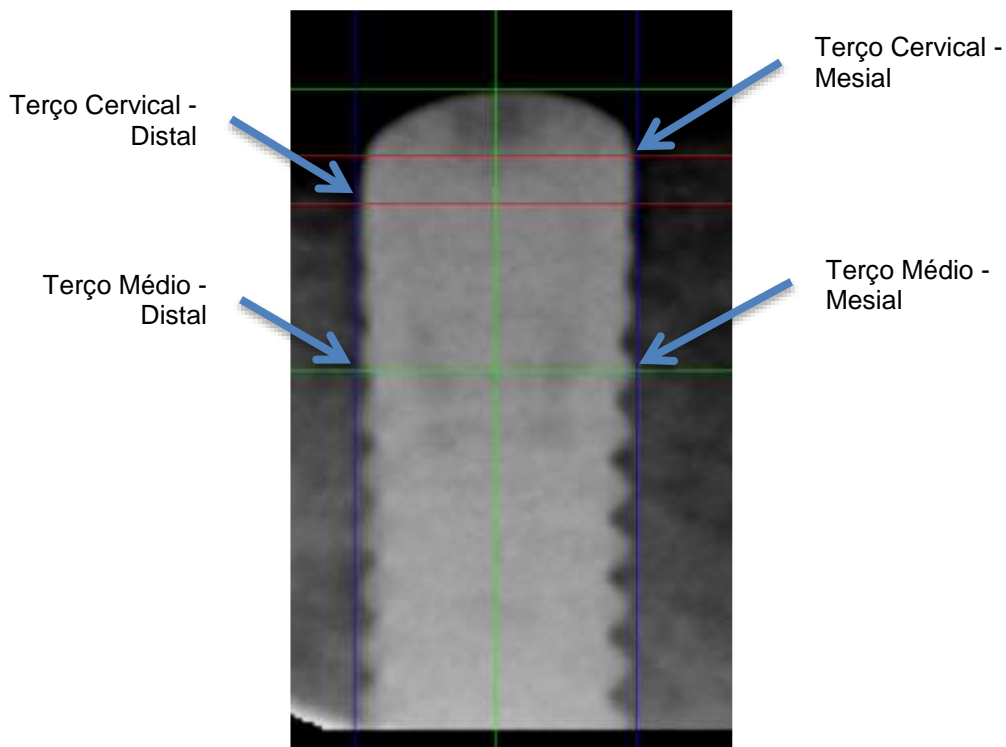
Fonte: Autor

3.3 Determinação da Perda Óssea

Para determinar a perda óssea é necessário estipular os pontos conforme descritos na figura 27:

- a. Terço Cervical - Mesial: área onde a crista óssea encontra-se com a face mesial do implante;
- b. Terço Médio - Mesial: área determinada na face mesial do implante correspondente a largura do implante;
- c. Terço Cervical - Distal: área onde a crista óssea encontra-se com a face distal do implante;
- d. Terço Médio - Distal: área determinada na face distal do implante correspondente a largura do implante.

Figura 27: Áreas localizadas ao redor do implante

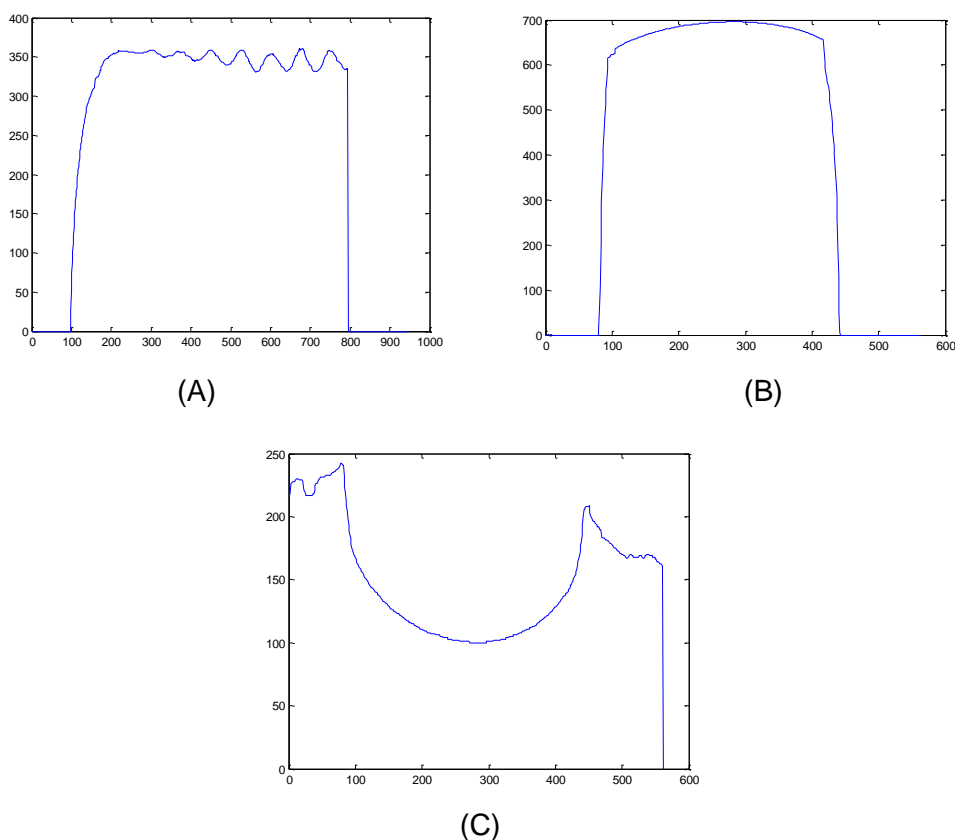


Fonte: Autor

3.3.1 Cálculo da distância entre os pontos

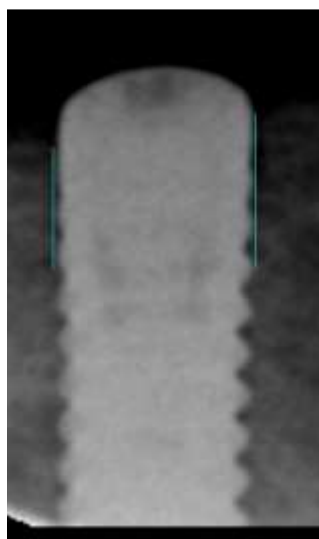
O cálculo da distância entre os pontos é utilizado para determinar a perda óssea ao redor do implante. Para isso é selecionado quatro pontos nas áreas Terço Cervical-Mesial, Terço Médio-Mesial, Terço Cervical-Distal e Terço Médio-Distal e traçado uma reta entre os pontos encontrados nas faces mesial e distal do implante para cálculo do tamanho das retas traçadas e assim determinando a distância média entre os pontos na reta. Isso é uma medida direta entre dois pontos, dada por uma reta, encontrada em cada uma das faces do implante, como demonstrado nas figuras 28 e 29. Esses valores são armazenados e utilizados para calcular a perda óssea entre os tempos.

Figura 28: Gráficos com informações sobre (A) altura do implante, (B) largura do implante e (C) crista óssea



Fonte: Autor

Figura 29: Retas traçadas nas faces mesial e distal do implante



Fonte: Autor

3.3.2 Comparação das distâncias em função do tempo

Com os dados da distância entre os pontos de cada face do implante armazenados, é realizada uma comparação entre os valores do T0 com o valor do tempo selecionado, para comparação do aumento ou diminuição da distância em cada lado implante conforme, Tabela 1.

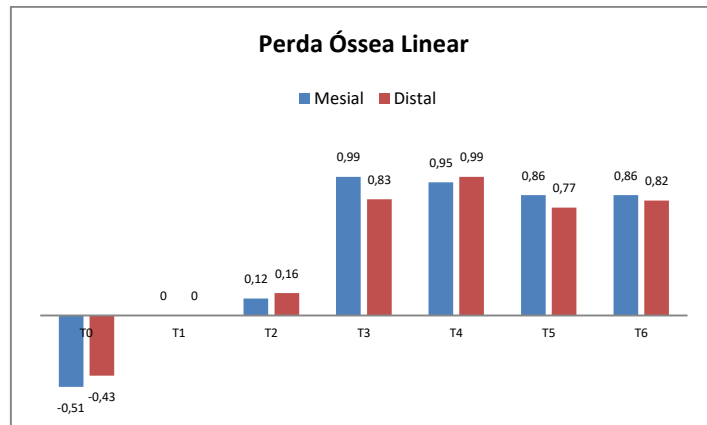
Tabela 1: Valores do aumento ou diminuição da perda óssea

Área	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Mesial	-0,51	0	0.12	0.99	0.95	0.86	0.86
Distal	-0,43	0	0.16	0.83	0.99	0.77	0.82

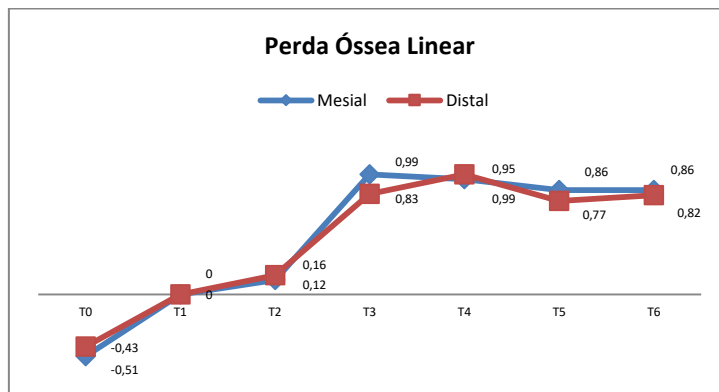
Fonte: Projeto Fapesp

É realizada uma análise da perda óssea por meio dos dados armazenados dos diversos tempos e apresentado em forma gráfica (Figura 30) da evolução do aumento ou diminuição da perda óssea, lembrando que a comparação é realizada sempre a partir do T0. Os resultados são utilizados pelo profissional de odontologia que irá analisar e decidir o melhor tratamento para o paciente.

Figura 30: Gráficos para análise da perda óssea do paciente em diversos tempos, (A) gráfico de barras e (B) gráfico de linhas



(A)



(B)

Fonte: Projeto Fapesp

3.3.3 Armazenamentos da distância dos tempos

O armazenamento da posição de cada ponto, a distancia média entre os pontos e o tempo do exame será armazenado em um arquivo texto em formato “.CSV” (*Comma Separated Values*), que é um arquivo de valores separados por vírgulas, facilitando a manipulação e exportação dos dados para outros programas.

3.4 Determinação da Densidade Óssea

3.4.1 Cálculo da média de intensidade dos pixels

O cálculo da média de intensidade dos pixels é realizado fazendo o cálculo da média de todos os valores contidos em cada área de 30x30 pixels (Figura 31), áreas essas denominadas Terço Cervical-Mesial, Terço Médio-Mesial, Terço Cervical-Distal e Terço Médio-Distal. Cada área forma uma matriz de números inteiros em que cada posição da matriz representa um pixel que contem a intensidade da cor de cada pixel.

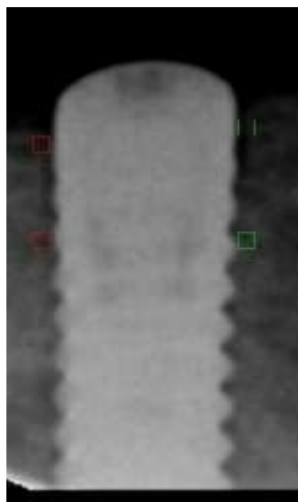
A Figura 32 apresenta as regiões selecionadas no implante, que são utilizadas para calcular a média de intensidade dos pixels. O valor médio está no intervalo de 0 a 255, onde o 0 representa o preto e o 255 representa o branco. Para apresentar o resultado da densidade óssea os valores médios são representados no intervalo de 0 a 100, sendo 0 nenhuma densidade e o 100 a máxima densidade na região selecionada próximo ao implante.

Figura 31: Exemplo de área selecionada da imagem

14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	11	11	11	10	10	10	10	11	13	13	13	13	11	11	11	11	11	
14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	11	11	11	11	13	13	14	14	14	13	13	13	13	13	13
16	14	14	14	14	14	14	14	14	14	16	16	16	14	14	13	13	11	13	13	14	14	16	16	14	14	13	13	13	13
17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	16	16	14	14	13	14	14	16	16	17	17	16	16	14	14	14	14
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	19	19	19	19	19	17	17	16	16	16	17	17	19	19	19	17	17	16	16	16
19	19	19	19	19	17	17	17	17	19	19	20	20	20	20	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19
19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	21	21	23	23	23	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	19	19	19	20	21	21	23	24	24	24	24	24	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
21	21	21	21	21	20	20	20	21	23	23	24	26	26	26	27	27	27	27	26	26	24	24	24	24	24	24	24	24	24
21	21	21	21	21	21	21	21	23	24	24	26	27	27	27	29	29	29	29	27	27	26	26	26	26	26	26	26	26	26
21	21	21	21	21	23	23	23	24	26	26	27	29	29	29	30	30	30	30	29	29	27	27	27	27	27	27	27	27	27
21	21	21	21	23	23	24	24	26	26	27	27	29	30	30	31	31	33	31	31	30	30	29	29	29	30	30	30	30	30
21	21	21	23	23	24	24	26	27	27	29	29	30	31	31	33	33	34	33	33	31	31	30	30	30	31	31	31	31	31
21	21	21	23	24	24	26	27	29	29	30	30	31	33	33	34	34	36	34	34	33	33	31	31	31	33	33	33	33	33
23	23	23	24	26	26	27	29	30	30	31	31	33	33	34	34	36	36	36	34	34	33	33	33	33	34	34	34	34	34
24	24	24	26	27	27	29	30	30	31	31	33	33	34	34	36	36	37	36	36	34	34	33	33	33	34	34	34	34	34
24	24	24	26	27	30	31	33	33	33	34	34	34	34	36	36	37	37	37	36	36	34	34	34	34	36	36	36	36	36
26	26	26	27	29	31	33	34	34	34	34	34	34	34	36	36	37	37	39	37	37	36	36	34	34	34	36	36	36	36
27	27	27	29	30	33	34	36	36	36	36	36	36	36	37	37	39	39	39	37	37	36	36	36	36	36	37	37	37	37
29	29	29	30	31	33	34	36	36	36	36	36	36	36	37	37	39	39	39	37	37	36	36	36	36	36	37	37	37	37
30	30	30	31	33	33	34	36	36	36	36	36	36	36	36	37	37	37	37	37	36	36	36	36	36	36	37	37	37	37
31	31	31	33	33	34	34	36	36	36	36	36	36	36	36	37	37	37	37	36	36	34	34	34	34	36	36	36	36	36
33	33	33	33	34	34	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	34	34	34	34	36	36	36	36	36	36
34	34	34	34	34	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	34	34	34	34	36	36	36	36	36	36
34	34	34	34	34	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	34	34	34	34	36	36	36	36	36	36
34	34	34	34	34	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	36	36	36	36	36
34	34	34	34	34	36	36	36	36	36	36	37	37	37	37	36	36	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
36	34	34	34	34	36	36	36	36	36	36	37	37	37	37	36	36	34	34	33	33	33	34	34	34	34	34	34	34	34
36	34	34	34	34	36	36	36	36	36	37	37	37	37	36	36	34	34	33	33	33	34	34	34	34	34	34	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	36	36	36	36	34	34	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	31	31	31	31

Fonte: Autor

Figura 32: Regiões selecionadas para cálculo da densidade óssea



Fonte: Autor

3.4.2 Comparação das densidades em função do tempo

Com os dados da intensidade dos pixels e da densidade óssea para cada área do implante armazenada, é realizada uma comparação entre os valores do T0 com o valor do tempo selecionado, representando o aumento ou diminuição da densidade óssea para cada área do implante, conforme exemplificado na Tabela 2.

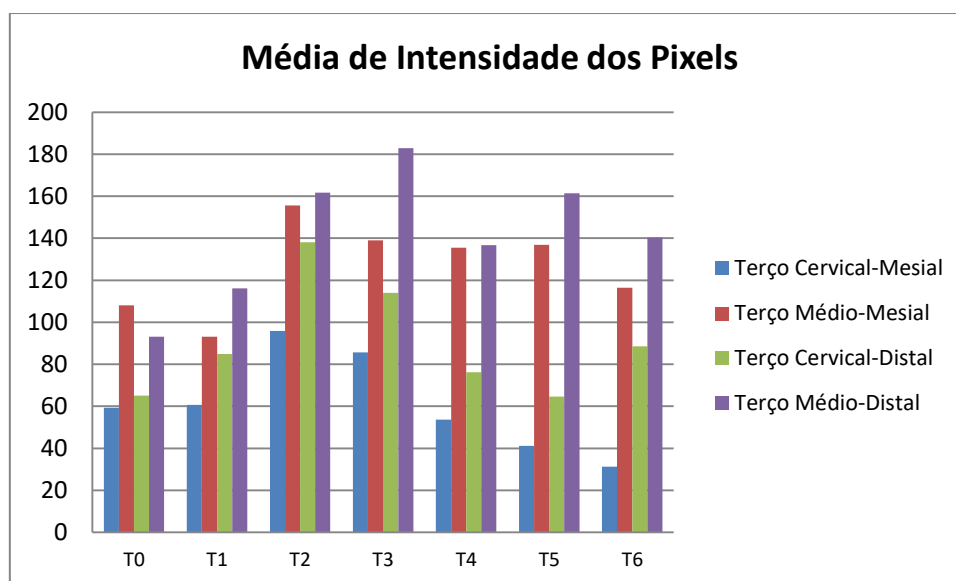
Tabela 2: Valores da média de intensidade dos pixels por região

Área	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Terço Cervical-Mesial	59,24	60,64	95,91	85,67	53,72	41,23	31,23
Terço Médio-Mesial	108,09	93,1	155,55	139,01	135,51	136,92	116,5
Terço Cervical-Distal	65,02	84,95	138,05	114,04	76,22	64,62	88,51
Terço Médio-Distal	93,16	116,22	161,69	182,88	136,69	161,46	140,42

Fonte: Projeto Fapesp

É realizada uma análise da intensidade dos pixels utilizando os dados armazenados dos tempos e apresentado em forma gráfica da média de intensidade dos pixels, lembrando que a comparação é realizada sempre a partir do T0, apresentado na Figura 33. Os resultados são utilizados pelo profissional de odontologia que irá analisar e decidir o melhor tratamento para o paciente.

Figura 33: Gráficos para análise da média de intensidade dos pixels por região



Fonte: Projeto Fapesp

A Tabela 3 apresenta os dados já convertidos em uma escala de 0 a 100 para determinar a densidade óssea.

Tabela 3: Valores da média de intensidade dos pixels por região - Convertido

Área	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Terço Cervical-Mesial	23,23	23,78	37,61	33,60	21,07	16,17	12,25
Terço Médio-Mesial	42,39	36,51	61,00	54,51	53,14	53,69	45,69
Terço Cervical-Distal	25,50	33,31	54,14	44,72	29,89	25,34	34,71
Terço Médio-Distal	36,53	45,58	63,41	71,72	53,60	63,32	55,07

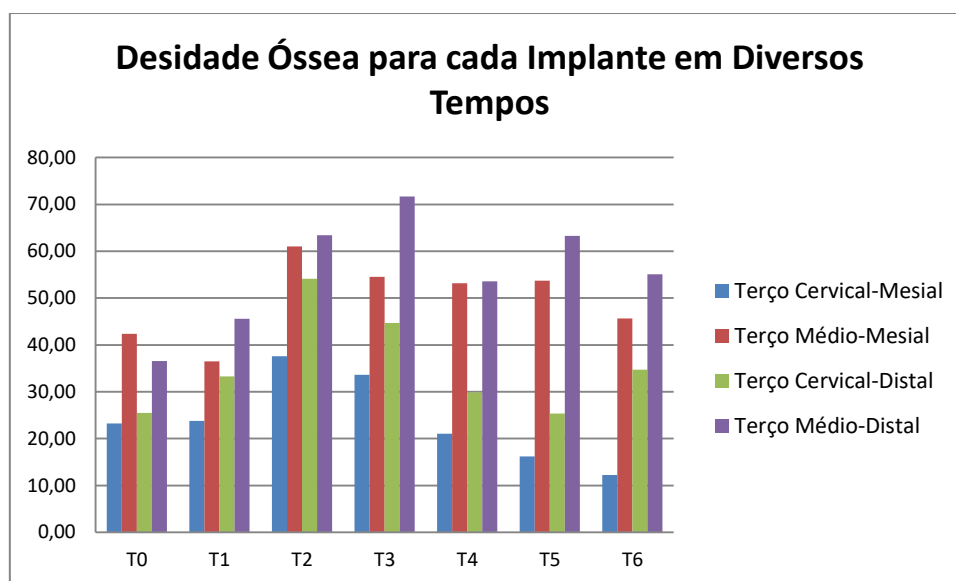
Fonte: Projeto Fapesp

A Figura 34 apresenta o gráfico da densidade óssea para cada região detectada em todos os tempos, lembrando que a comparação é realizada sempre a partir do T0.

3.4.3 Armazenamentos da densidade óssea em função do tempo

Em um arquivo texto em formato “.CSV” (*Comma Separated Values*), será armazenado o valor da densidade óssea, a média da intensidade dos pixels, a posição de cada ponto e o tempo do exame será armazenado.

Figura 34: Gráfico para análise da densidade óssea por região e tempo



Fonte: Projeto Fapesp

3.5 Ambiente de desenvolvimento

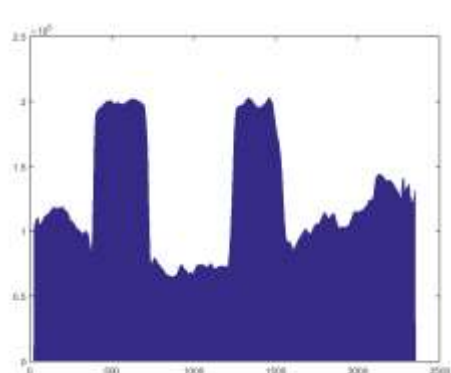
Para o desenvolvimento do algoritmo, foi utilizado o MATLAB (Matrix Laboratory) R2012b, com o toolbox de processamento de imagens. O MATLAB é um ambiente de programação que utiliza uma linguagem própria e simplifica a elaboração de trabalhos científicos. Com o auxílio dos toolbox de processamento de imagens que contém funções previamente implementadas, é possível obter uma maior agilidade no processo de desenvolvimento do algoritmo e na análise dos resultados obtidos.

4 Resultados e Discussões

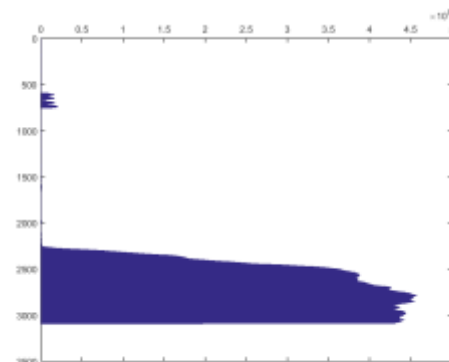
4.1 Resultados obtidos com o algoritmo de segmentação

Após a execução do software elaborado com base na metodologia desenvolvida nessa pesquisa, obteve-se os seguintes resultados, observados nas figuras 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49 e 50.

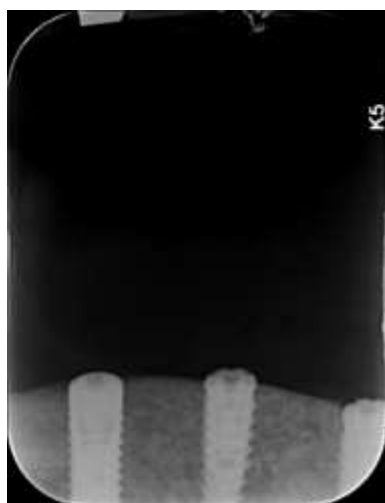
Figura 35: Segmentação do Lado Direito no Tempo 0 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



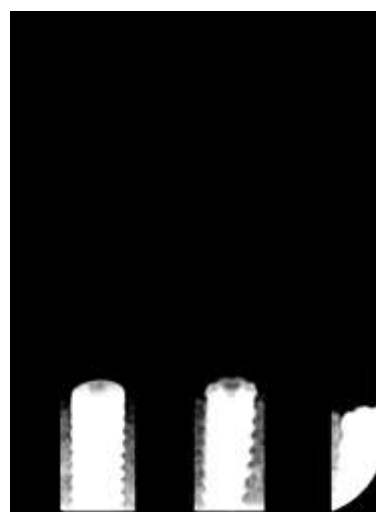
(A)



(B)



(C)

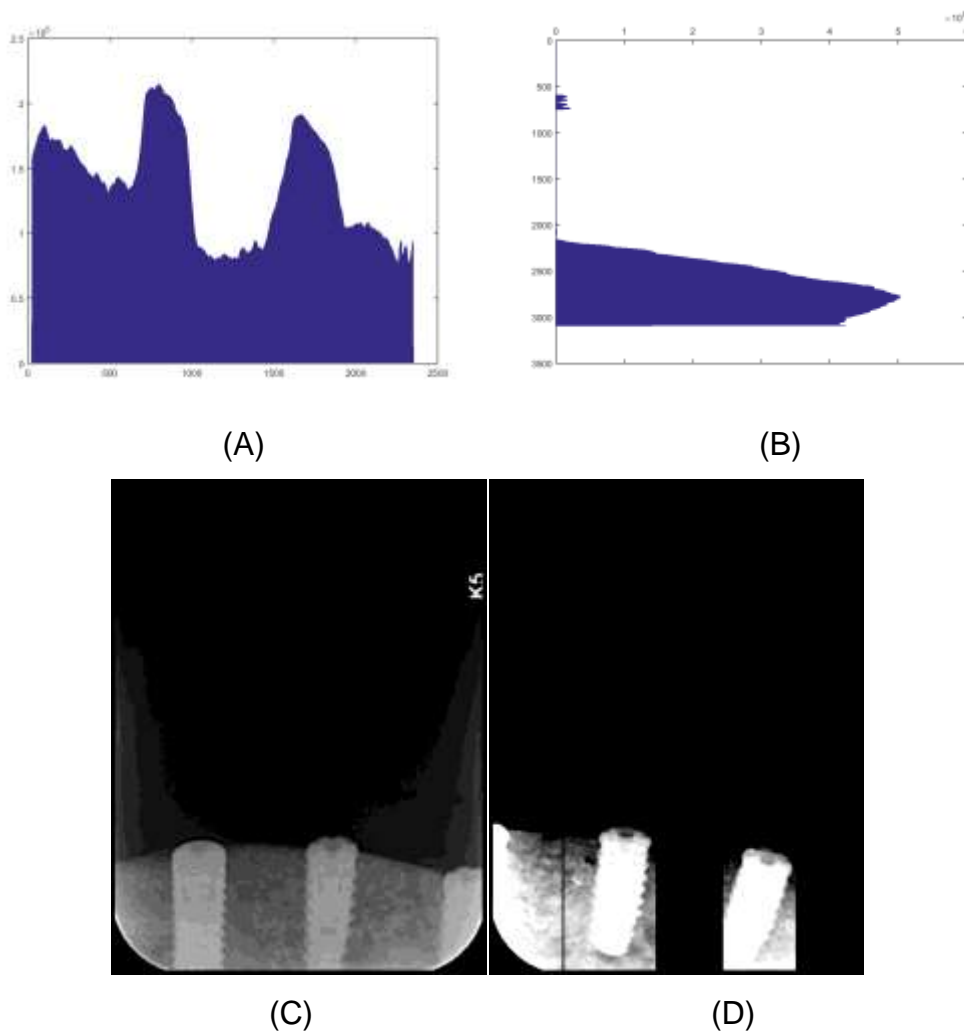


(D)

Fonte: Dados da Pesquisa

Nota-se na figura 35, que todos os implantes foram encontrados, e ainda um resultado falso/positivo, pois detectou-se parte de um implante que pertence ao lado esquerdo do paciente, implante esse, que é eliminado na etapa de pós-processamento.

Figura 36: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 0 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes

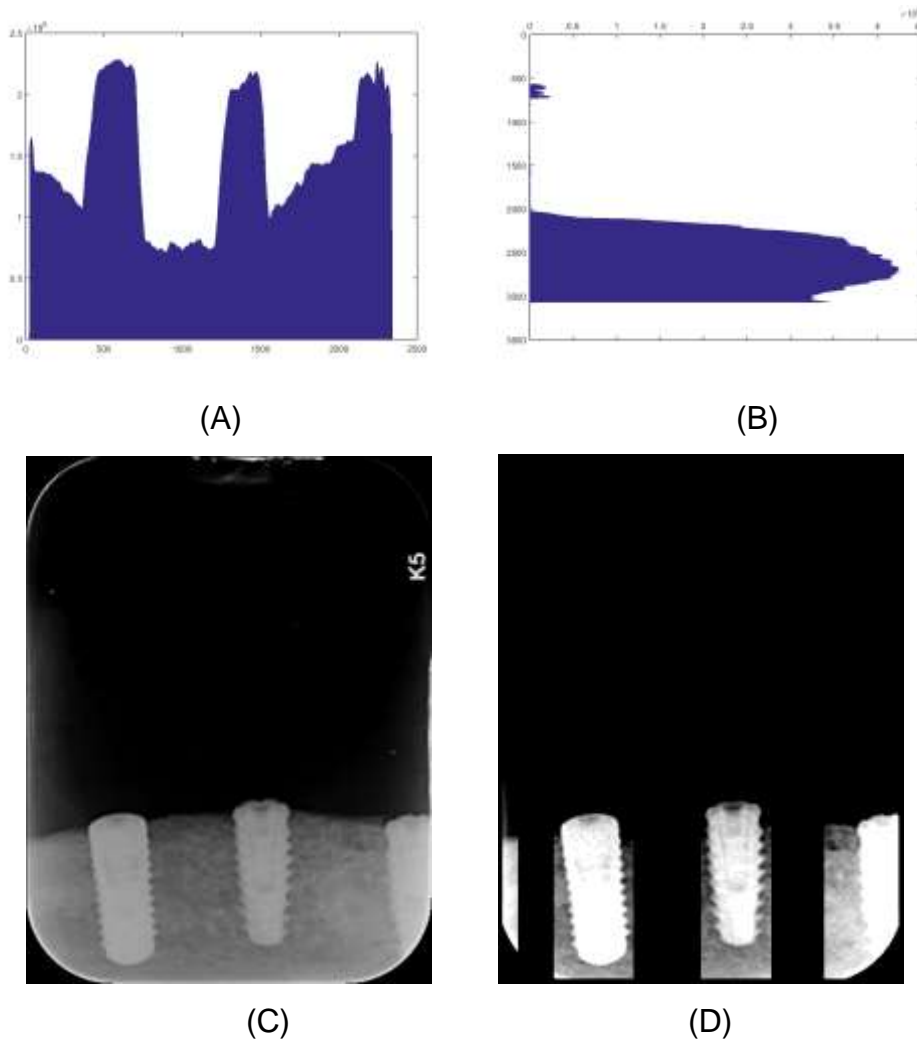


Fonte: Dados da Pesquisa

Na figura 36, que todos os implantes foram encontrados, e ainda um resultado falso/positivo, pois detectou-se parte de um implante que pertence

ao lado direito do paciente, implante esse, que é eliminado na etapa de pós-processamento.

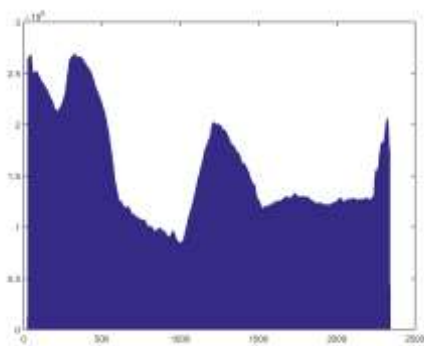
Figura 37: Segmentação do Lado Direito no Tempo 1 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



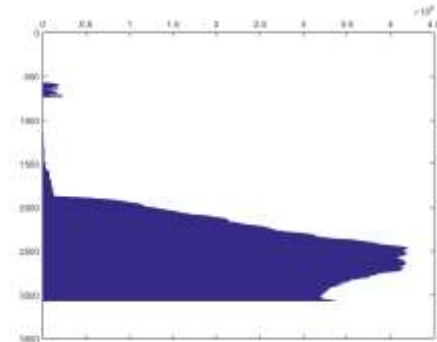
Fonte: Dados da Pesquisa

Observa-se na figura 37, que todos os implantes foram encontrados, e ainda um resultado falso/positivo, pois detectou-se parte de um implante que pertence ao lado esquerdo do paciente, implante esse, que é eliminado na etapa de pós-processamento.

Figura 38: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 1 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



(A)



(B)



(C)

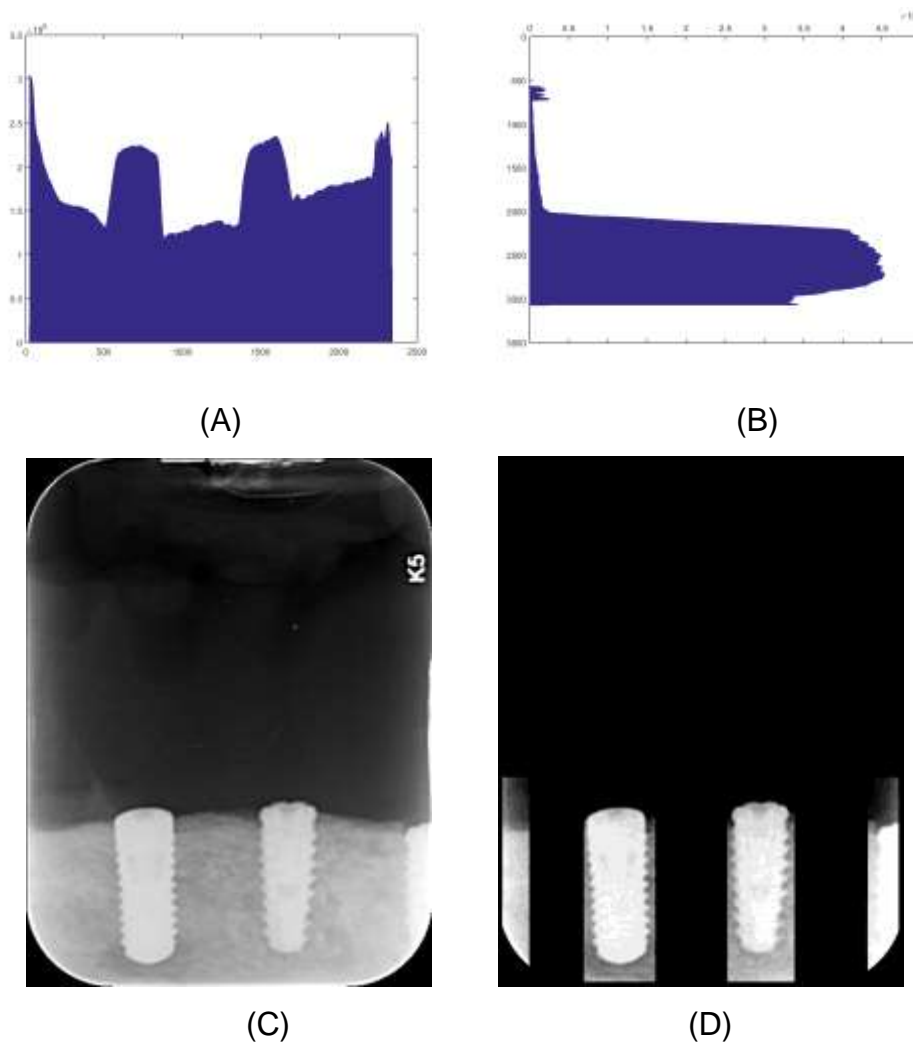


(D)

Fonte: Dados da Pesquisa

Na figura 38, que todos os implantes foram encontrados, e ainda um resultado falso/positivo, pois detectou-se um possível aumento na intensidade dos raios X, esse falso/positivo é eliminado na etapa de pós-processamento.

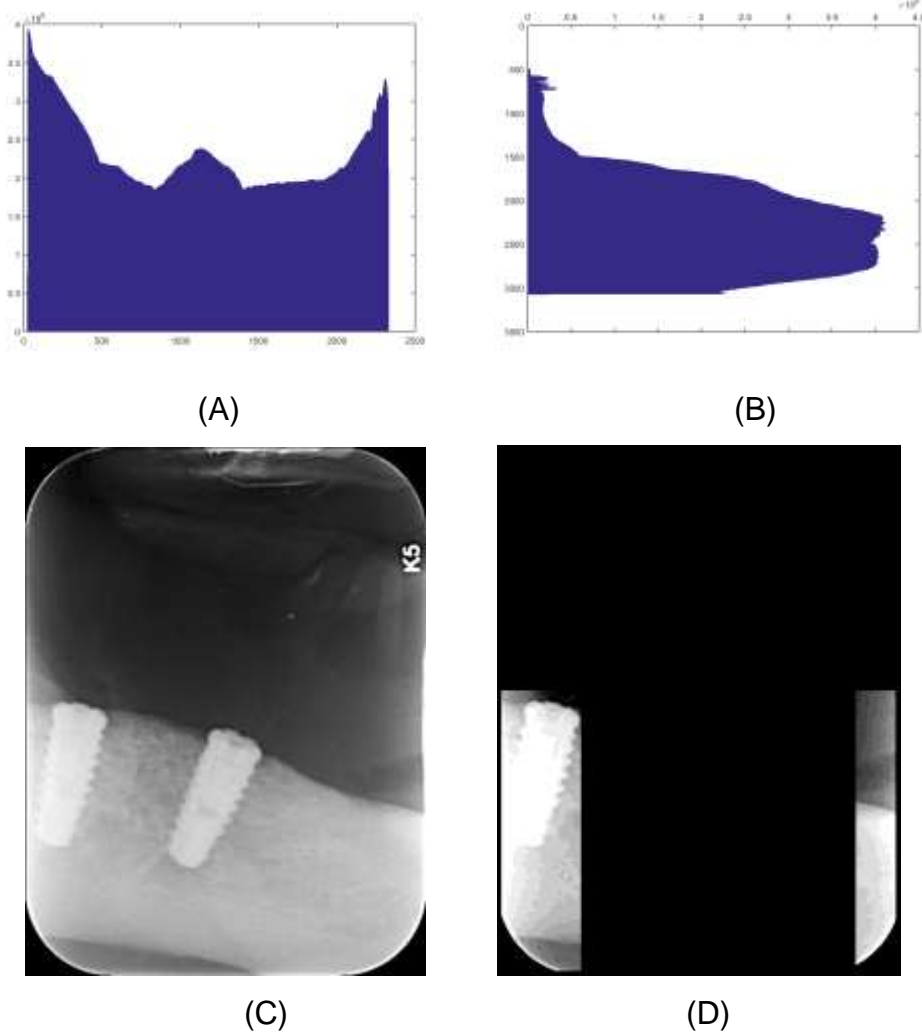
Figura 39: Segmentação do Lado Direito no Tempo 2 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



Fonte: Dados da Pesquisa

Observa-se na figura 39, que todos os implantes foram encontrados, e ainda dois resultados falso/positivo, pois detectou-se parte de um implante que pertence ao lado esquerdo do paciente e uma região que possivelmente teve uma maior incidência de raios X, falso/positivos esse, que são eliminados na etapa de pós-processamento.

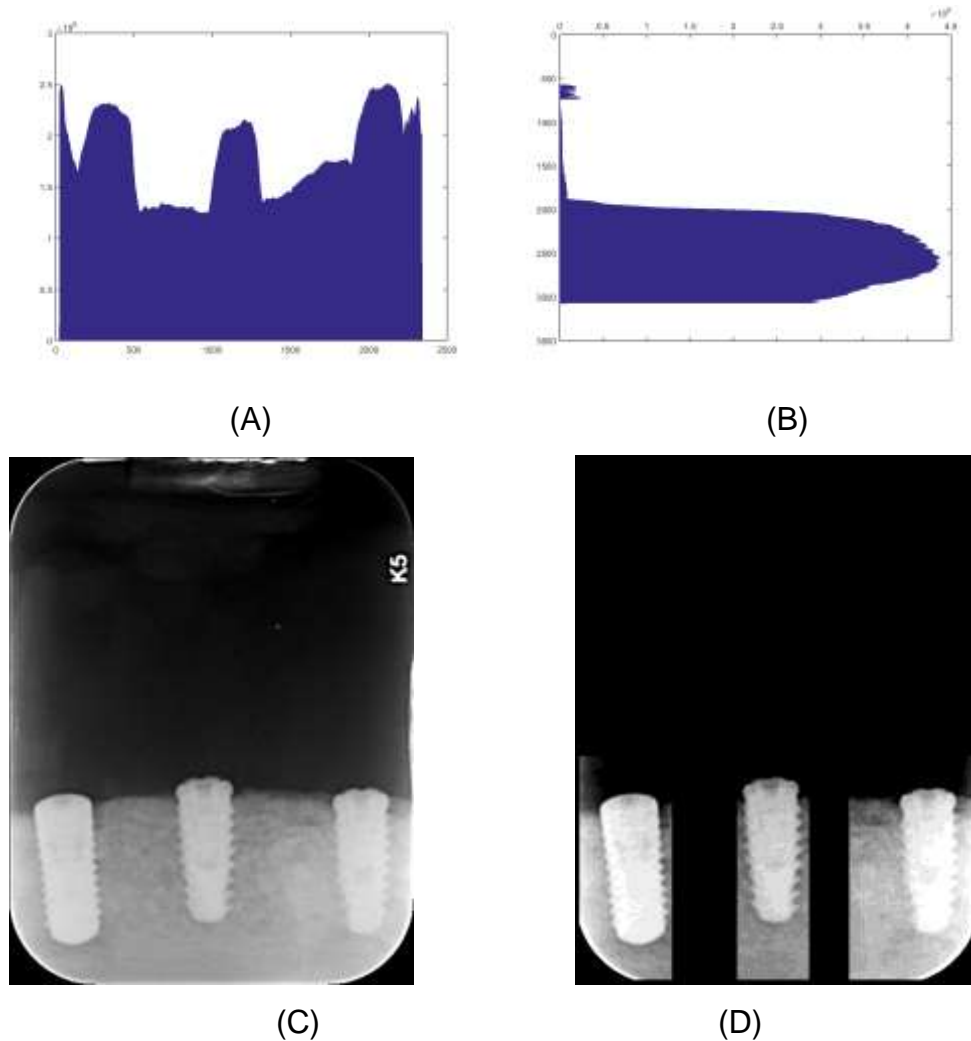
Figura 40: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 2 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



Fonte: Dados da Pesquisa

Na figura 40, detectou-se somente um implante, devido a incidência dos raios X não possível na fase de pré-processamento realizar uma equalização eficiente na imagem, que todos os implantes foram encontrados, e ainda um resultado falso/positivo, pois detectou-se um possível aumento na intensidade dos raios X, esse falso/positivo é eliminado na etapa de pós-processamento.

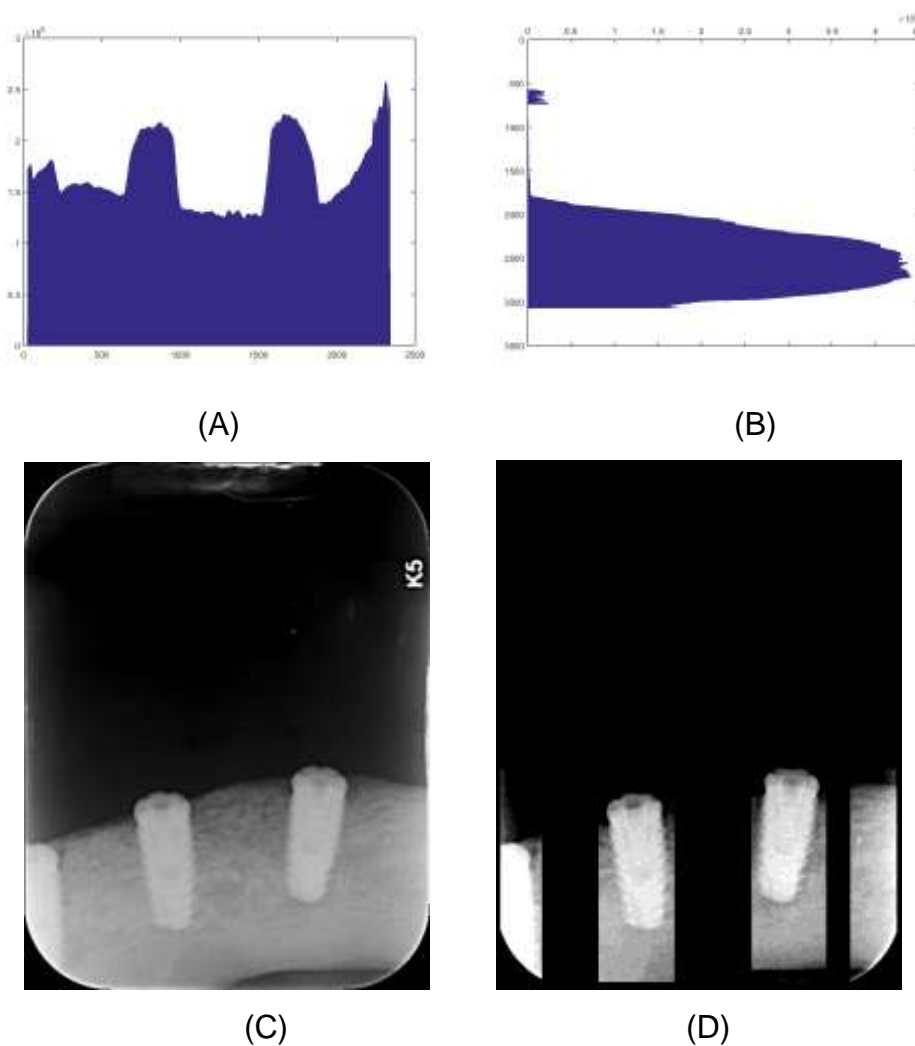
Figura 41: Segmentação do Lado Direito no Tempo 3 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



Fonte: Dados da Pesquisa

Observa-se na figura 41, que todos os implantes foram encontrados, e ainda um implante a mais, pois o implante que pertence ao lado esquerdo do paciente.

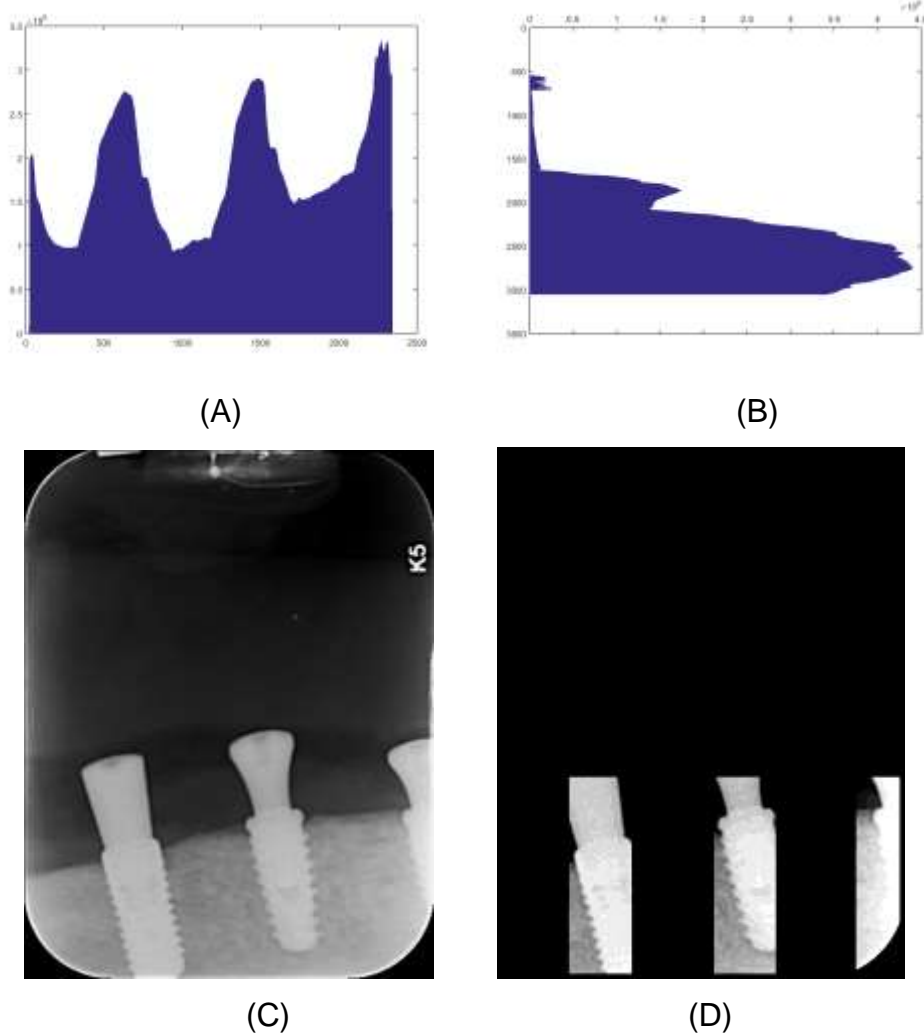
Figura 42: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 3 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



Fonte: Dados da Pesquisa

Na figura 42, que todos os implantes foram encontrados, e ainda dois resultados falso/positivo, pois detectou-se parte de um implante que pertence ao lado esquerdo do paciente e uma região que possivelmente teve uma maior incidência de raios X, falso/positivos esses, que são eliminados na etapa de pós-processamento.

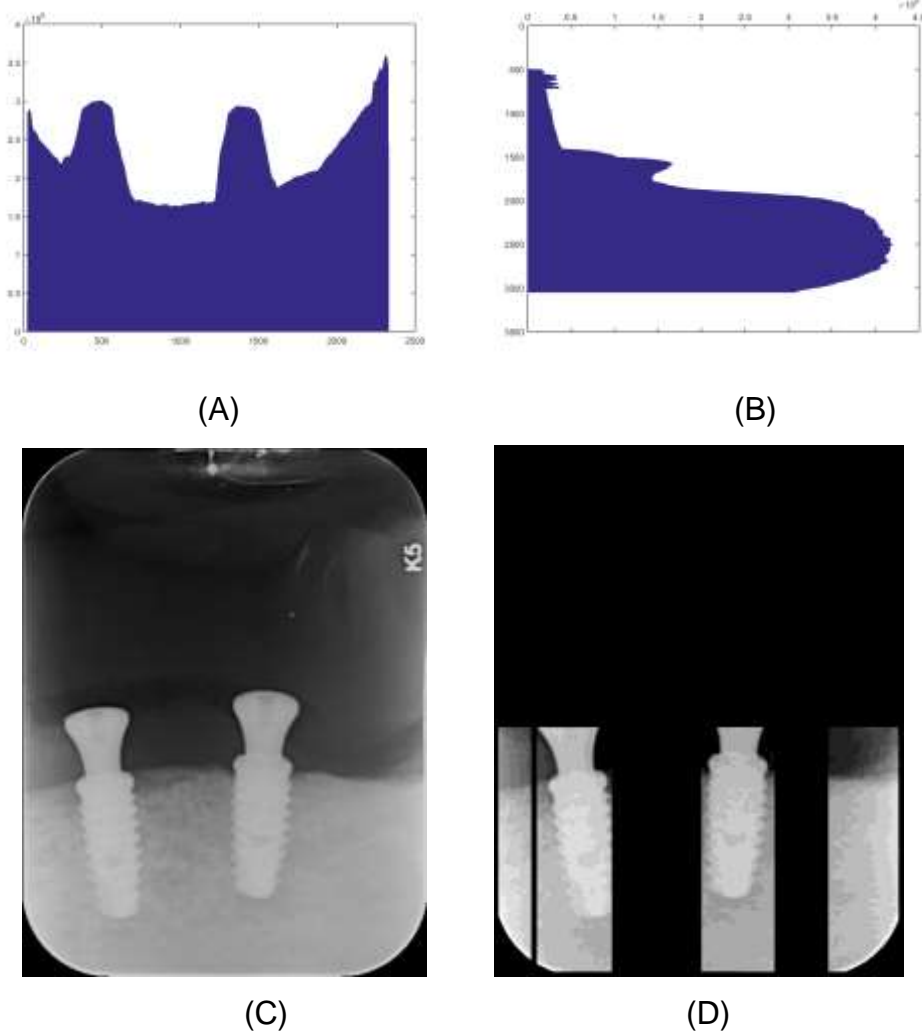
Figura 43: Segmentação do Lado Direito no Tempo 4 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



Fonte: Dados da Pesquisa

Observa-se na figura 43, que todos os implantes foram encontrados, e ainda dois resultados falso/positivo, pois detectou-se parte de um implante que pertence ao lado esquerdo do paciente e uma região que possivelmente teve uma maior incidência de raios X, falso/positivo esse, que é eliminado na etapa de pós-processamento, é importante notar que os implantes possuem coroa.

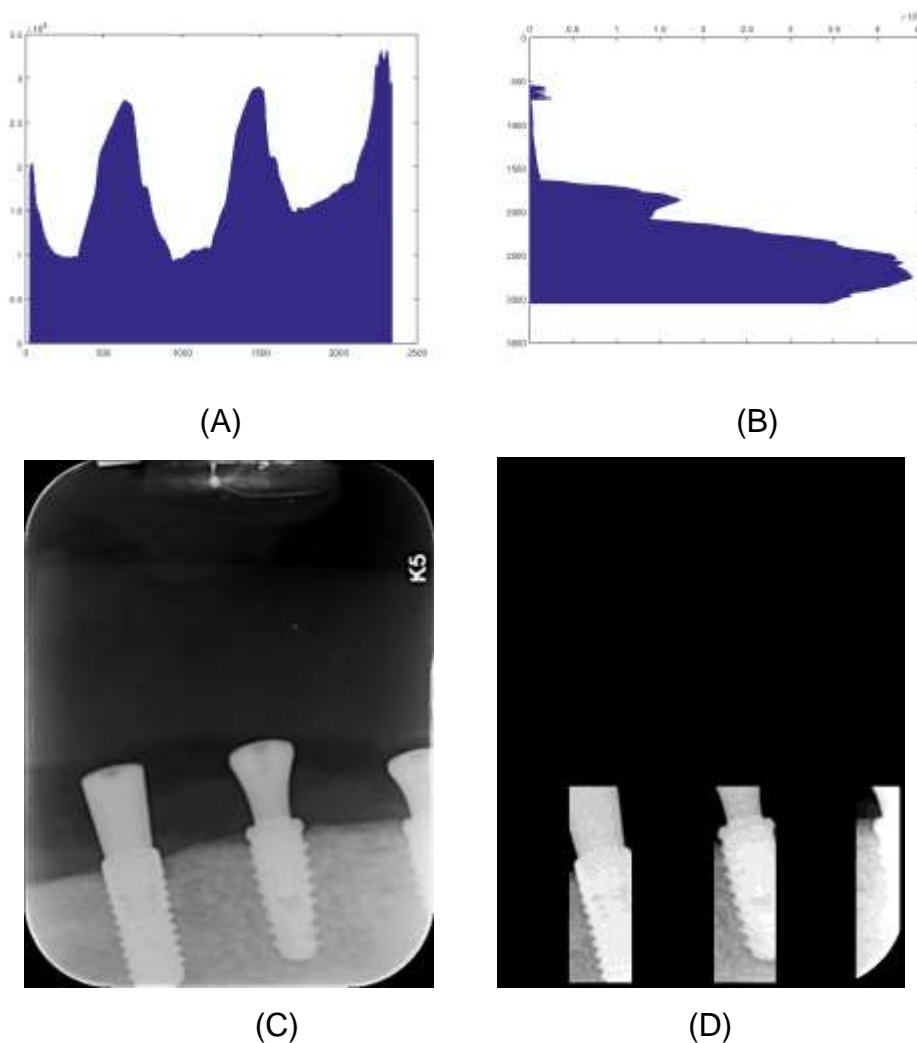
Figura 44: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 4 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



Fonte: Dados da Pesquisa

Na figura 44, que todos os implantes foram encontrados, e ainda dois resultados falso/positivo, pois duas regiões que possivelmente teve uma maior incidência de raios X, falso/positivos esses, que são eliminados na etapa de pós-processamento, é importante notar que os implantes possuem coroa.

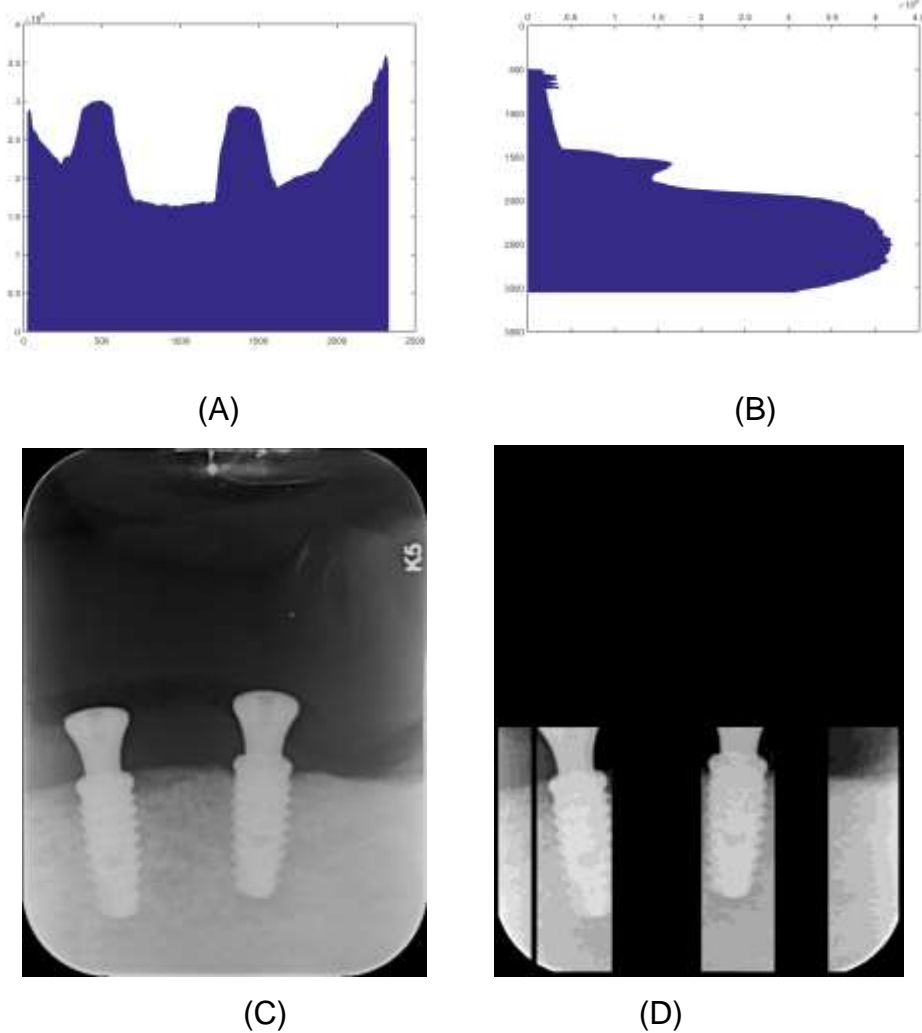
Figura 45: Segmentação do Lado Direito no Tempo 5 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



Fonte: Dados da Pesquisa

Nota-se na figura 45, que todos os implantes foram encontrados, e ainda dois resultados falso/positivo, pois detectou-se parte de um implante que pertence ao lado esquerdo do paciente e uma região que possivelmente teve uma maior incidência de raios X, falso/positivo esse, que é eliminado na etapa de pós-processamento, é importante notar que os implantes possuem coroa.

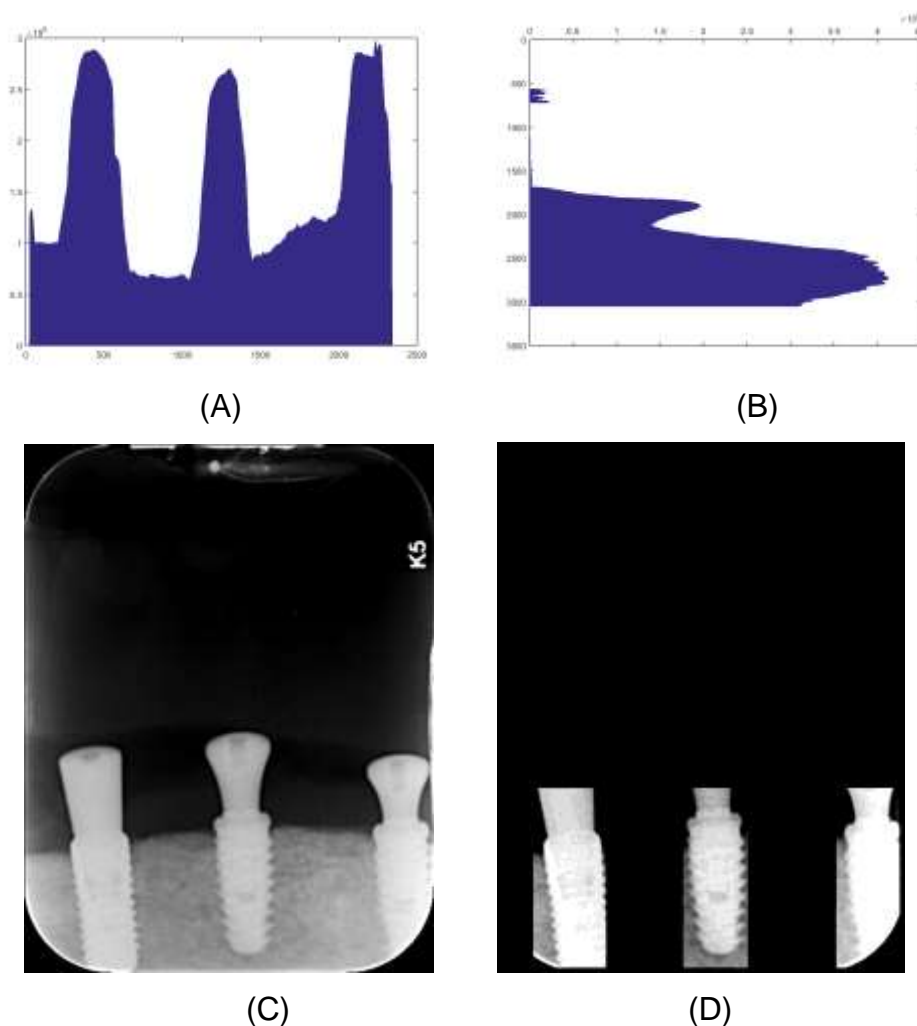
Figura 46: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 4 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



Fonte: Dados da Pesquisa

Na figura 46, que todos os implantes foram encontrados, e ainda dois resultados falso/positivo, pois duas regiões que possivelmente teve uma maior incidência de raios X, falso/positivos esses, que são eliminados na etapa de pós-processamento, é importante notar que os implantes possuem coroa.

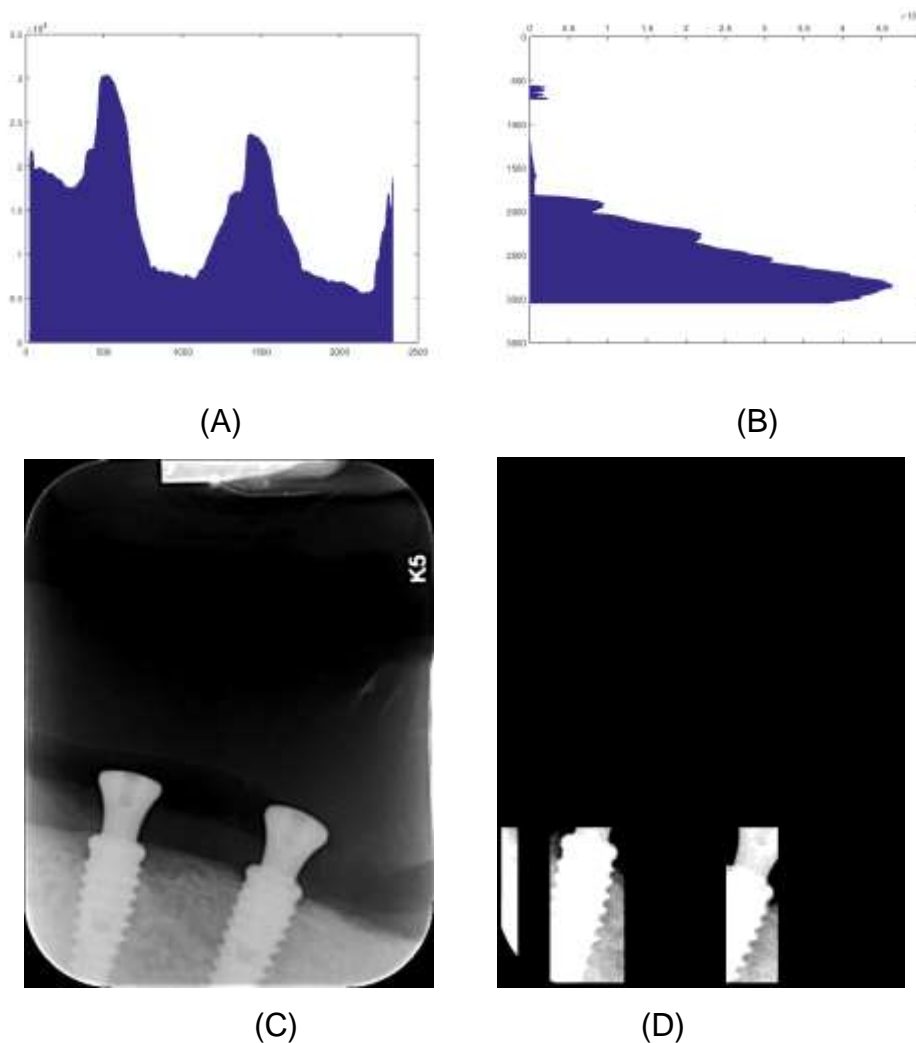
Figura 47: Segmentação do Lado Direito no Tempo 5 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



Fonte: Dados da Pesquisa

Nota-se na figura 47, que todos os implantes foram encontrados, e ainda dois resultados falso/positivo, pois detectou-se parte de um implante que pertence ao lado esquerdo do paciente e uma região que possivelmente teve uma maior incidência de raios X, falso/positivo esse, que é eliminado na etapa de pós-processamento, é importante notar que os implantes possuem coroa.

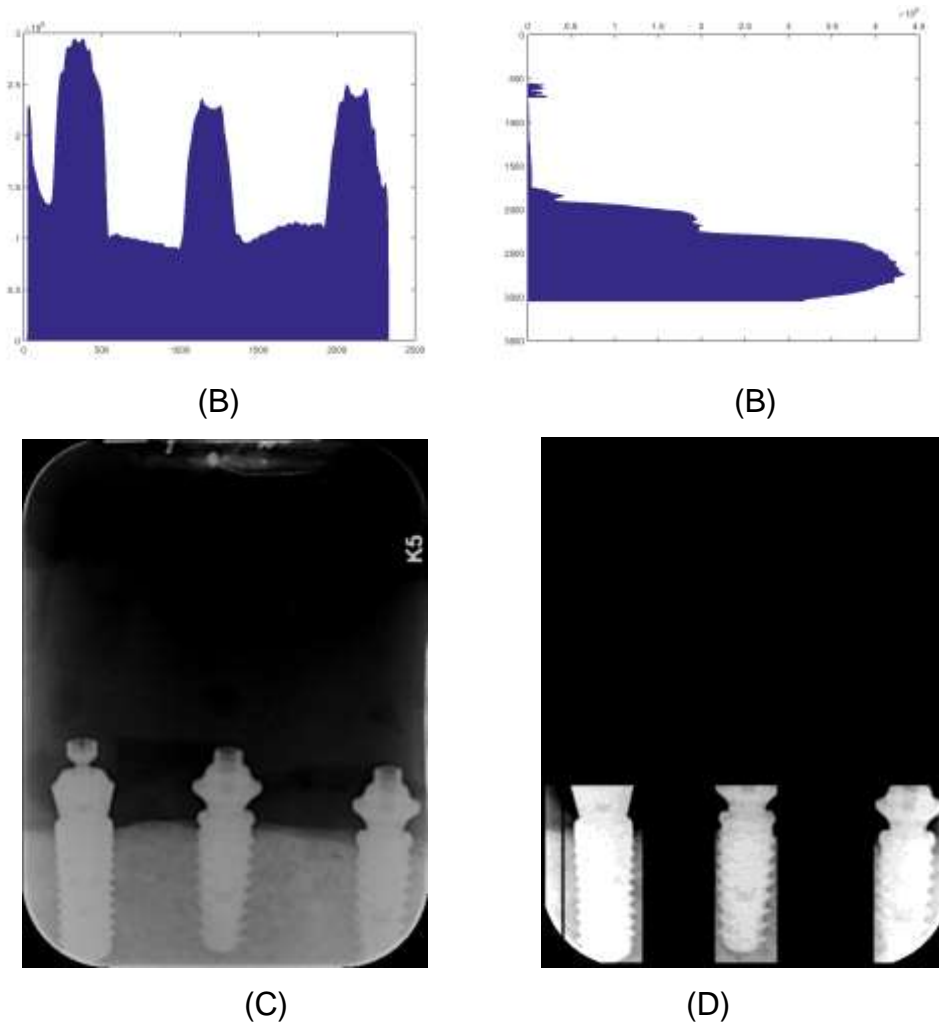
Figura 48: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 4 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



Fonte: Dados da Pesquisa

Na figura 48, que todos os implantes foram encontrados, e ainda dois resultados falso/positivo, pois duas regiões que possivelmente teve uma maior incidência de raios X, falso/positivos esses, que são eliminados na etapa de pós-processamento, é importante notar que os implantes possuem coroa.

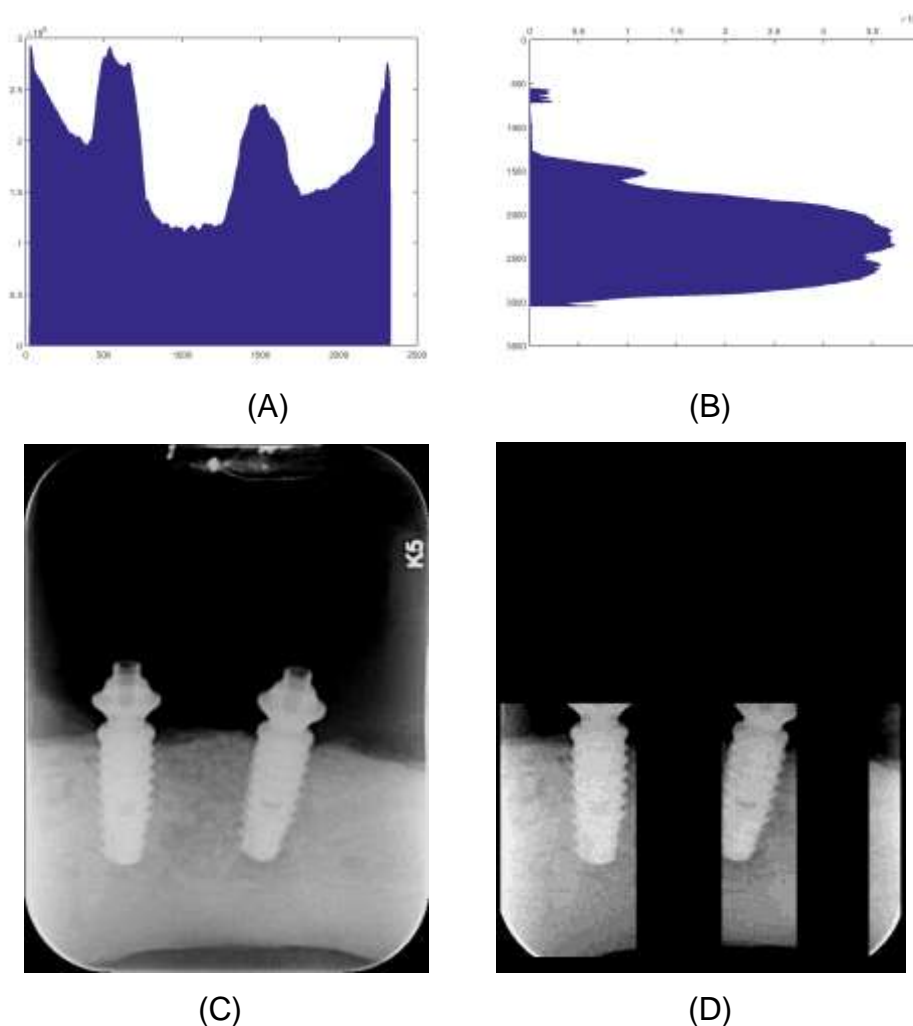
Figura 49: Segmentação do Lado Direito no Tempo 6 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



Fonte: Dados da Pesquisa

Nota-se na figura 49, que todos os implantes foram encontrados, e ainda dois resultados falso/positivo, pois detectou-se um implante que pertence ao lado esquerdo do paciente e uma região que possivelmente teve uma maior incidência de raios X, falso/positivo esse, que é eliminado na etapa de pós-processamento, é importante notar que os implantes possuem coroa.

Figura 50: Segmentação do Lado Esquerdo no Tempo 6 - (A) gráfico que representa os picos dos pixels por coluna, (B) gráfico que representa os picos dos pixels por linha, (C) Imagem radiográfica dos implantes e (D) Imagem radiográfica segmentada dos implantes



Fonte: Dados da Pesquisa

Na figura 50, que todos os implantes foram encontrados, e ainda dois resultados falso/positivo, pois duas regiões que possivelmente teve uma maior incidência de raios X, falso/positivos esses, que são eliminados na etapa de pós-processamento, é importante notar que os implantes possuem coroa.

Os resultados obtidos nessa fase de segmentação foram satisfatórios pois não detectou somente um implante, foram detectados 12 falsos/positivos possivelmente gerados pela maior incidência de raios X em pontos da imagem e foram encontrados o total de 26 implantes sendo que 3 foram implantes detectados nas pertenciam as radiografias do lado esquerdo do paciente, e foram encontradas 6 partes de implantes considerados como

falso/positivos, a incidência de partes de implante e implantes adicionais deve-se a erros no posicionador utilizado na realização dos raios X.

É importante dizer que para todos os 20 pacientes processados o resultado foi o mesmo.

4.2 Resultados da comparação da perda óssea

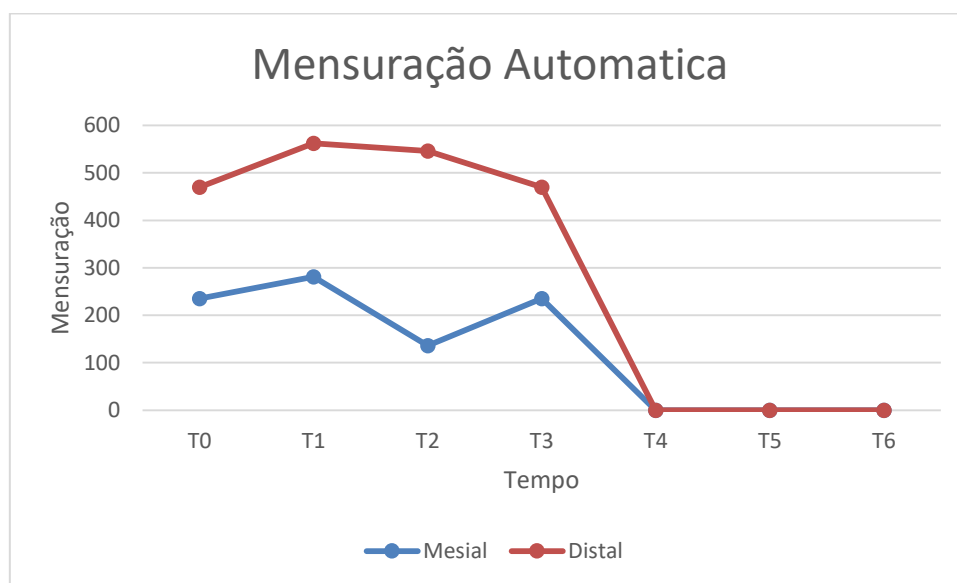
As tabelas 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 e as figuras 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57,

Tabela 4: Valores de perda óssea utilizando metodologia desenvolvida – Implante 1

Área	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Mesial	235	281	136	235	0	0	0
Distal	235	281	410	235	0	0	0

Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 51: Grafico da mensuração automática no no implante 1



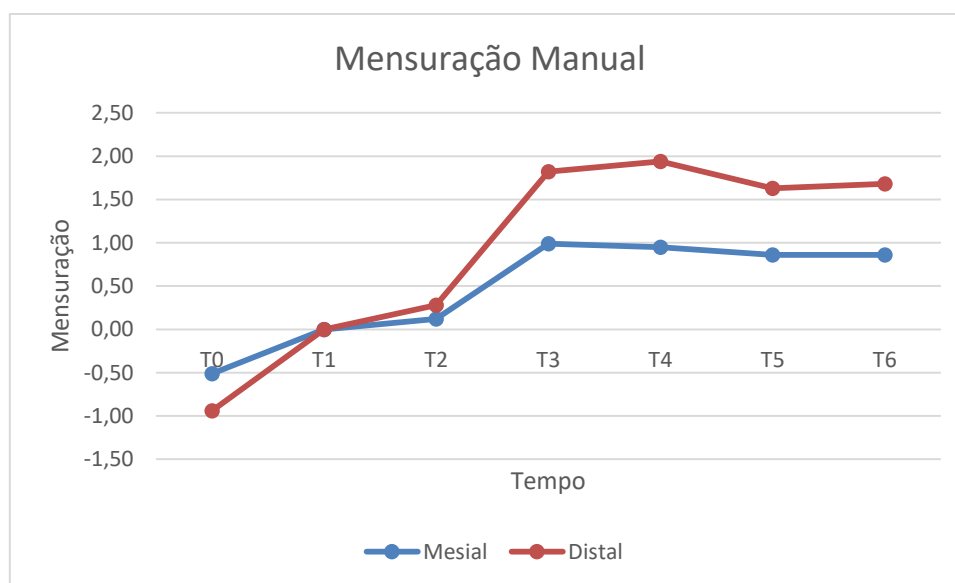
Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 5: Valores de perda óssea utilizando mensuração manual – Implante 1

Área	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Mesial	-0,51	0	0.12	0.99	0.95	0.86	0.86
Distal	-0,43	0	0.16	0.83	0.99	0.77	0.82

Fonte: Projeto Fapesp

Figura 52: Grafico da mensuração manual no implante 1



Fonte: Projeto Fapesp

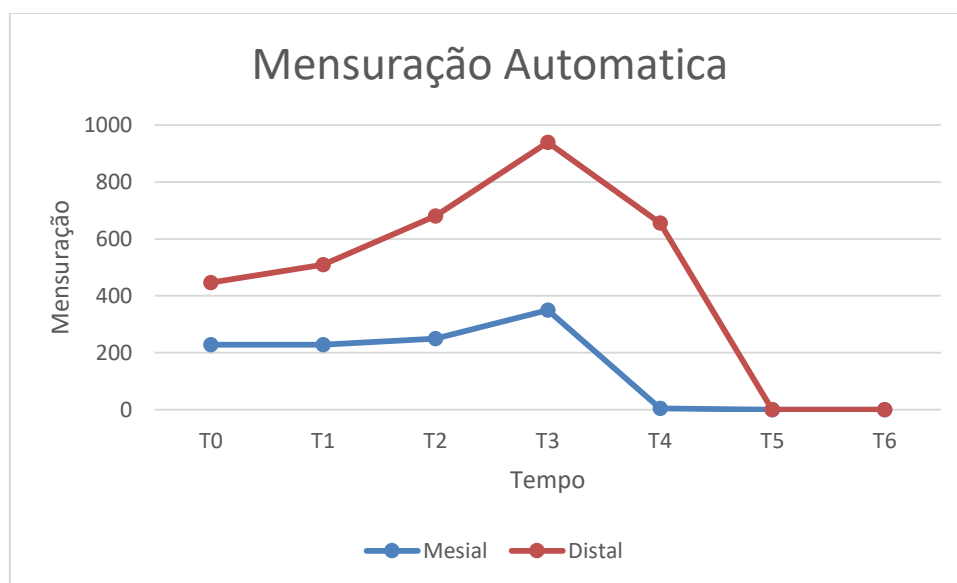
Analisando as tabelas 4 e 5, e as figuras 51 e 52, referente ao primeiro implante localizado no lado direito do paciente, nota-se que a perda óssea nos tempos T0, T1, T2 e T3 apresentaram resultados similares, mas os T4, T5 e T6 apresentaram resultados discrepantes.

Tabela 6: Valores de perda óssea utilizando metodologia desenvolvida – Implante 2

Área	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Mesial	228	229	250	350	5	0	0
Distal	218	281	430	589	651	0	0

Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 53: Grafico da mensuração automática no implante 2



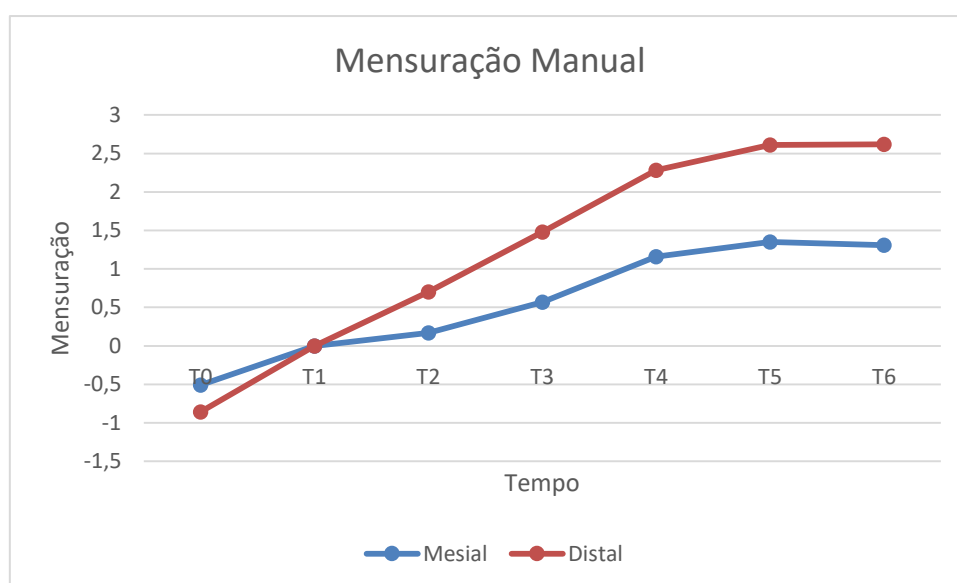
Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 7: Valores de perda óssea utilizando mensuração manual – Implante 2

Área	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Mesial	-0,51	0	0.17	0.57	1.16	1.35	1.31
Distal	-0,35	0	0.53	0.91	1.12	1.26	1.31

Fonte: Projeto Fapesp

Figura 54: Grafico da mensuração manual no implante 2



Fonte: Projeto Fapesp

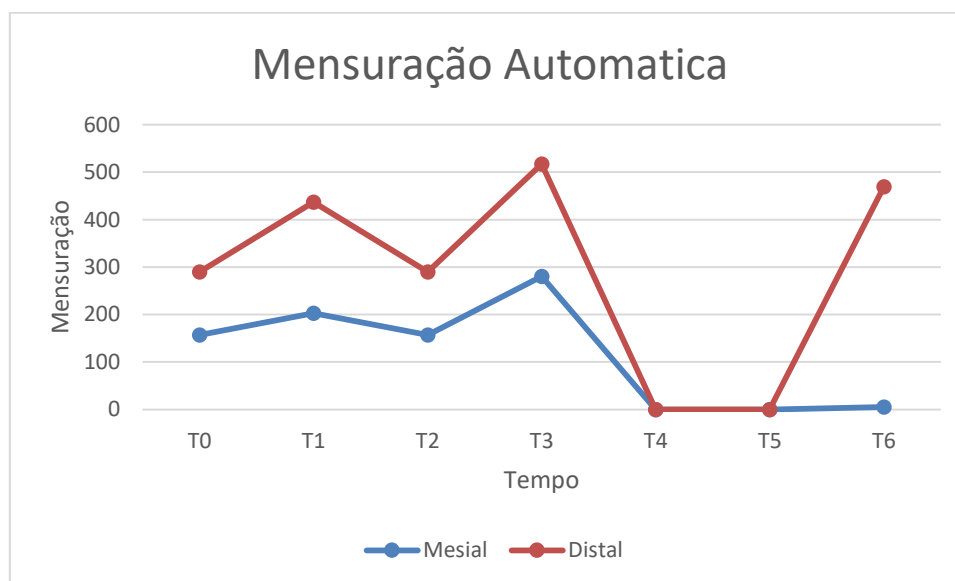
Analisando as tabelas 6 e 7, e as figuras 53 e 54, referente ao segundo implante localizado no lado direito do paciente, nota-se que a perda óssea nos tempos T0, T1, T2 e T3 apresentaram resultados similares, mas os T4, T5 e T6 apresentaram resultados discrepantes.

Tabela 8: Valores de perda óssea utilizando metodologia desenvolvida – Implante 3

Área	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Mesial	157	203	157	280	0	0	5
Distal	133	234	133	237	0	0	464

Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 55: Grafico da mensuração automática no implante 3



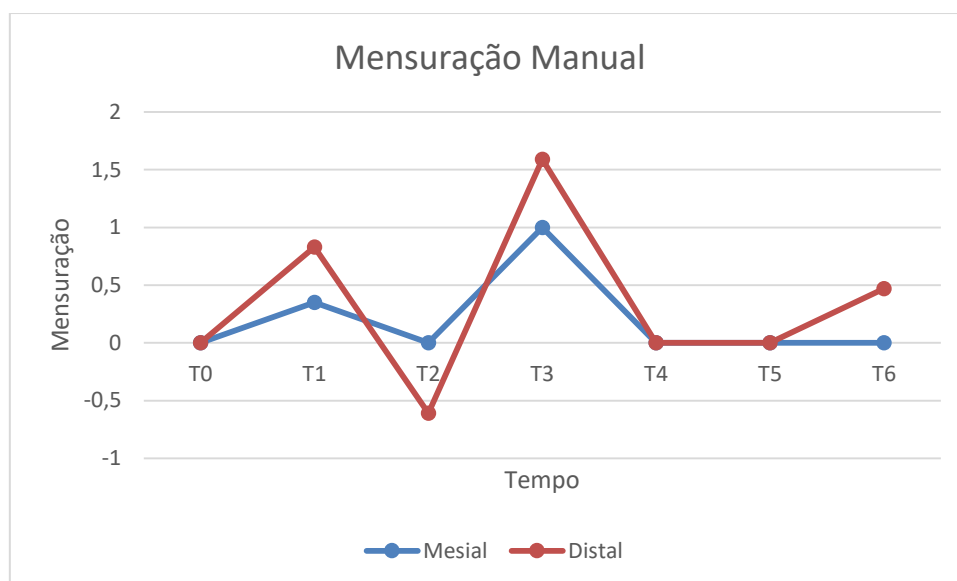
Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 9: Valores de perda óssea utilizando mensuração manual – Implante 3

Área	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Mesial	0	0,35	0	1,00	0	0	0
Distal	0	0,48	-0,61	0,59	0	0	0,47

Fonte: Projeto Fapesp

Figura 56: Grafico da mensuração manual no implante 3



Fonte: Projeto Fapesp

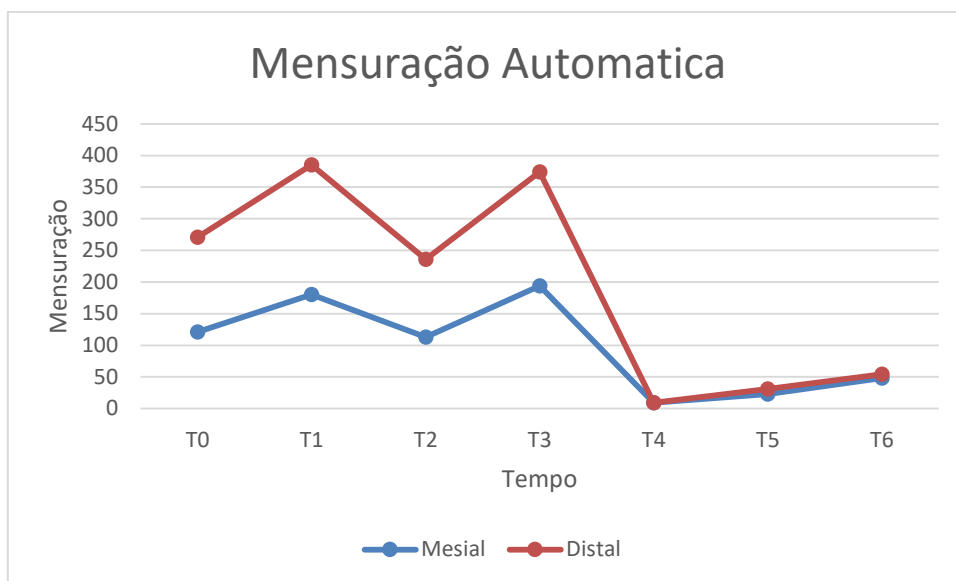
Analisando as tabelas 8 e 9, e as figuras 55 e 56, referente ao terceiro implante localizado no lado esquerdo do paciente, nota-se que a perda óssea nos tempos T0, T1, T2 e T3 apresentaram resultados similares, mas os T4, T5 e T6 apresentaram resultados discrepantes.

Tabela 10: Valores de perda óssea utilizando metodologia desenvolvida – Implante 4

Área	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Mesial	121	180	113	194	9	23	48
Distal	150	205	123	180	0	8	6

Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 57: Grafico da mensuração automatica no implante 4



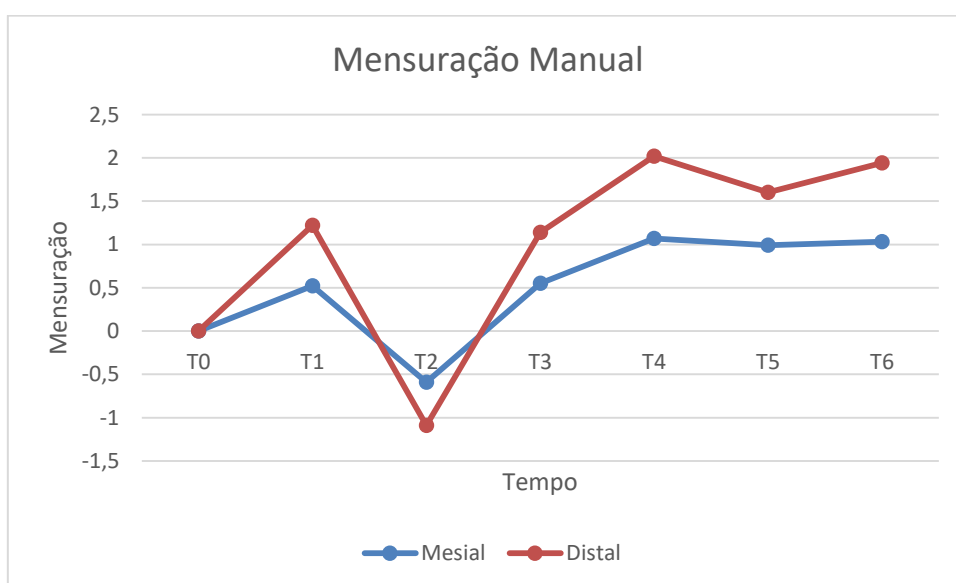
Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 11: Valores de perda óssea utilizando mensuração manual – Implante 4

Área	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Mesial	0	0.52	-0,59	0.55	1.07	0.99	1.03
Distal	0	0.70	-0,5	0.59	0.95	0.61	0.91

Fonte: Projeto Fapesp

Figura 58: Grafico da mensuração manual no implante 4



Fonte: Projeto Fapesp

Analisando as tabelas 10 e 11, e as figuras 57 e 58, referente ao quarto implante localizado no lado esquerdo do paciente, nota-se que a perda óssea nos tempos T0, T1, T2 e T3 apresentaram resultados similares, mas os T4, T5 e T6 apresentaram resultados discrepantes.

Conclui-se que a metodologia desenvolvida para a adotada é viável, mas apresentou problemas no processamento automático quando o implante possuía a coroa, pois o software detecta o topo do implante e ao encontrar a coroa ele trata a mesma como topo do implante, impossibilitando localizar os pontos para determinar a crista óssea e o ponto médio no implante e assim realizar o cálculo para determinar a perda óssea.

4.3 Resultados da comparação da densidade óssea

A tabela 12 e a figura 59, apresentam os resultados obtidos manualmente da densidade óssea.

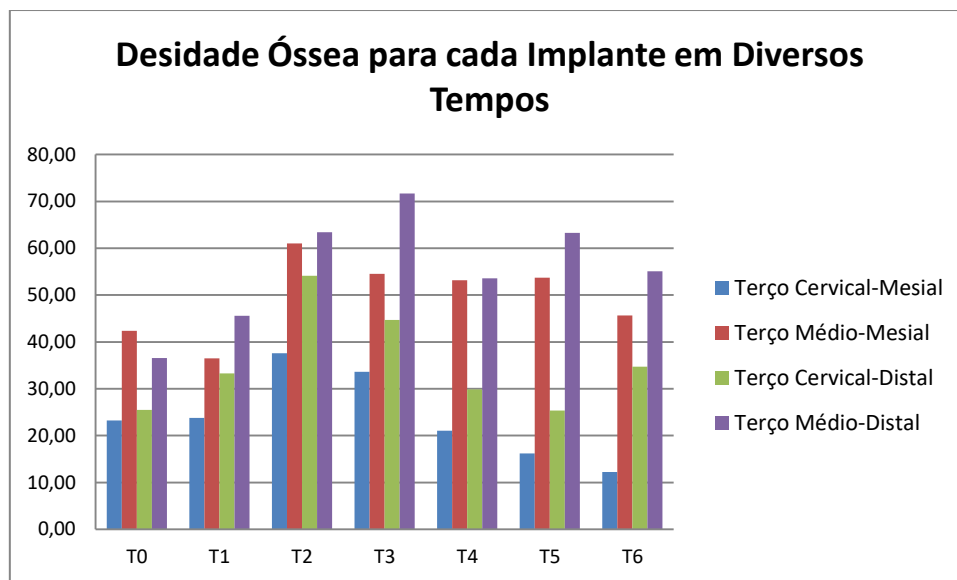
Tabela 12: Valores da média de intensidade dos pixels por região

Área	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Terço Cervical-Mesial	23,23	23,78	37,61	33,60	21,07	16,17	12,25
Terço Médio-Mesial	42,39	36,51	61,00	54,51	53,14	53,69	45,69
Terço Cervical-Distal	25,50	33,31	54,14	44,72	29,89	25,34	34,71
Terço Médio-Distal	36,53	45,58	63,41	71,72	53,60	63,32	55,07

Fonte: Projeto Fapesp

O cálculo da densidade óssea automática não obteve resultados para comparação, devido a problemas na geração de imagens e intensidade dos raios X que não permitiram o cálculo efetivo da média dos pixels, a solução para esse problema seria a adoção de software embarcado nos equipamentos utilizados para gerar as radiografias.

Figura 59: Gráfico para análise da densidade óssea por região e tempo



Fonte: Projeto Fapesp

5 Conclusão

Essa tese apresenta o início do desenvolvimento de novas metodologias computacionais para processamento e análise de radiografias digitais odontológicas, metodologias essas de suma importância na área odontológica, pois devido ao envelhecimento da população e cada vez mais a necessidade de reabilitação oral com implantes dentários, demonstra que é de suma importância o desenvolvimento de novas metodologias para auxiliar os profissionais de odontologia em seus diagnósticos.

A metodologia para análise da perda óssea linear e da densidade óssea quando utilizada manualmente é passível de falhas, pois existe a dificuldade de selecionar o mesmo ponto em todas as radiografias analisadas, implicando em erros, que pode interferir no diagnóstico e nas decisões tomadas pelo profissional de odontologia em relação ao tratamento do paciente.

Nessa tese foi desenvolvido uma nova metodologia computacional para análise da perda óssea e da densidade óssea ao redor de implantes odontológicos, metodologia essa que pode ser implementada e embarcada nos equipamentos utilizados para obtenção de radiografias odontológicas digitais.

É importante salientar que devido ao grande avanço nos equipamentos utilizados para obtenção de radiografias digitais odontológicas, surge a necessidade do desenvolvimento de novas metodologias computacionais para o auxílio no diagnóstico.

Pode ser observado um avanço na melhoria das imagens de radiografias digitais odontológicas intraorais, possibilitando determinar e automatizar os processos utilizados na análise da perda óssea linear e da densidade óssea utilizando imagens radiográficas digitais.

Conclui-se após análise dos resultados que o desenvolvimento de uma metodologia computacional para avaliação do comportamento do tecido ósseo ao redor de diferentes superfícies de implantes dentários em humanos, é extremamente viável e aplicável para auxiliar nos diagnósticos realizados pelos profissionais da área de odontologia.

Referências

AZEVEDO, Samara Calçado de; STATELLA, Thiago; SILVA, Erivaldo Antônio da. Aplicação de Operadores Morfológicos na Detecção de Sombras em imagens QuickBird. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013.

GRÖNDAHL, Kerstin; SUNDÉN, Solweig; GRÖNDAHL, Hans-göran. Inter-and intraobserver variability in radiographic bone level assessment at Brånemark fixtures. *Clinical oral implants research*, v. 9, n. 4, p. 243-250, 1998.

GOUVEIA, Wellington da Rocha; PAIVA, Maria Stela Veludo de. Detecção de Faces Humanas em Imagens Coloridas Utilizando Redes Neurais Artificiais. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.

BIANCHI, Marcelo Franceschi de. Extração de características de imagens de faces humanas através de wavelets, PCA e IMPCA. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

AL-MOABER, Samar H. et al. Effect of implant surface properties on peri-implant bone healing: implant stability and microcomputed tomographic analysis. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, v. 27, n. 1, 2012.

BALLERI, Piero et al. Stability measurements of osseointegrated implants using Osstell in partially edentulous jaws after 1 year of loading: a pilot study. *Clinical implant dentistry and related research*, v. 4, n. 3, p. 128-132, 2002.

BRANEMARK, P.-I. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg. Suppl.*, v. 16, 1977.

CFO, Conselho Federal de Odontologia. Disponível em: <<http://cfo.org.br/website/estatisticas/>>. Acesso em 20 de dezembro de 2018.

CROSP, Conselho Regional de Odontologia de São Paulo. Disponível em: <http://www.crosp.org.br/camara_tecnica/apresentacao/11.html>. Acesso em 20 de dezembro de 2018.

Dave M, Davies J, Wilson R, Palmer R. A comparison of cone beam computed tomography and conventional periapical radiography at detecting peri-implant bone defects. *Clin Oral Implants Res.* 2013 Jun;24(6):671-8. Epub 2012 Mar 27.

DEGIDI, Marco; DAPRILE, Giuseppe; PIATTELLI, Adriano. Determination of primary stability: a comparison of the surgeon's perception and objective measurements. *International journal of oral & maxillofacial implants*, v. 25, n. 3, 2010.

DEGIDI, Marco; DAPRILE, Giuseppe; PIATTELLI, Adriano. Determination of primary stability: a comparison of the surgeon's perception and objective measurements. *International journal of oral & maxillofacial implants*, v. 25, n. 3, 2010.

ELIAS, Carlos Nelson. Factors affecting the success of dental implants. In: *Implant Dentistry-A Rapidly Evolving Practice*. InTech, 2011.

GABAY, Eran; COHEN, Omer; MACHTEI, Eli E. A novel device for resonance frequency assessment of one-piece implants. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, v. 27, n. 3, 2012.

GABAY, Eran; COHEN, Omer; MACHTEI, Eli E. A novel device for resonance frequency assessment of one-piece implants. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, v. 27, n. 3, 2012.

GONZALES, R. C., WOODS, R. *Digital Image Processing*, Pearson - Addison Wesley, 3 ed., 2010.

GOUVEIA, Wellington da Rocha; LORENCETTI, Adriano Aparecido; OLIVETE, André Luís. Subtração de fundo em imagens digitais utilizando redes neurais artificiais MLP. I Workshop de Visão Computacional, p. 36-39, 2005.

HAITER NETO, F.; MELO, D. P. Radiografia digital. *Rev ABRO*, v. 11, n. 1, p. 5-17, 2010.

HJØRTING-HANSEN, Erik; WORSAAE, Nils; LEMONS, Jack E. Histologic response after implantation of porous hydroxylapatite ceramic in humans. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, v. 5, n. 3, 1990.

KÖRNER M, WEBER CH, WIRTH S, PFEIFER KJ, REISER MF, TREITL M. Advances in digital radiography: physical principles and system overview. *Radiographics.* 2007 May-Jun;27(3):675-86.

KOSZUTA P, GRAFKA A, KOSZUTA A, LOPUCKI M, SZYMAŃSKA J. Effects of selected factors on the osseointegration of dental implants. *Prz Menopauzalny*. 2015 Sep;14(3):184-7. Epub 2015 Sep 30.

LI G, ENGSTRÖM PE, NASSTRÖM K, Lü ZY, SANDERINK G, WELANDER U. Marginal bone levels measured in film and digital radiographs corrected for attenuation and visual response: An in vivo study. *Dentomaxillofac Radiol*. 2007;36:7-11.

LUCAS, Rodrigo Ramos Silveira. Fatores que afetam a osseointegração dos implantes—uma revisão. *International Journal of Science Dentistry*, v. 1, n. 39, 2014.

MOHAN R, SINGH A, GUNDAPPA M. Three-dimensional imaging in periodontal diagnosis-Utilization of cone beam computed tomography. *J Indian Soc Periodontol*. 2011;15:11-7.

OSSTELL, Scientific Database Osstell. Disponível em: <<https://www.osstell.com/scientific-database/>>. Acesso em 20 de dezembro de 2018.

PALATTELLA, Piermario; TORSELLO, Ferruccio; CORDARO, Luca. Two-year prospective clinical comparison of immediate replacement vs. immediate restoration of single tooth in the esthetic zone. *Clinical Oral Implants Research*, v. 19, n. 11, p. 1148-1153, 2008.

PAULSEN, F.; WASCHKE, J. Sobotta: atlas de anatomia humana: cabeça, pescoço e neuroanatomia. In: Sobotta: atlas de anatomia humana: cabeça, pescoço e neuroanatomia. 2000.

RODRIGO, Daniel et al. Diagnosis of implant stability and its impact on implant survival: a prospective case series study. *Clinical oral implants research*, v. 21, n. 3, p. 255-261, 2010.

SARMENTO, Viviane Almeida; PINHO, Cristina Bacellar de; RIVAS, Cristiane Castro. Influência do tempo de exposição à radiação X e do tamanho de captura da radiografia na amplitude dinâmica de imagens digitalizadas. *Rev Odontol UNESP*, v. 31, n. 1, p. 61-70, 2002.

SIM, Christina PC; LANG, Niklaus P. Factors influencing resonance frequency analysis assessed by Osstell™ mentor during implant tissue integration: I. Instrument positioning, bone structure, implant length. *Clinical oral implants research*, v. 21, n. 6, p. 598-604, 2010.

TAKESHITA WM, VESSONI Iwaki LC, DA SILVA MC, TONIN RH. Evaluation of diagnostic accuracy of conventional and digital periapical radiography, panoramic radiography, and cone-beam computed tomography in the assessment of alveolar bone loss. *Contemp Clin Dent*. 2014 Jul;5(3):318-23.

UFFMANN M, PROKOP M, EISENHUBER E, FUCHSJÄGER M, WEBER M, SCHAEFER-PROKOP C. Computed radiography and direct radiography: influence of acquisition dose on the detection of simulated lung lesions. *Invest Radiol*. 2005 May;40(5):249-56.

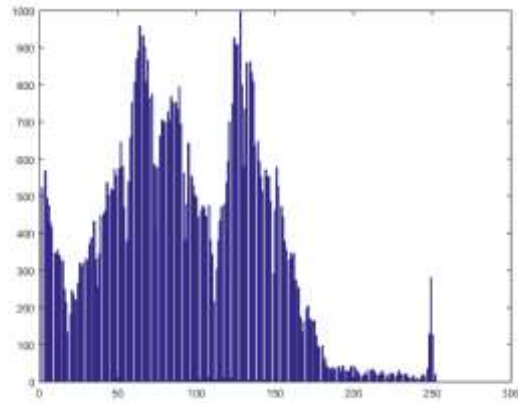
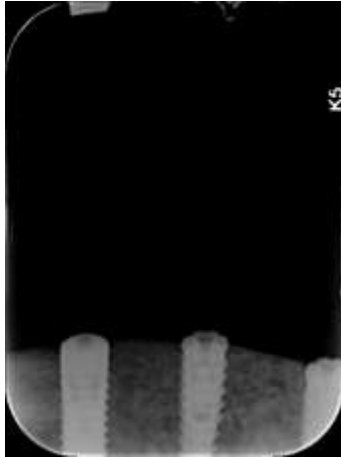
WUEHRMANN, Arthur H.; MANSON-HING, Lincoln R. *Dental radiology*. Mosby Incorporated, 1981.

YACOVENCO, A. Análise dos problemas mais freqüentes da radiografia na prática odontológica. *Revista da ABRO*, v. 2, n. 1, p. 29-39, jan.-jun, 2001.

ZYBUTZ, M. et al. Comparisons of clinical and radiographic measurement of interproximal vertical defects before and 1 year after surgical treatments. *J Clin Periodontol*, Copenhagen, v.27, n.3, p.179-186, Mar, 2000.

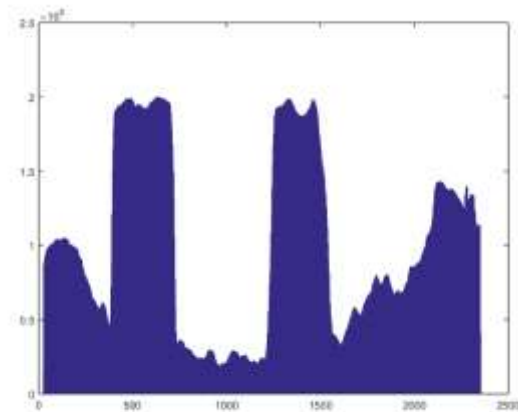
Anexo 1- Imagens Processadas

Ortoradial Direito - Tempo 0

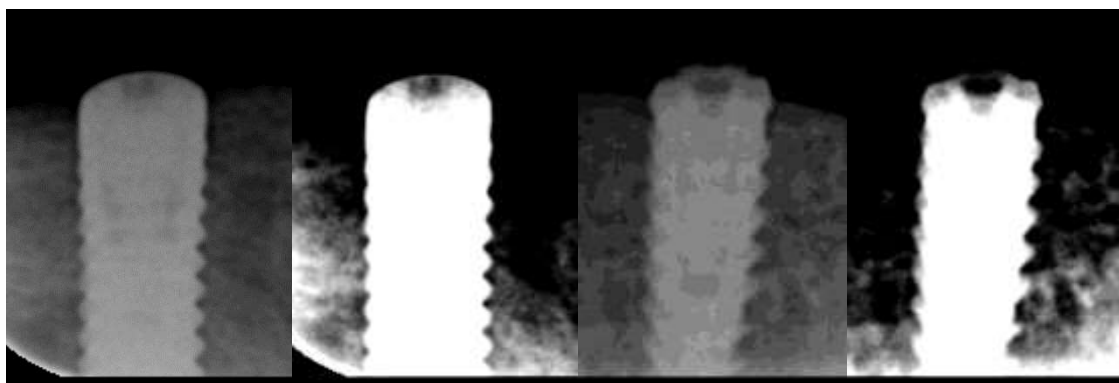


Raio X

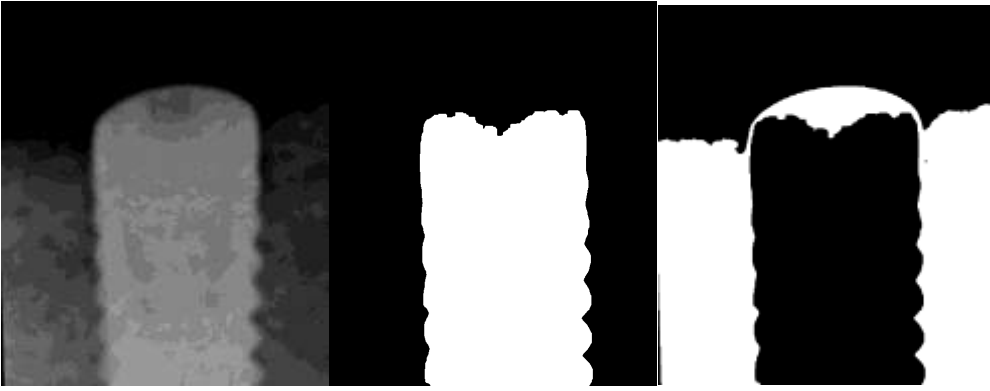
Histograma



Segmentação dos Implantes

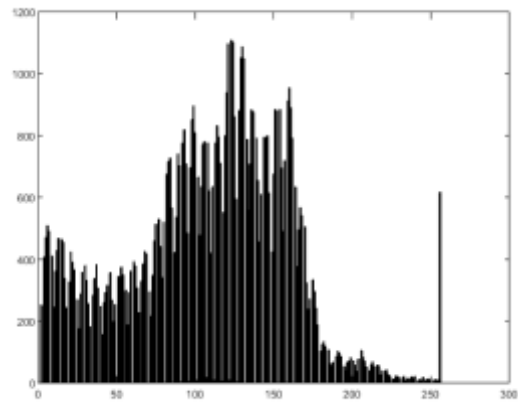


Implantes



Implantes Segmentados

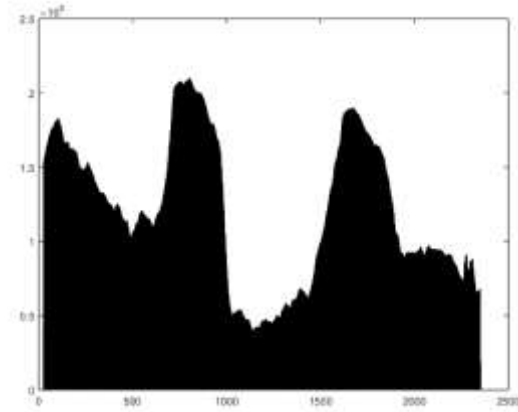
Ortoradial Esquerdo - Tempo 0



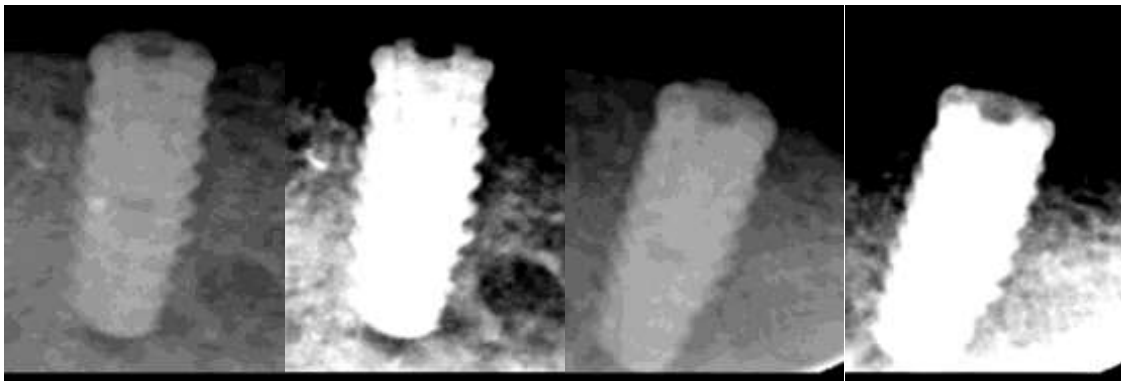
Raio X



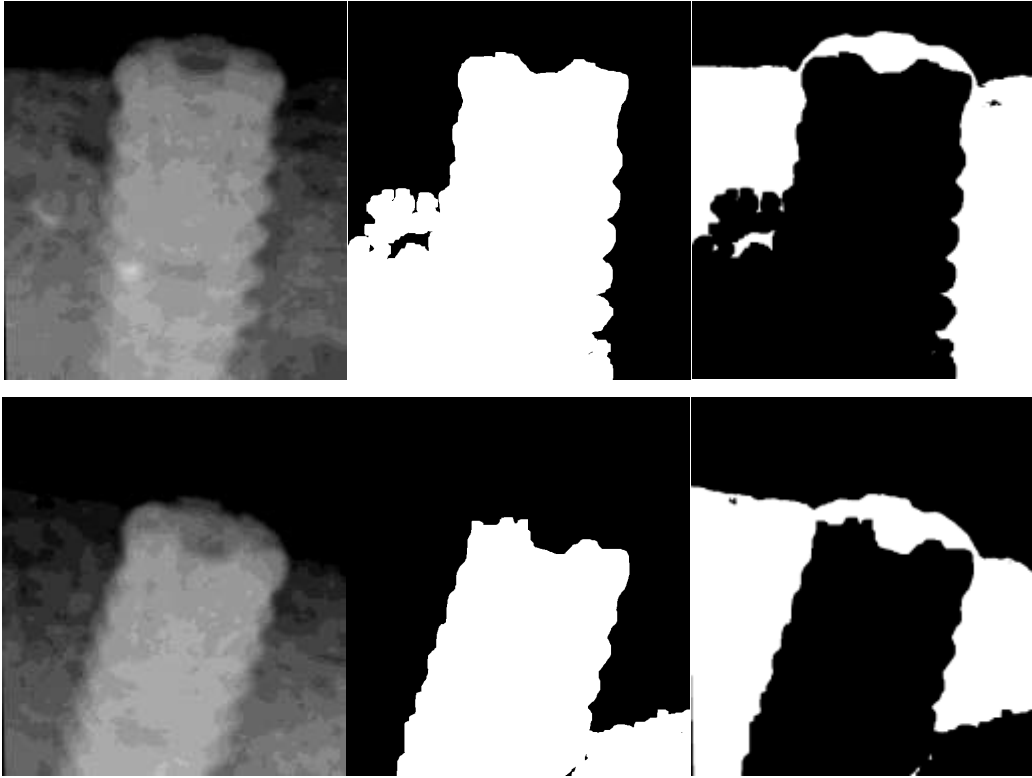
Histograma



Segmentação dos Implantes

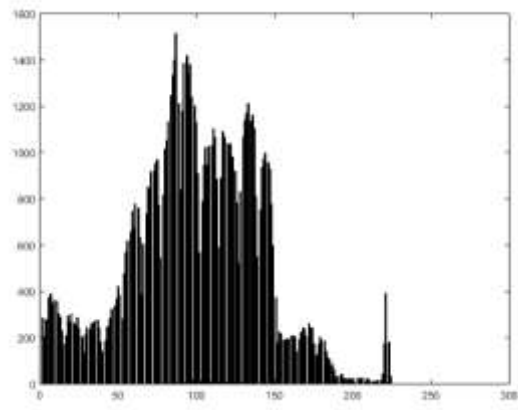
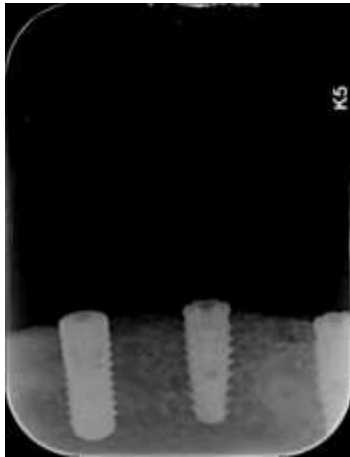


Implantes



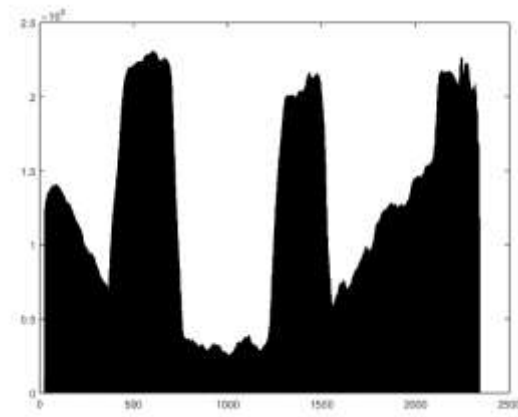
Implantes Segmentados

Ortoradial Direiro - Tempo 1

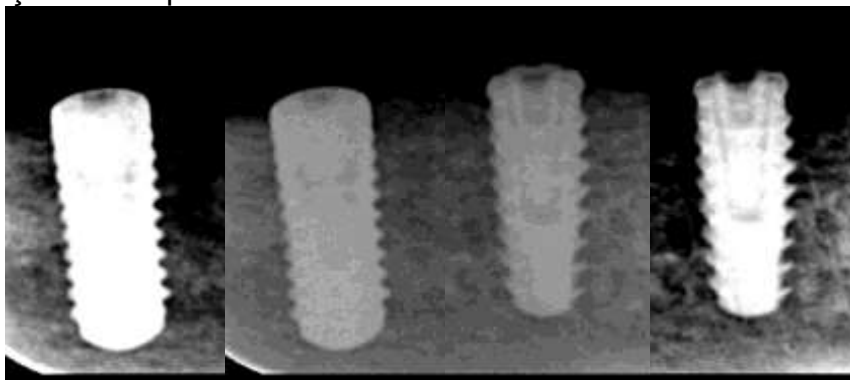


Raio X

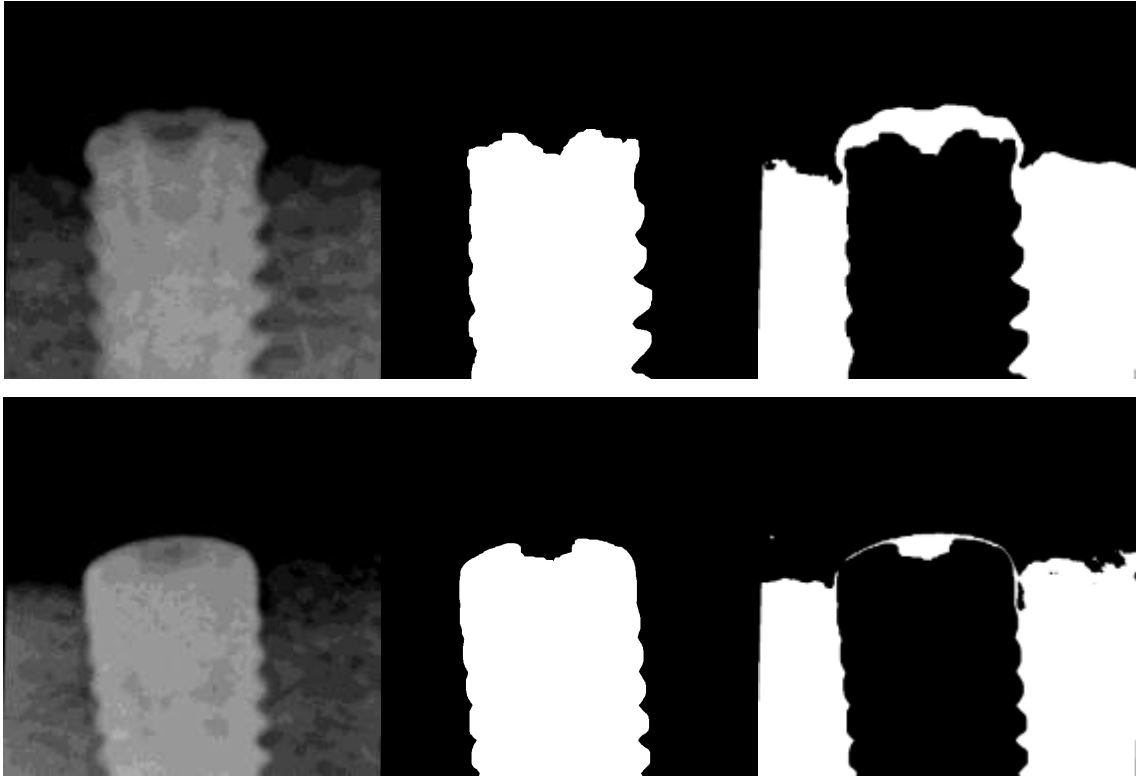
Histograma



Segmentação dos Implantes



Implantes

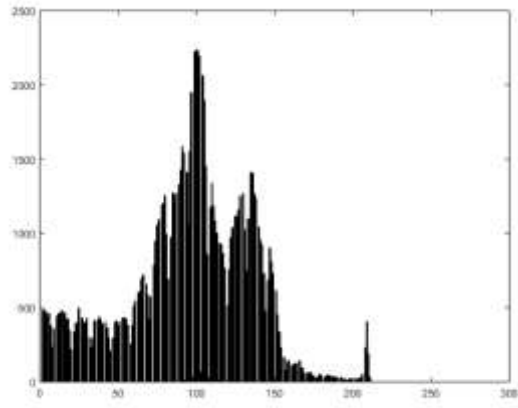


Implantes Segmentados

Ortoradial Esquerdo - Tempo 1



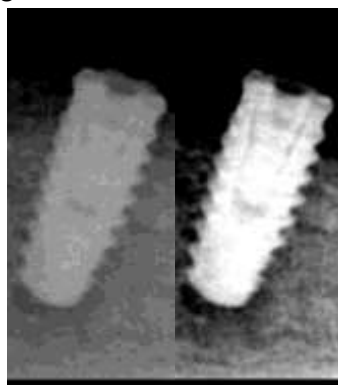
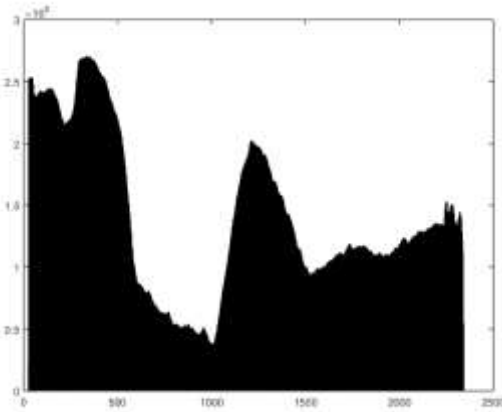
Raio X



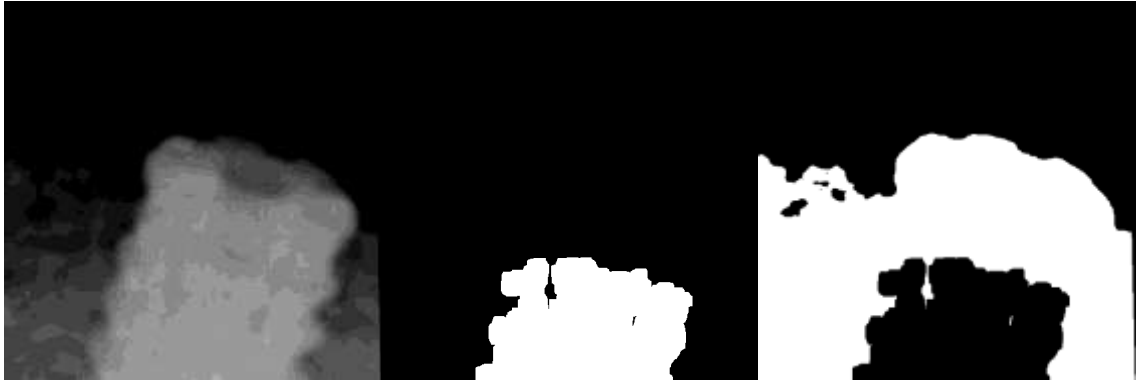
Histograma



Segmentação dos Implantes

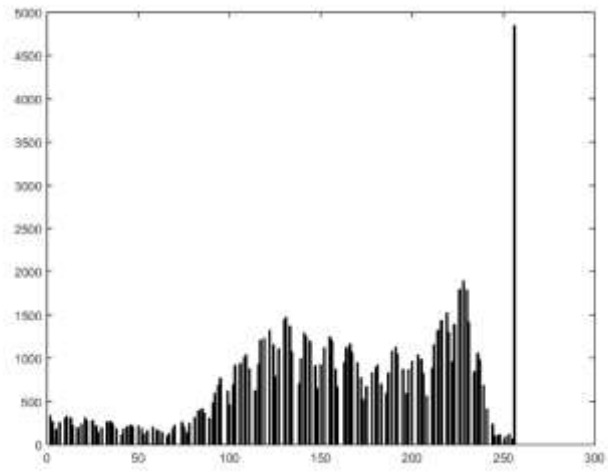
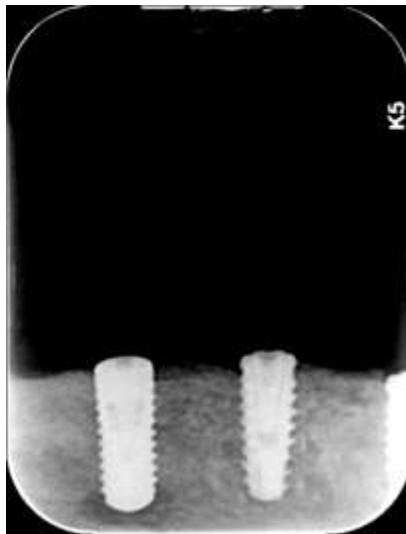


Implantes

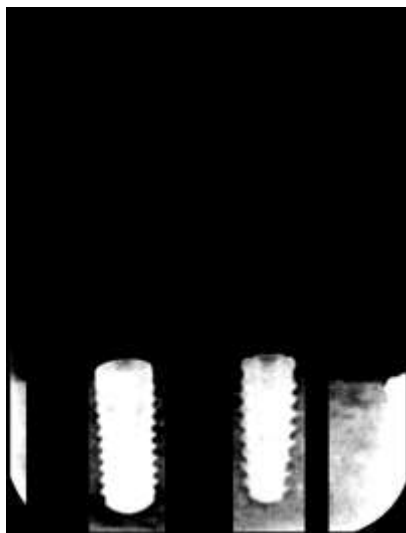


Implantes Segmentados

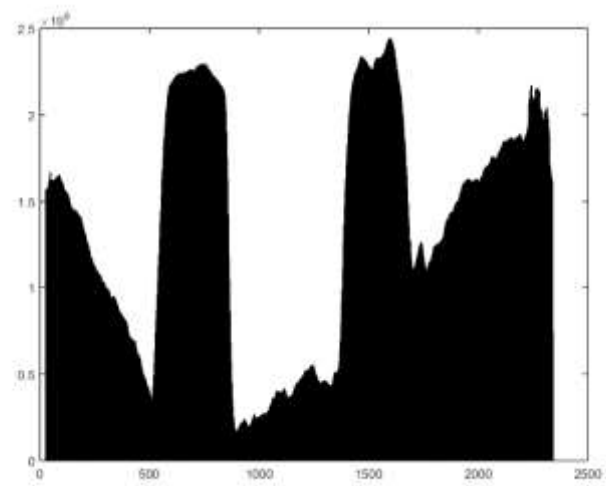
Ortoradial Direito - Tempo 2



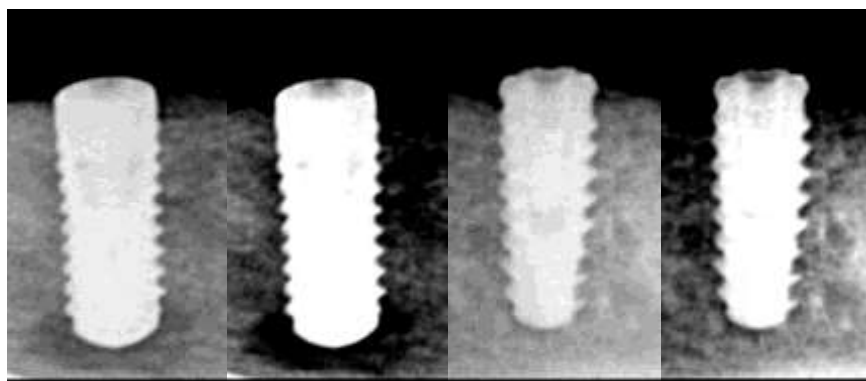
Raio X



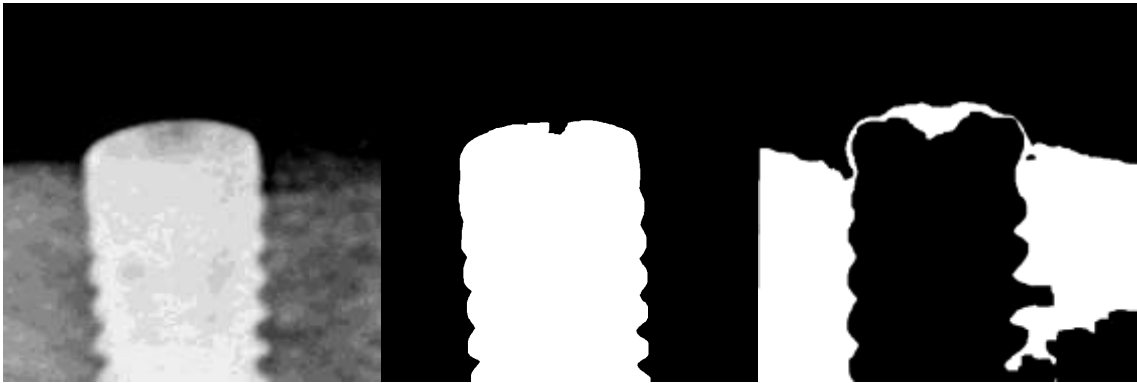
Histograma



Segmentação dos Implantes



Implantes

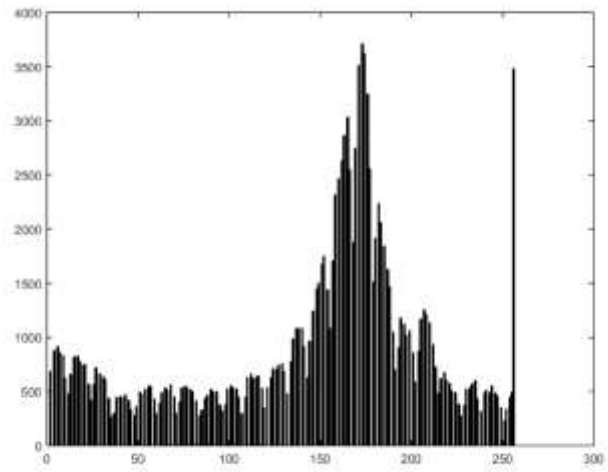


Implantes Segmentados

Ortoradial Esquerdo - Tempo 2



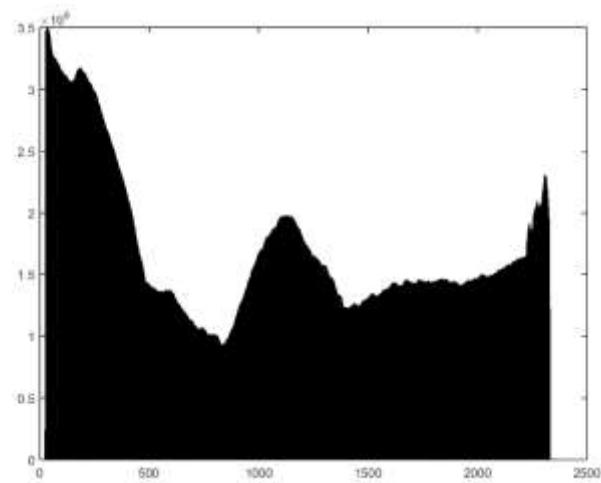
Raio X



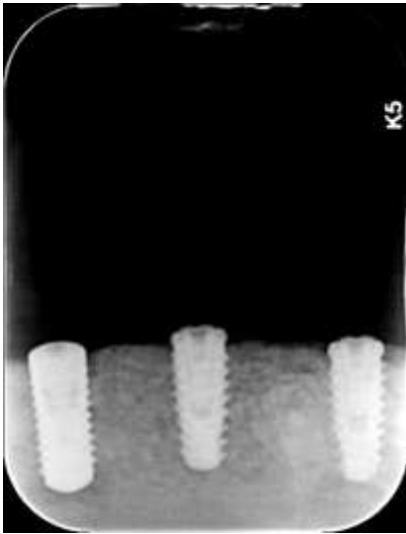
Histograma



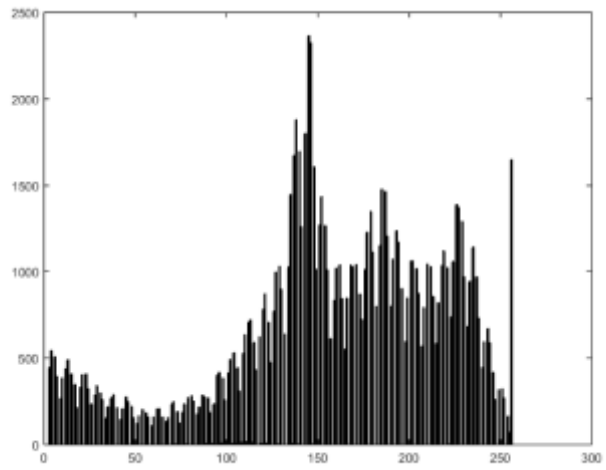
Segmentação dos Implantes



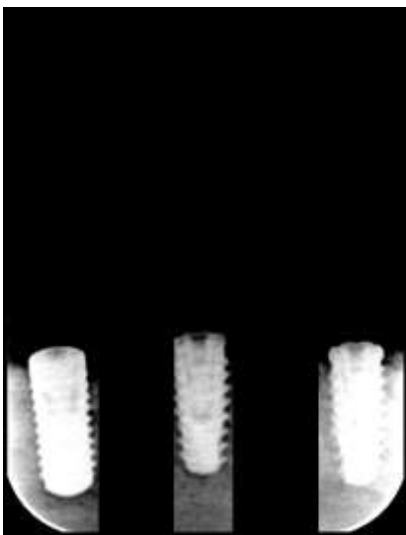
Ortoradial Direito - Tempo 3



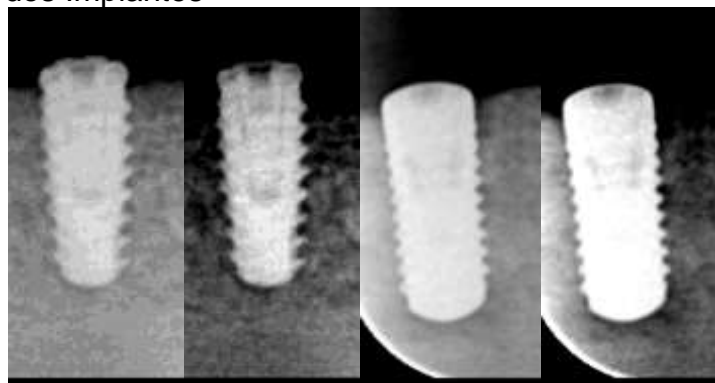
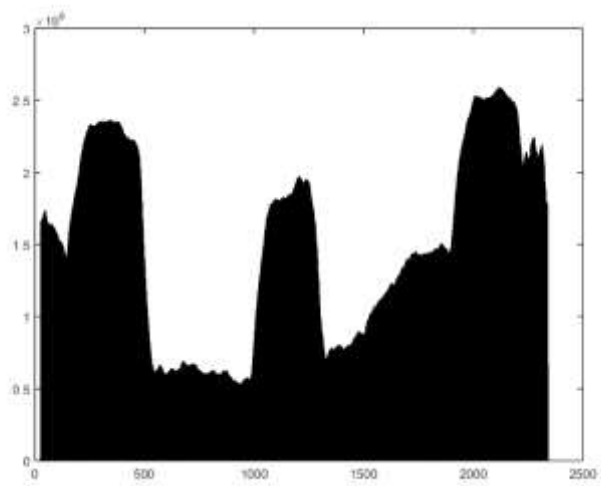
Raio X



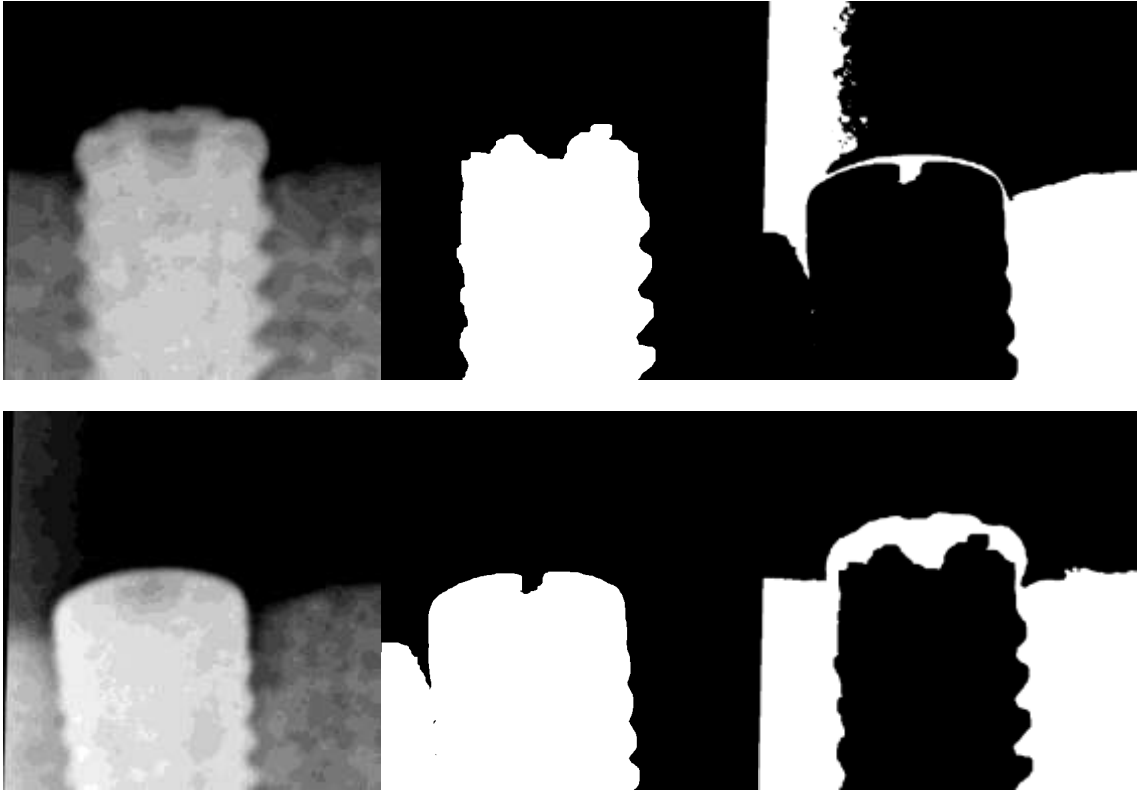
Histograma



Segmentação dos Implantes

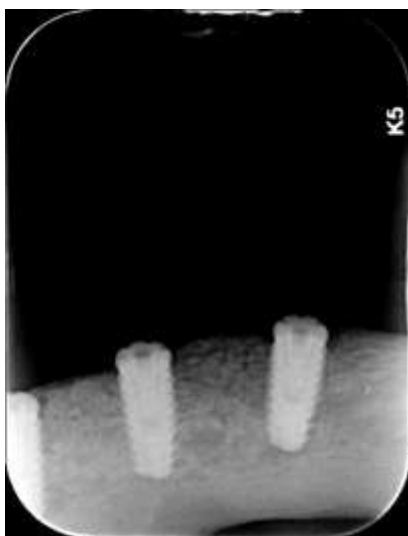


Implantes

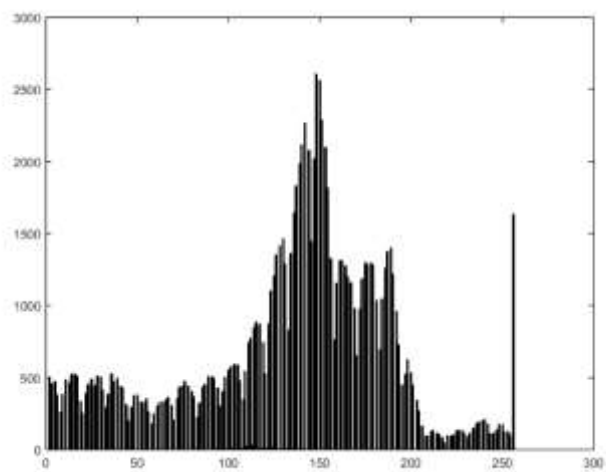


Implantes Segmentados

Ortoradial Esquerdo - Tempo 3



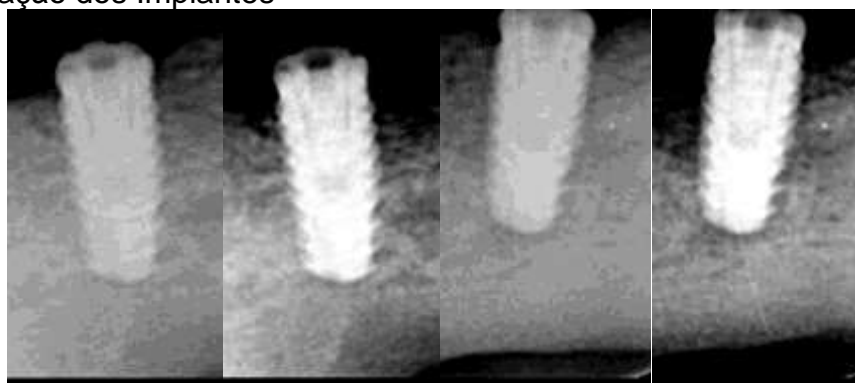
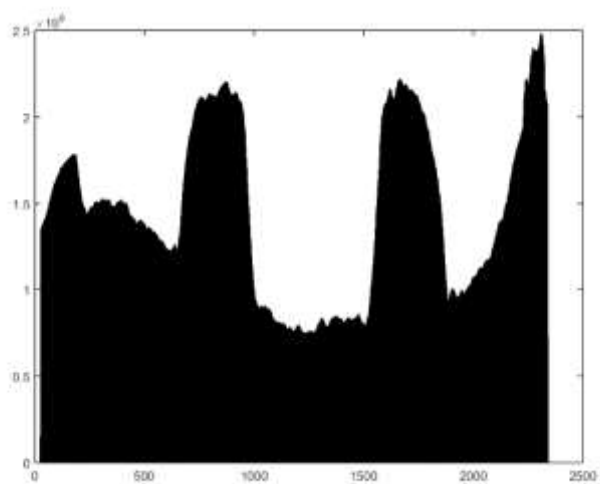
Raio X



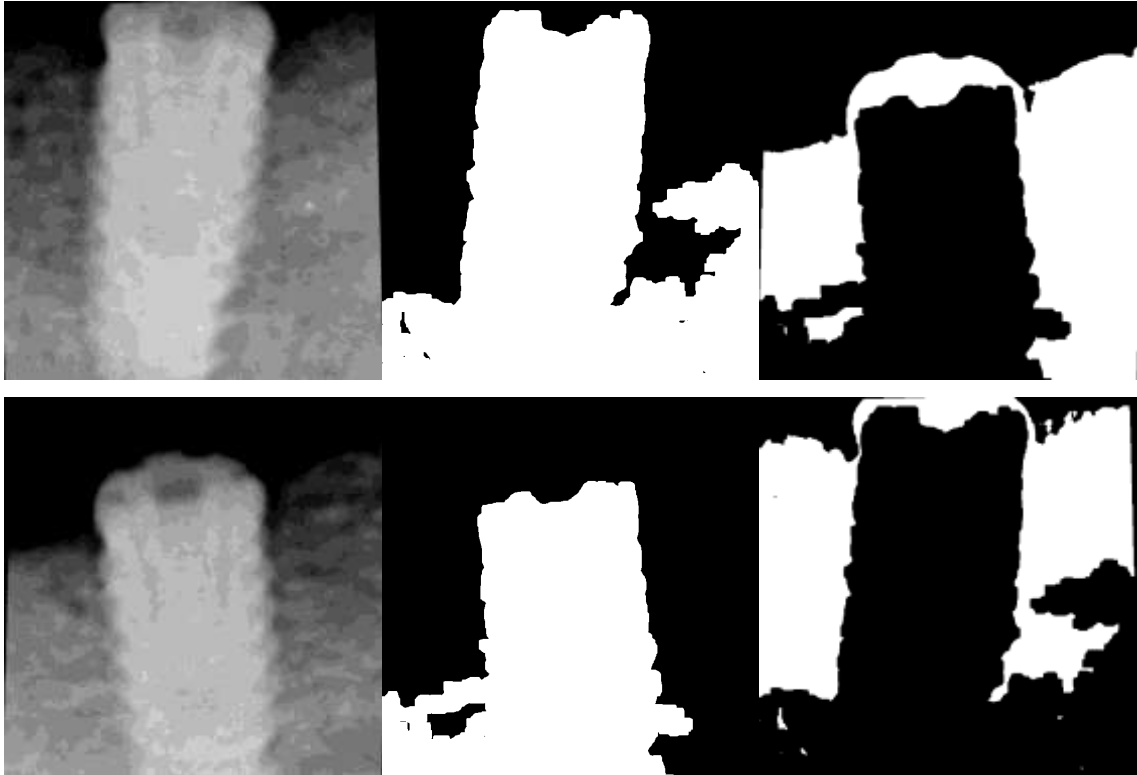
Histograma



Segmentação dos Implantes

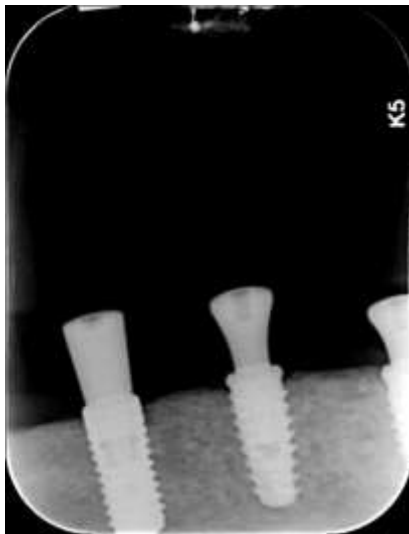


Implantes

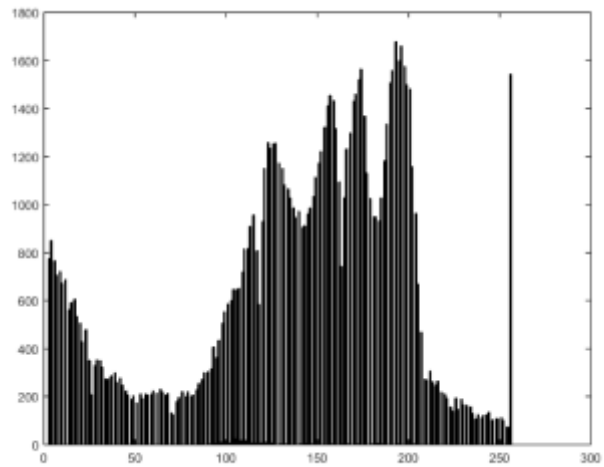


Implantes Segmentados

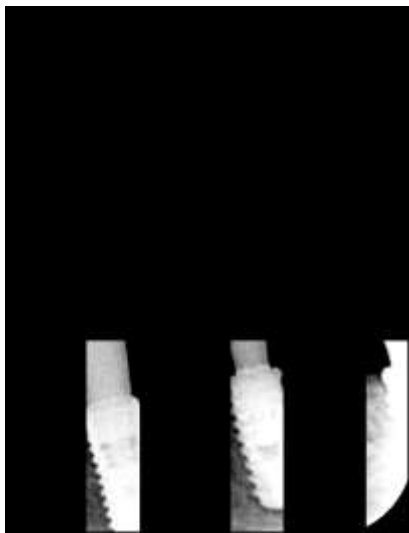
Ortoradial Direito - Tempo 4



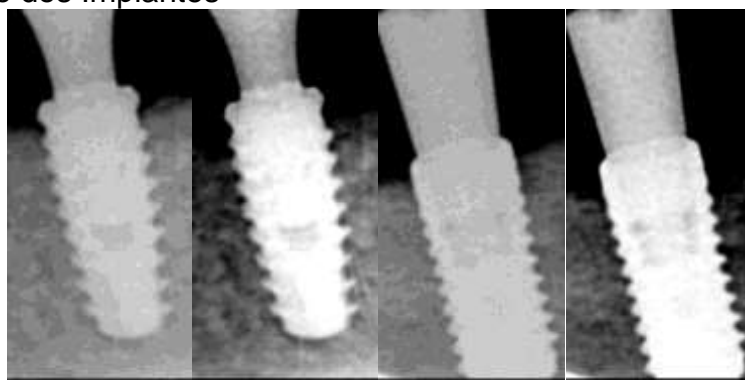
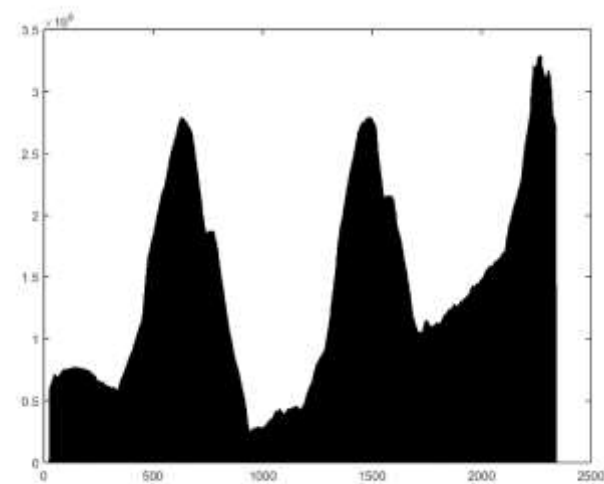
Raio X



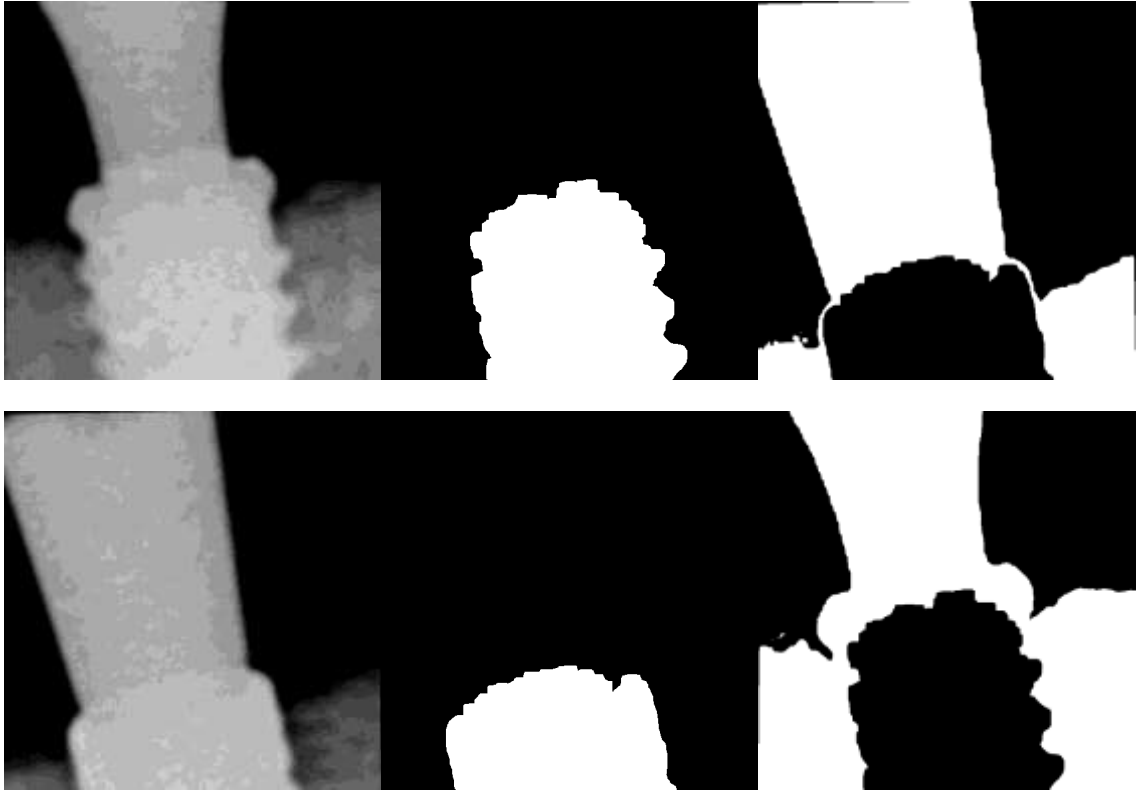
Histograma



Segmentação dos Implantes



Implantes

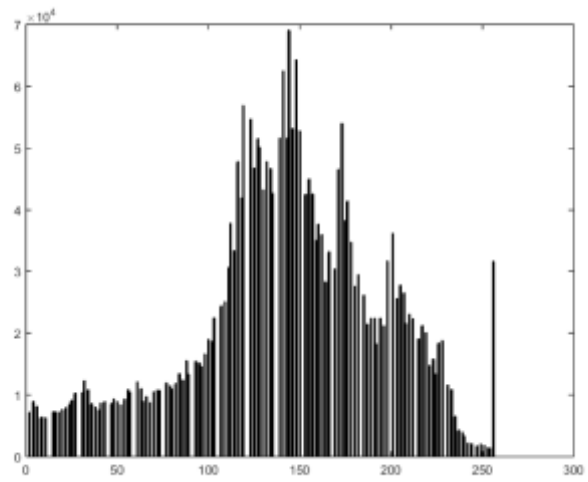


Implantes Segmentados

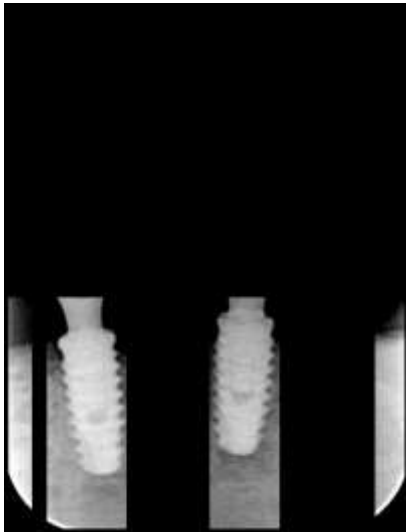
Ortoradial Esquerdo - Tempo 4



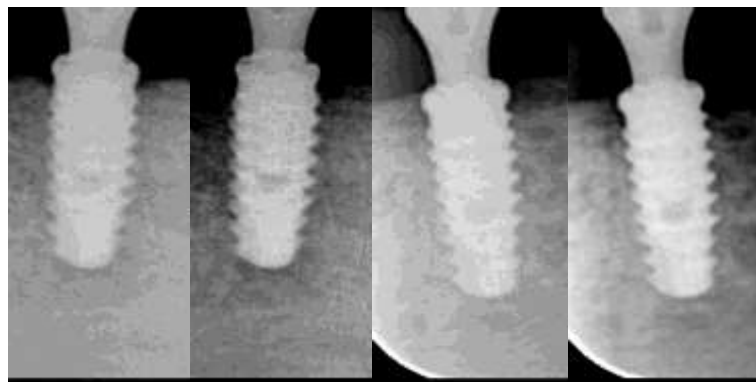
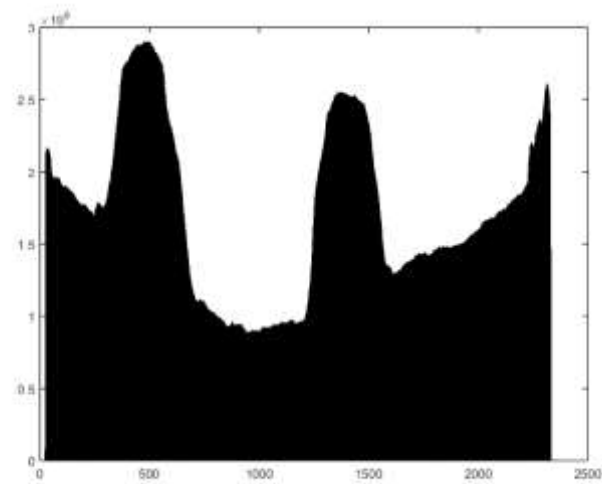
Raio X



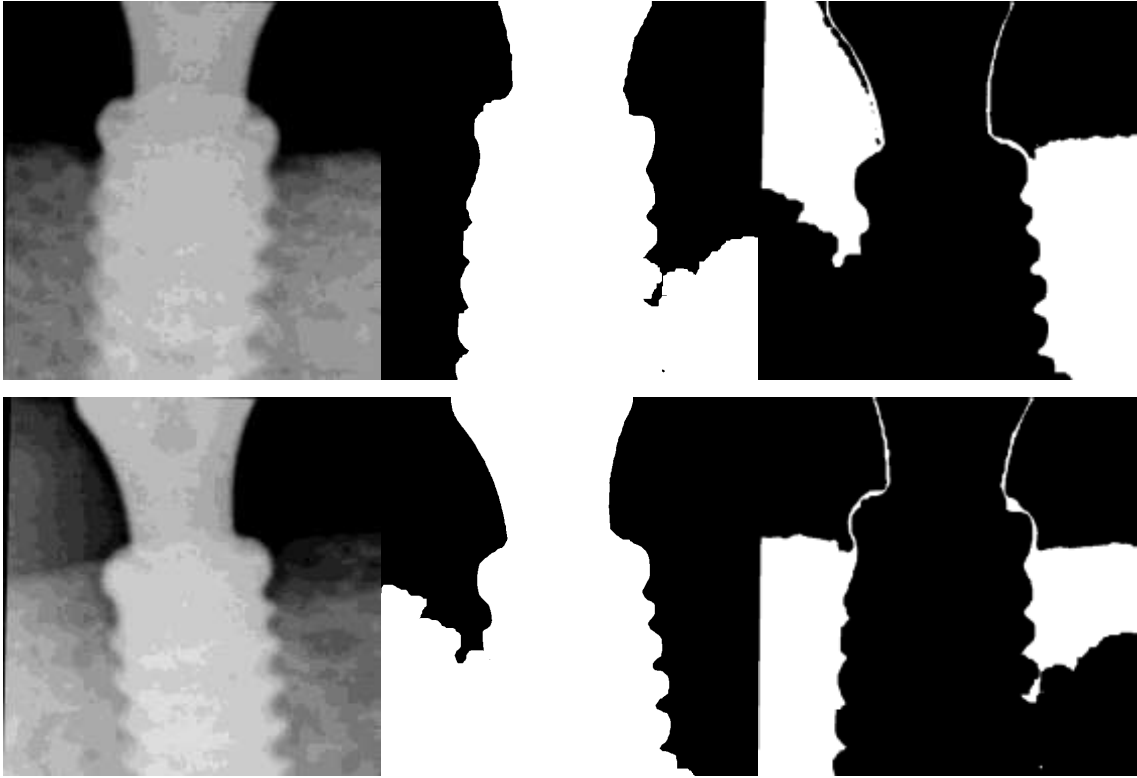
Histograma



Segmentação dos Implantes



Implantes

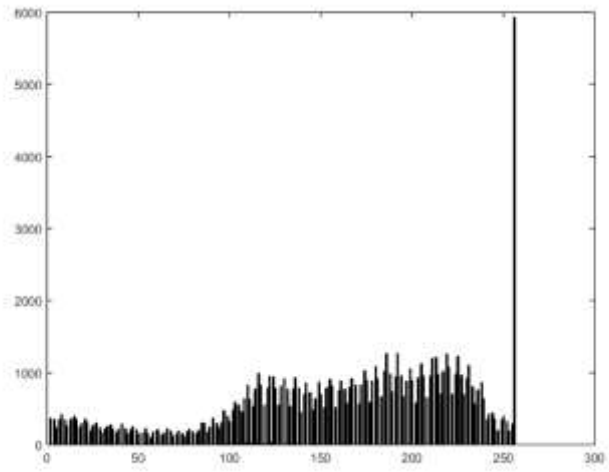


Implantes Segmentados

Ortoradial Direito - Tempo 5



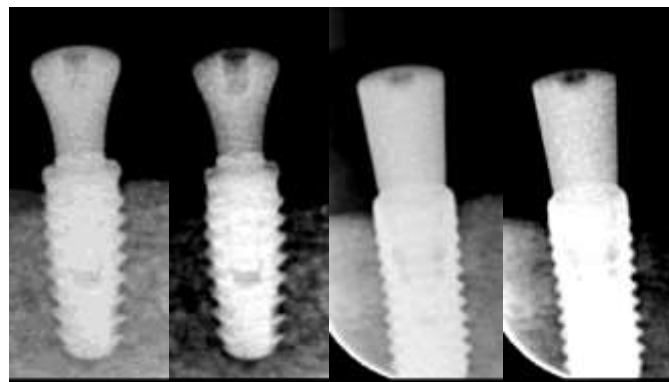
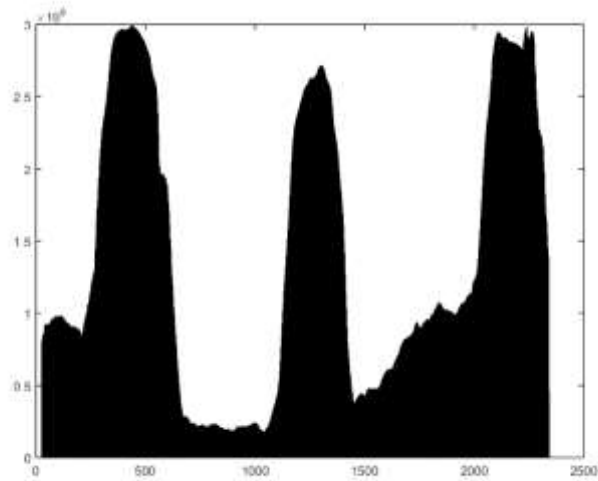
Raio X



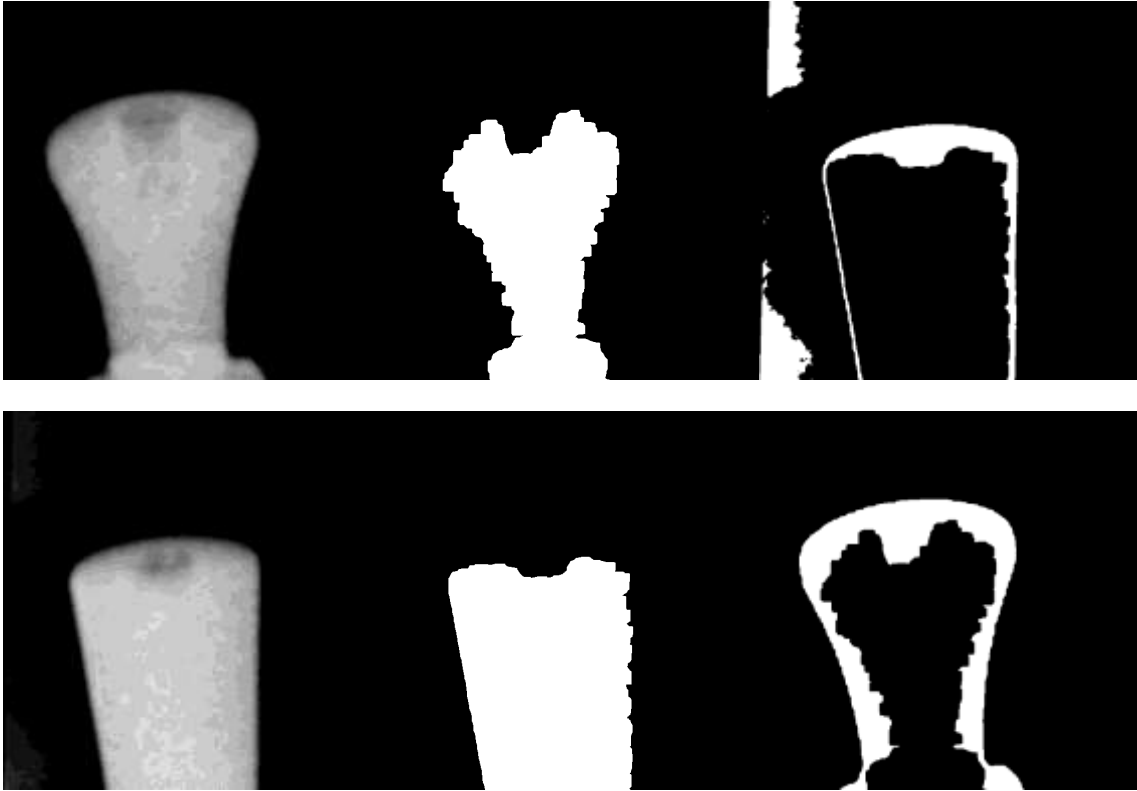
Histograma



Segmentação dos Implantes



Implantes

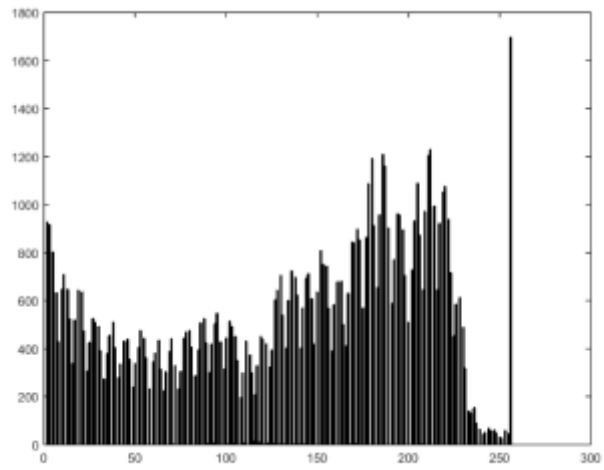


Implantes Segmentados

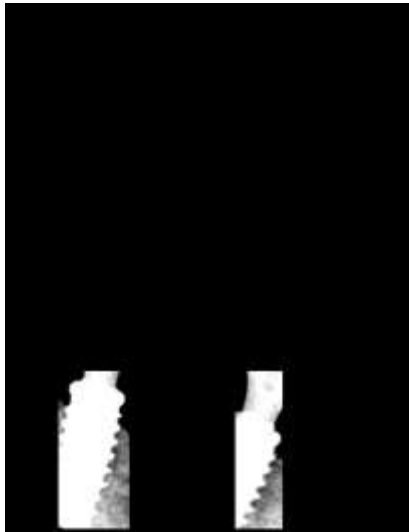
Ortoradial Esquerdo - Tempo 5



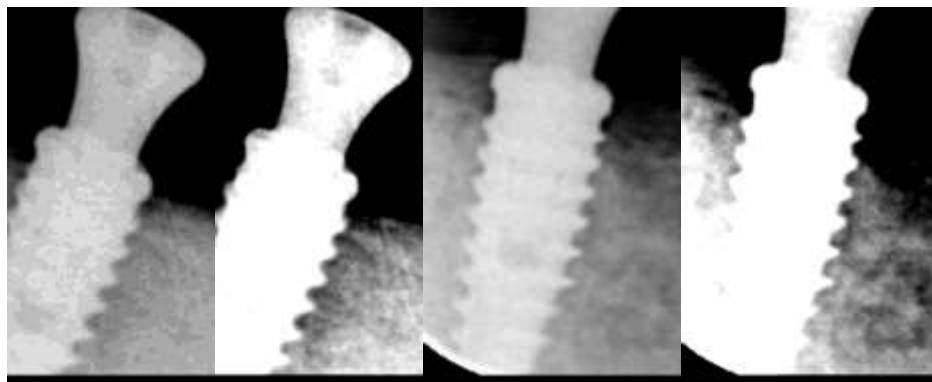
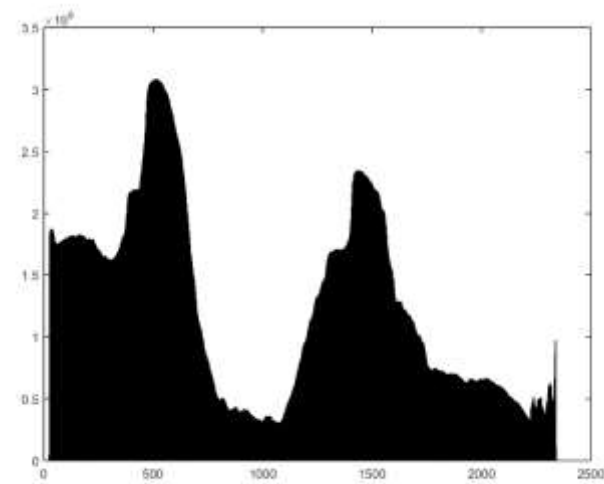
Raio X



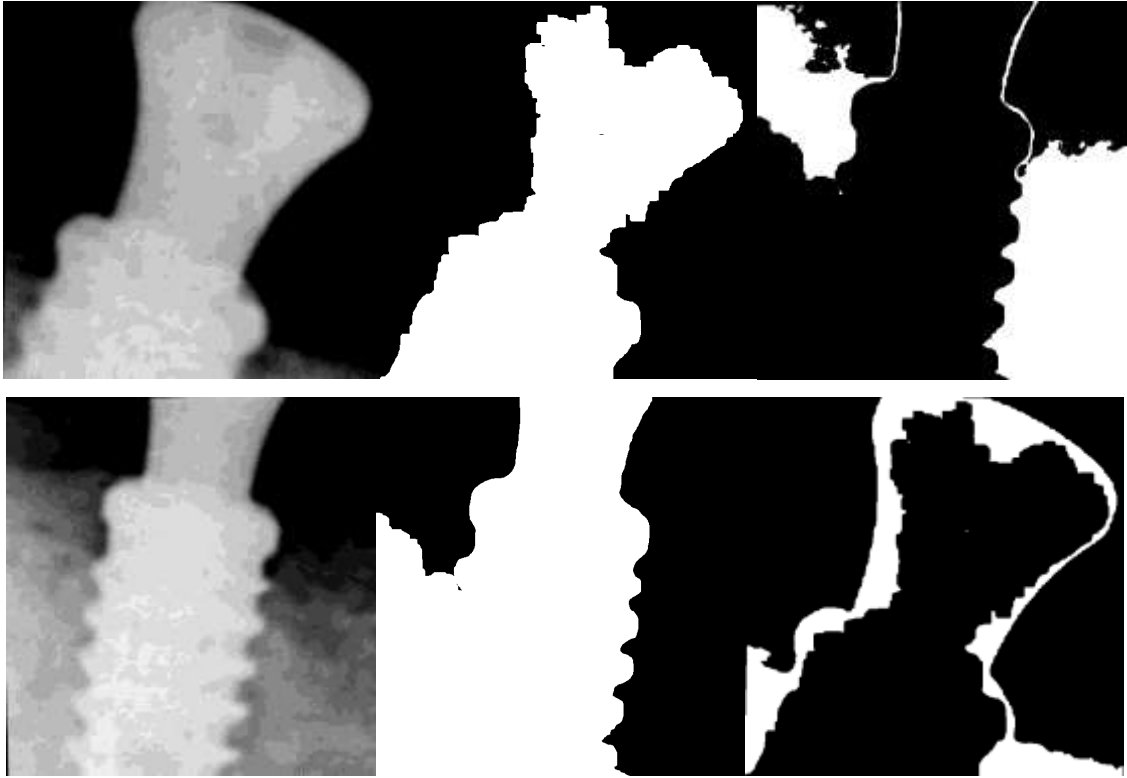
Histograma



Segmentação dos Implantes



Implantes

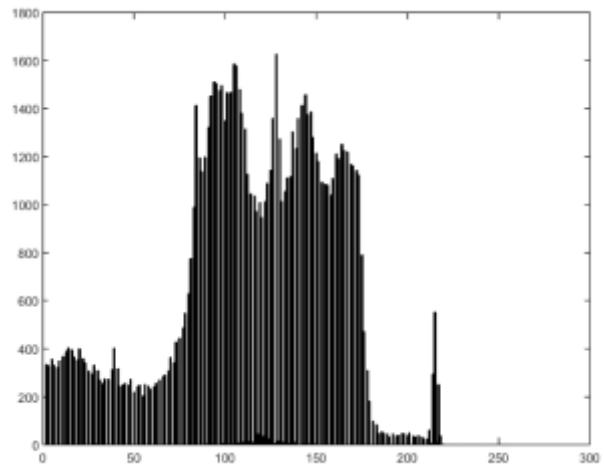


Implantes Segmentados

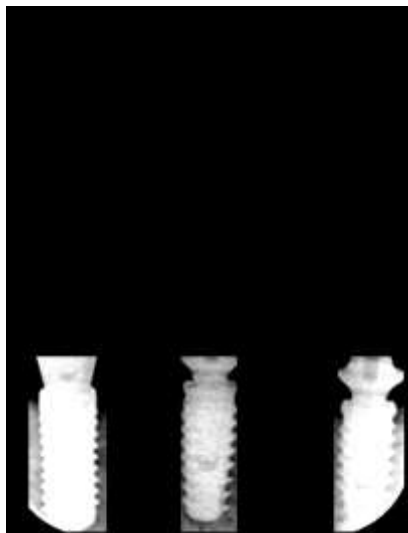
Ortoradial Direito - Tempo 6



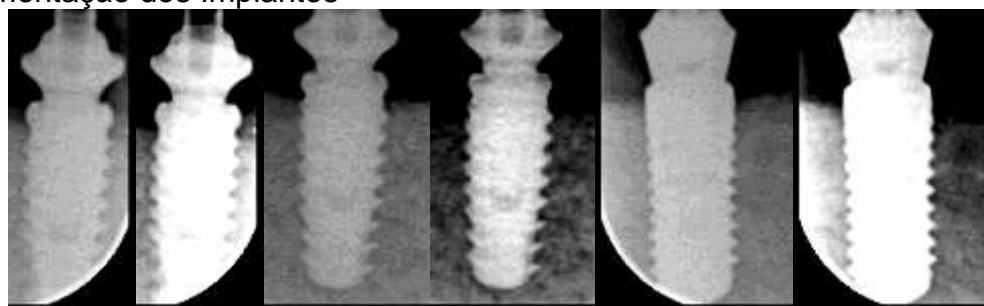
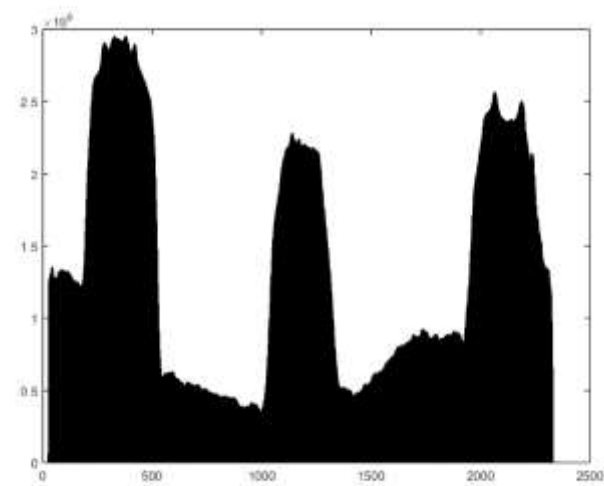
Raio X



Histograma



Segmentação dos Implantes

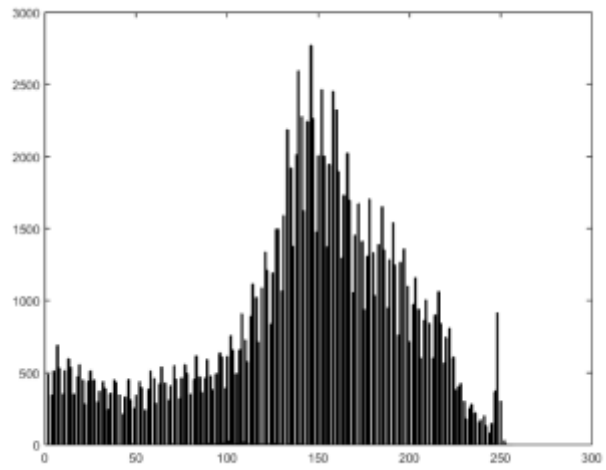


Implantes

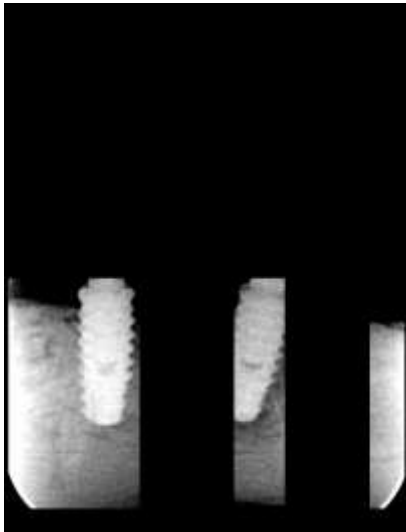
Ortoradial Esquerdo - Tempo 6



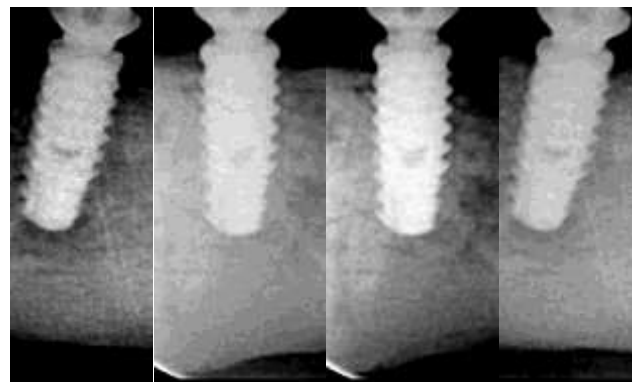
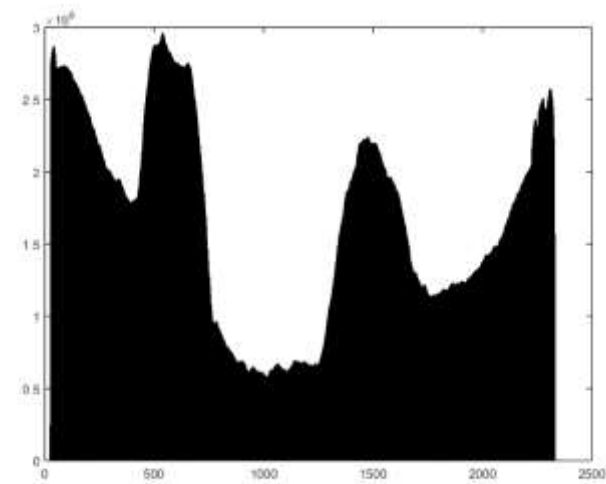
Raio X



Histograma



Segmentação dos Implantes



Implantes