

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO TRAZCK SOUZA
ISABELA MERLIN GESSER
JULIANO ANDRÉ FELIPE



SAO – SISTEMA DE APOIO A ORTOPEDIA:
MÓDULO COLUNA

CURITIBA
2012

MG
005.1
5749
2012

GUSTAVO TRAZCK SOUZA
ISABELA MERLIN GESSER
JULIANO ANDRÉ FELIPE

SAO – SISTEMA DE APOIO A ORTOPEDIA:
MÓDULO COLUNA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
conclusão do Curso Superior de Tecnologia
em Análise e Desenvolvimento de Sistemas,
Setor de Educação Profissional e
Tecnológica, Universidade Federal do
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antônio P. Neves

CURITIBA
2012

Felipe, Juliano André

SAO – Sistema de Apoio A Ortopedia – Módulo Coluna /
Juliano André Felipe; Isabela Merlin Gesser; Gustavo Trazck
Souza. - Curitiba, 2013. – 104 f.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Pereira Neves
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade
Federal do Paraná, Curso de Tecnologia em Análise e
Desenvolvimento de Sistemas, 2013.

1. Coluna. 2. Radiografia. 3. RX. 4. Raio-X. 5. Ortopedia.
6. Traumatologia. 7. SAO. 8. Processamento de Imagens.
8. Diagnósticos auxiliados por computadores. I. Isabela Merlin
Gesser; Gustavo Trazck Souza II. SAO – Sistema de Apoio a
Ortopedia – Módulo Coluna.

TERMO DE APROVAÇÃO

Atesto que o trabalho apresentado no Curso Superior em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, intitulado “SÃO: SISTEM DE APOIO A ORTOPEdia. MÓDULO COLUNA” foi aprovado como requisito na disciplina de “Trabalho de Conclusão de Curso”, no dia 20/03/2013.

Alunos

Gustavo Trazck Souza,
Isabela Merlin Gesser e
Juliano André Felipe.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Luiz Antônio Pereira Neves (orientador –UFPR)
Dr. Jaime Luís Lopes Rocha (Sociedade Brasileira de Clínica Médica)
Prof. MSc. Jaime Wojciechowski (UFPR)
Prof. MSc. Dieval Guizelini (UFPR)

Curitiba, 09 de abril de 2013.



Prof. Dr. Luiz Antônio Pereira Neves
Professor, Orientador e Presidente da Banca

neves@ufpr.br

(41) 9161-0085

AGRADECIMENTOS

Aos nossos pais, que jamais mediram esforços para nos tornar pessoas melhores.

Ao nosso Prof. Dr. LUIZ ANTÔNIO PEREIRA NEVES, pela amizade, carinho, paciência, compreensão e orientação, não só neste trabalho, mas em todo o nosso início de vida acadêmica.

Ao Prof. Dr. RODRIGO OLIVEIRA CARVALHO DE AGUIAR, pelo imprescindível auxílio neste trabalho.

A todos os nossos professores, que com carinho e compreensão nos ajudaram a completar mais uma etapa de nossas vidas.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma ferramenta computacional que tem por objetivo auxiliar profissionais e estudantes das áreas de Radiologia em seus diagnósticos e estudos da coluna vertebral.

O sistema proposto, nomeado de SAO (Sistema de Apoio à Ortopedia), possui funcionalidades que incluem filtros e técnicas de processamento de imagens para aprimorar e facilitar a visualização de imagens radiográficas digitalizadas. Possui também linhas interativas desenhadas pelo usuário, que automatizam os cálculos mais comuns utilizados por médicos ou estudantes desta área profissional para auxiliar a diagnosticar seus pacientes, tais como o espaçamento entre cada par de vértebras, medição de deslocamentos das vértebras e/ou regiões da coluna em graus, entre outros.

Desenvolvido na linguagem de programação Java e utilizando a biblioteca OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*, traduzido para Biblioteca de Visão Computacional de Código Aberto) para processamento de imagens, a ferramenta oferece um bom ambiente para atualizações posteriores.

Embora existam ferramentas internacionais que proporcionam as mesmas funcionalidades mencionadas acima, estas são, por diversos motivos, de difícil acessibilidade aos novos profissionais ou estudantes brasileiros. Desta forma, visamos facilitar a automação de cálculos de diagnósticos da coluna vertebral, assim como incentivar pesquisas sobre o assunto em âmbito nacional.

Palavras Chave: Coluna, Radiografia, RX, Raio-X, Ortopedia, Traumatologia, SAO, Processamento de Imagens, Diagnósticos auxiliados por computadores.

ABSTRACT

This paper presents a computational tool that aims to help Radiography medics and undergraduate students in their diagnoses and studies.

The proposed system, named SAO (Sistema de Apoio à Ortopedia, in Portuguese), has features that include filters and image processing techniques to enhance and facilitate the viewing of digitized radiographic images. It also has interactive lines drawn by the user, automating the most common calculations used by medical students in this professional area to help diagnose their patients, such as the spacing between each pair of vertebrae, vertebral and/or lumbar spine displacement measured in degrees, among others.

The proposed system has been developed in Java programming language and using the library OpenCV (Open Source Computer Vision Library) for image processing, having a good environment for future updates.

Although there are international tools that provide the same features mentioned above, these are, for several reasons, of difficult accessibility to new Brazilian undergraduate students or professionals. Thus, we aim to facilitate the automation of diagnostic calculations of the spine, as well as encourage research on the subject nationwide.

Keywords: Spine, Radiograph, RX, X-ray, Orthopedics, Traumatology, SAO, Image Processing, Computer-aided diagnostics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Primeira radiografia da história: mão da esposa de Röntgen	20
Figura 2 – Demonstração de dois tipos de deslocamento da coluna vertebral.....	22
Figura 3 – Figura esquemática de uma escoliose.....	23
Figura 4 – Exemplificação do cálculo do ângulo de Cobb para escoliose.....	24
Figura 5 – (1) Posição normal da coluna, (2) Lordose.....	24
Figura 6 – Exemplificação do cálculo do ângulo Cobb para lordose.....	25
Figura 7 – Resultados do estudo de desempenho de diagnóstico.....	26
Figura 8 – Demonstração dos valores de pixels de uma imagem digital.....	28
Figura 9 – Calculando o valor da mediana de pixels vizinhos.....	33
Figura 10 – Exemplo de imagem (esquerda) e do Kernel (direita).....	34
Figura 11 – Exemplo do filtro Sobel.....	36
Figura 12 – Imagem original e imagem binária.....	37
Figura 13 – Ilustração dos operadores lógicos em imagens preto e branco.....	42
Figura 14 – Metodologia usada.....	46
Figura 15 – Artigos lidos para pesquisa deste trabalho e seus respectivos anos de publicação.....	47
Figura 16 – Surgimap Spine – Tela de medição.....	49
Figura 17 –Spine Analyzer– Anotação automática das margens da coluna.....	50
Figura 18 – DX Analyzer – Tela de seleção de vértebras.....	51
Figura 19 – Diagrama de Casos de Uso.....	62

Figura 20 - Tela de diálogo inicial que permite selecionar no sistema imagem a ser analisada.....	63
Figura 21 – Software com imagem selecionada aberta, com as opções de filtro a serem realizadas.....	64
Figura 22 – Janela contendo informações técnicas da imagem selecionada.....	64
Figura 23 – Demonstração dos filtros de tratamento. (a) Imagem original, (b) – filtro de brilho e contraste, (c) - Mediana e (d) – Convolução.....	65
Figura 24 – Demonstração dos filtros de tratamento (a) -Coluna normal, (b) Coluna com patologia, (c) Adição, (d) Subtração.....	65
Figura 25 – Demonstração dos filtros de tratamento (a) – Imagem original, (b) Filtro Threshold normal nível 66, (c) Filtro Threshold inverso nível 66, (d) Inversão.....	66
Figura 26 - Exemplo de criação de linhas da ferramenta proposta.....	67
Figura 27 - Tela de diálogo onde é marcado as linhas de estudo e escolhido o cálculo a ser realizado, na mesma tela os valores são mostrados em graus e radianos.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Funcionalidades do OpenCV.....	30
Tabela 2 – Tabela lógica do operador AND.....	44
Tabela 3 – Tabela lógica do operador OR.....	45
Tabela 4 – Tabela lógica do operador OR.....	46
Tabela 5 – Detalhamento das fases do RUP.....	57
Tabela 6 – Avaliação da velocidade de execução.....	72
Tabela 7 - Identificação do ângulo de cada patologia.....	73
Tabela 8 – Comparação dos resultados do médico com os resultados do SAO.....	74

LISTA DE SIGLAS

- SAO – Sistema de Apoio à Ortopedia
- CAD – *Computer Aided Diagnosis*
- RSNA - *Radiological Society of North America*
- OpenCV – *Open Source Computer Vision Library*
- BSD - *Berkeley Software Distribution*
- SVD – *Single Value Decomposition*
- HMM – *Hidden Markov Models*
- GUI - *Graphical User Interface*
- DAPI – Laboratório de Diagnóstico Avançado por Imagem
- IDT – *International Diagnostic Technologies*
- RAM - *Random-access Memory*
- UML – *Unified Modeling Language*
- JUG – *Java User Group*
- IDE - *Integrated Development Environment*
- RUP – *Rational Unified Process*
- WBS - *Work Breakdown Structure*
- SVM – *Support Vector Machine*
- JPEG - *Joint Photographic Experts Group*
- PNG - *Portable Network Graphics*
- SRS - *Scoliosis Research Society*

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
RESUMO.....	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE SIGLAS	9
SUMÁRIO.....	10
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS DO PROJETO.....	15
1.1.1 Objetivo Geral.....	15
1.1.2 Objetivos específicos	16
1.2 PROBLEMATIZAÇÃO.....	16
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 PRINCÍPIOS DA RADIOLOGIA	18
2.1.1 Radiografia da Coluna	19
2.1.2 Escoliose	21

2.1.3	Lordose Lombar.....	23
2.2	CAD – COMPUTER-AIDED-DIAGNOSIS	24
2.3	PROCESSAMENTO DE IMAGENS	26
2.3.1	OpenCV.....	28
2.3.2	Brilho e Contraste	30
2.3.3	Escala de Cinza.....	31
2.3.4	Inversão.....	31
2.3.5	Mediana.....	31
2.3.6	Convolução.....	33
2.3.7	Detecção de bordas.....	34
2.3.8	Sobel	34
2.3.9	Threshold.....	35
2.3.10	Morfologia Matemática	36
2.3.10.1	Erosão e Dilatação	36
2.3.10.2	Abertura e Fechamento	38
2.3.11	Operadores Aritméticos	38
2.3.11.1	Adição.....	38
2.3.11.2	Subtração	39

2.3.11.3	Divisão e Multiplicação	40
2.3.12	Operadores Lógicos	41
2.3.12.1	AND – Intersecção de Imagens	42
2.3.12.2	OR – União de imagens.....	43
2.3.12.3	XOR - Disjunção Exclusiva	43
3	METODOLOGIA	45
3.1	PASSO 1 - PESQUISA	46
3.1.1	Artigos	46
3.1.2	Trabalhos Relacionados	47
3.1.3	Surgimap Spine	47
3.1.4	Spine Analyzer	48
3.1.5	DXAnalyzer.....	49
3.2	PASSO 2 - CONCEPÇÃO DO PROJETO.....	51
3.2.1	Ambiente de Hardware	51
3.2.2	Ambiente de Software.....	51
3.2.2.1	Astah	51
3.2.2.2	Pacote Microsoft Office.....	52
3.2.2.3	Java.....	52

3.2.2.4	NetBeans.....	53
3.2.3	Plano Geral de Projeto.....	53
3.2.3.1	Termo de Abertura	55
3.2.3.2	Declaração do Escopo	55
3.2.3.3	WBS – Work Breakdown Structure	55
3.2.3.4	Diagrama de Atividades e Gráfico de Gantt.....	56
3.2.3.5	Plano de Comunicação.....	56
3.2.3.6	Plano de Riscos	56
3.2.3.7	Acompanhamento do Projeto	57
3.2.4	Diagramas da UML.....	57
3.2.4.1	Diagrama de Classes	58
3.2.4.2	Especificação dos Casos de Uso	58
3.2.4.3	Diagramas de Seqüência	59
3.3	PASSO 3 – DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE	60
3.3.1	Tratamento das imagens	60
3.3.2	Realização de cálculos	64
3.3.3	INSTALAÇÃO	67
3.3.3.1	Requerimentos Mínimos.....	67

3.4	PASSO 4 - PROTOCOLO DE VALIDAÇÃO.....	68
3.4.1	Teste do método proposto	68
3.4.2	Etapa 1 - Análise das Radiografias pelo Médico Especialista	68
3.4.3	Etapa 2 - Análise das Radiografias pelo SAO	69
3.4.3.1	Análise da Velocidade de Execução (<i>Runtime</i>)	69
3.4.4	Etapa 3 - Análise de resultados	70
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
	REFERÊNCIAS	74
	APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA	78
	APÊNDICE B – DECLARAÇÃO DO ESCOPO	80
	APÊNDICE C – WBS	82
	APÊNDICE D – GRÁFICO DE GANTT	84
	APÊNDICE E – PLANO DE COMUNICAÇÃO	87
	APÊNDICE F – PLANO DE RISCOS	88
	APÊNDICE G – DIAGRAMA DE CLASSES	91
	APÊNDICE H – DIAGRAMA E ESPECIFICAÇÕES DE CASOS DE USO ...	96
	APÊNDICE I – DIAGRAMAS DE SEQUÊNCIA.....	100

1 INTRODUÇÃO

As áreas de processamento de imagens e visão computacional vêm apresentando expressivo desenvolvimento nas últimas décadas. Tal crescimento pode ser detectado na área acadêmica, na esfera industrial e na vida cotidiana, com a popularização dos computadores pessoais e das aplicações multimídia.

Profissionais das mais diversas áreas tornaram-se interessados em incorporar novos conhecimentos referentes ao processamento de imagens e seus possíveis auxílios a tarefas do cotidiano, porém contam com pequeno número de pesquisas em português sobre o assunto. Neste contexto, foi optado por desenvolver uma ferramenta de processamento de imagens de forma a tratar imagens radiográficas e fornecer cálculos de auxílio a seus diagnósticos.

1.1 OBJETIVOS DO PROJETO

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta computacional para auxiliar o médico ortopedista ou estudante em seus diagnósticos e estudos. O software proposto fornece ferramentas para aprimorar a qualidade de imagens radiográficas através de filtros, e automatizar os cálculos utilizados pelos médicos e estudantes nos diagnósticos de problemas da coluna vertebral, tais como a distância entre as vértebras e o ângulo de deslocamento lateral. Desta forma, facilitar o trabalho do médico ou estudante e agilizar o processo do diagnóstico, pois substituirá ferramentas manuais, por exemplo lápis, régua e transferidores.

1.1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral descrito acima, devem ser satisfeitos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver filtros para auxiliar a visualização e aprimoramento da qualidade das imagens radiográficas digitalizadas;
- Conceber ferramenta interativa de posicionamento de linhas nas imagens que auxiliam no processo dos cálculos médicos;
- Utilizar técnicas de processamento de imagens, tais como filtros, operadores lógicos, aritméticos e morfologia matemática;
- Criar uma plataforma não restrita apenas a um segmento médico, podendo ser reaproveitada tanto na parte do cálculo quanto de redução de ruídos.
- Apresentar ao meio acadêmico uma ferramenta computacional para auxiliar no aprendizado.
- Auxiliar a identificação de patologias da coluna;

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

No Brasil e no mundo, é crescente o auxílio tecnológico na prestação, educação e gestão de cuidados da saúde, em tarefas executadas por médicos, enfermeiros e outros profissionais ou estudantes do setor.

Existem diversos softwares internacionais no mercado atual que têm como objetivo auxiliar o médico com os mais variados diagnósticos, detalhados no capítulo 3 deste trabalho. Porém, em âmbito nacional, ainda há escassez de softwares de auxílio médico, especialmente especializados em radiografias da coluna. Isso, conseqüentemente, resulta em estudantes de medicina utilizando-se de ferramentas manuais para realização dos cálculos referentes aos diagnósticos médicos.

Desta forma, a motivação para a realização deste projeto tem base na concepção de que diagnósticos ortopédicos podem ser facilitados por processos automatizados. O sistema desenvolvido tem a finalidade de contribuir para a ascensão do uso da tecnologia no setor médico nacional, enriquecendo as análises e discussões sobre o tema.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido da seguinte forma: o capítulo 2 aborda a fundamentação teórica utilizada na pesquisa. A metodologia empregada está descrita no capítulo 3, contendo a apresentação do software e o detalhamento da análise dos resultados através do protocolo de validação escolhido. Por fim, no capítulo 4, as conclusões do trabalho são apresentadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo deste capítulo é apresentar os embasamentos teóricos sobre a técnica de processamento de imagens, o ramo da radiologia e o processo de seus diagnósticos, bem como explicitar suas funcionalidades e aplicações neste projeto.

2.1 PRINCÍPIOS DA RADIOLOGIA

A radiologia é o ramo ou especialidade da medicina que compreende os seguintes campos de pesquisa: raios-X, medicina nuclear, ultra-sonografia, radiografia computadorizada, radiações físicas e biológicas, e ressonância magnética. A seguir analisamos fundamentos deste ramo da medicina, assim como detalhes específicos da radiografia da coluna, utilizados nesse projeto.

Segundo MARTINS (1998, p.378), o responsável pela descoberta dos raios-x foi Wilhelm Conrad Röntgen, em 8 de novembro de 1895. Röntgen trabalhava em seu laboratório, pesquisando a utilização de descargas elétricas e tubos contendo gases, quando notou que durante a descarga elétrica na ampola, era produzida uma luminescência sobre uma tela de material fosforescente disponível no laboratório. Notou também que mesmo que fossem colocados obstáculos entre a ampola e a tela fosforescente, a luminescência continuava aparecendo. Röntgen realizou várias vezes o mesmo estudo com o objetivo de entender a natureza da radiação emitida pela ampola, e também para caracterizar seu comportamento e capacidade de penetração em relação a diferentes tipos de obstáculos.

Passados pouco mais de dois anos, o médico brasileiro José Carlos Ferreira Pires já produzia as primeiras radiografias com finalidades diagnósticas da América do Sul, em Formiga, Minas Gerais. Porém, o tempo necessário para produzir a chapa radiográfica era longo, sendo que uma radiografia de tórax levava cerca de 30 minutos e uma de crânio em torno de 45 minutos. O extenso período da exposição

não permitia que o paciente ficasse sem respirar, comprometendo a boa definição da imagem.

Desde então, a Radiologia vem obtendo grandes avanços devido à acentuada informatização dos equipamentos médicos. Conforme SANTOS (2010, p.9), esse avanço é contínuo e constante, não apenas no desenvolvimento dos novos equipamentos e técnicas, mas também no suporte tecnológico que auxilia os serviços.



Figura 1 – Primeira radiografia da história: mão da esposa de Röntgen

2.1.1 Radiografia da Coluna

Uma radiografia é um exame que utiliza a radiação para produzir imagens dos ossos e órgãos do corpo. As radiografias da coluna são utilizadas para encontrar lesões ou doenças que afetam os ossos, discos ou articulações da coluna vertebral, tais como fraturas, infecções, luxações, tumores, esporões ósseos, e doenças de

disco. São também realizados para verificar a curvatura da coluna vertebral (escoliose) ou defeitos na coluna vertebral.

Segundo SAUNDERS (2007), a coluna possui 33 vértebras, vinte e quatro vértebras móveis e nove que são fundidas em conjunto. Entre a maioria dos ossos da coluna vertebral há cartilagem (discos) que amortecem os ossos do choque e articulações que permitem o movimento entre eles. A coluna é dividida em quatro segmentos, de forma que há quatro tipos comuns de radiografias:

- Da coluna cervical: radiografia dos 7 corpos vertebrais da região do pescoço;
- Da coluna torácica: radiografia dos 12 corpos vertebrais do peito;
- Da coluna lombossacral: radiografia dos cinco ossos da parte inferior das costas (vértebras lombares) e dos 5 corpos vertebrais na parte inferior da coluna (sacro);
- Sacro/Cóccix: radiografia dos 5 corpos vertebrais fundidos da parte inferior da coluna da coluna (sacro) e os 4 pequenos corpos vertebrais do cóccix.

Uma das avaliações feitas pelo médico com a radiografia da coluna, e uma das avaliações enfatizadas neste projeto, é o espaçamento entre cada par de vértebras. É neste espaço em que estão os discos da coluna vertebral. Geralmente, uma redução do espaçamento normal indica lesão do disco.

Outra importante avaliação realizada pelo médico durante o diagnóstico é a medição dos deslocamentos das vértebras individuais e/ou regiões da coluna vertebral. Estes valores são medidos em graus para qualquer deslocamento rotacional e em milímetros para deslocamentos laterais. Na Figura 2, segundo CORRECTIVE CHIROPRACTIC (2012), podemos observar um exemplo de um alinhamento anormal do pescoço e um alinhamento anormal da coluna lombar.

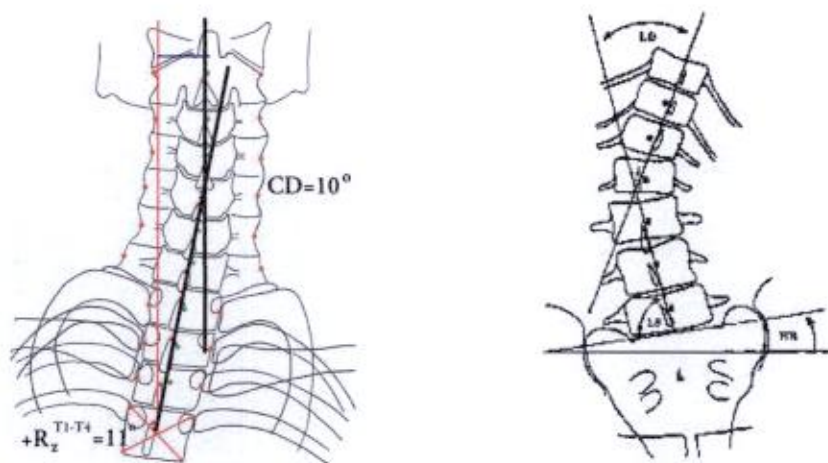


Figura 2 – Demonstração de dois tipos de deslocamento da coluna vertebral

2.1.2 Escoliose

A escoliose é um desvio da coluna vertebral para a esquerda ou direita, resultando em um formato de 'S' ou 'C', segundo o INSTITUO COLUNA (2012), ilustrado na Figura 3. É um desvio da coluna no plano frontal acompanhado de uma rotação e de uma gibosidade, ou seja, uma látero-flexão vertebral. As curvaturas escolióticas podem ser classificadas como: cervicotorácicas, torácicas, toracolombares, lombares e lombossacrais.

Segundo PERDRIOLLE (2006), a gravidade e a maneira como deverá ser tratada a escoliose é determinada através do grau de torção: 0 a 10 graus não necessita de tratamento fisioterápico, de 10 a 20 graus tem necessidade de tratamento fisioterápico, 20 a 30 graus o tratamento fisioterápico acompanha o uso de colete ortopédico, de 30 a 40 graus requer o uso do colete ortopédico, e de 40 a 50 graus somente tratamento cirúrgico. Contudo a base para o tratamento são fatores como a idade, a flexibilidade, a gravidade da curva e na etiologia.

As principais causas da escoliose são idiopáticas, neuromusculares, a poliomielite, origem congênita e pós-traumática. Testes clínicos e radiografias, de maneira precoce, são muito importantes para o diagnóstico da doença.

A escoliose pode causar danos irreparáveis se não tratada corretamente, daí a necessidade de um controle da evolução sistemática da doença.



Figura 3 – Figura esquemática de uma escoliose

Para medir o grau de torção mencionado acima, utiliza-se o chamado ângulo de Cobb, amplamente utilizado para quantificar e monitorar a progressão da escoliose. Segundo E-RADIOGRAPHY (2012), o ângulo de Cobb é medido ao traçar-se duas linhas paralelas às placas terminais dos corpos vertebrais no início e fim da curva. Em seguida, traçam-se mais duas linhas perpendiculares a estas e o ângulo formado pelo cruzamento destas duas linhas é conhecido como ângulo de Cobb, como podemos observar na Figura 4.

Segundo MORRISSY, GOLDSMITH, KEHL, HALL and COWIE (1990), o ângulo de Cobb pode ser calculado da seguinte forma:

- Procura-se a vértebra superior mais inclinada na direção da curva;
- Passa-se uma linha sobre a sua borda superior;
- Procura-se a vértebra inferior e passa-se uma linha sob a borda inferior;
- Traçam-se duas perpendiculares a estas linhas;
- O grau formado entre as perpendiculares é o grau de desvio.

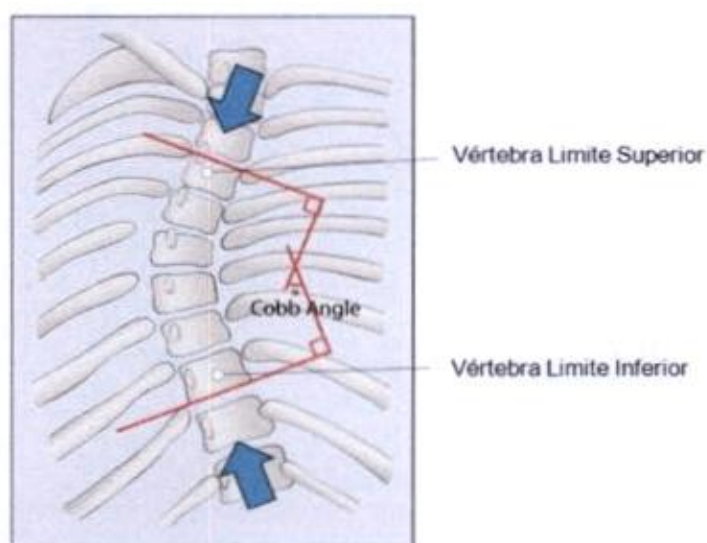


Figura 4 – Exemplificação do cálculo do ângulo de Cobb para escoliose

2.1.3 Lordose Lombar

Segundo CARVALHO (2010), a coluna vertebral possui curvaturas por toda sua extensão, desde a região cervical até a sacrococcígea, como ilustrado na Figura 5 (INFOESCOLA, 2012). Nas regiões cervical e lombar, essa curvatura é chamada de lordose, adquirida à medida que o indivíduo assume a postura ereta.

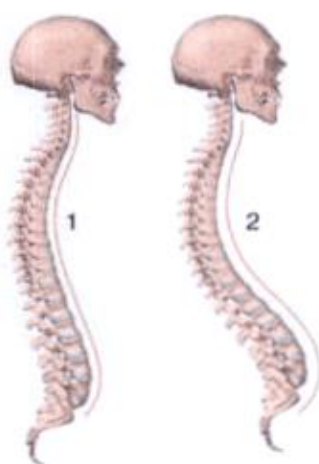


Figura 5 – (1) Posição normal da coluna, (2) Lordose

Vários métodos foram propostos para medir a lordose lombar, empregando radiografia na incidência em perfil. O método de Cobb, inicialmente utilizado para medir a escoliose, foi modificado para também avaliar a lordose lombar. O mesmo é calculado utilizando a interseção das linhas do patamar inferior T12 e do patamar superior S1, como mostra a Figura 6. (MILANI, FILHO e JOÃO, 2008)

Radiologicamente, RICARD (1999) considerou que o ângulo da lordose lombar normal deverá estar compreendido entre 50 e 60°, sendo considerado hiperlordose qualquer valor angular acima de 65°.

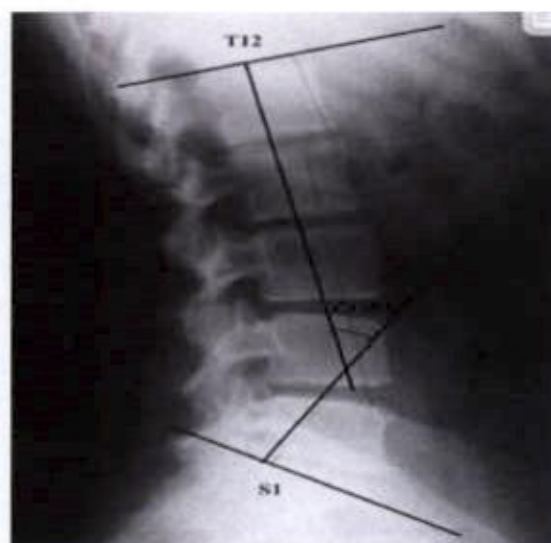


Figura 6 – Exemplificação do cálculo do ângulo de Cobb para lordose

2.2 CAD – COMPUTER-AIDED-DIAGNOSIS

O CAD (*Computer-Aided Design*, traduzido para Desenho Auxiliado por Computador), para as áreas de engenharia, arquitetura e profissionais de design em geral, são técnicas computacionais que facilitam projetos e desenhos técnicos. Porém, neste trabalho, o CAD tem outro significado, como "Diagnósticos Auxiliados pelo Computador" (do inglês, *Computer-aided diagnosis*), podendo ser definido como o diagnóstico feito por um radiologista que utiliza o resultado de análises quantitativas automatizadas de imagens radiográficas como uma 'segunda opinião' para a tomada de decisões diagnósticas. (AZEVEDO-MARQUES, 2001).

Segundo SEIXAS e SAADE (2006), a idéia da utilização de um sistema computacional para auxílio no diagnóstico teve o seu início durante os anos 60, com o objetivo inicial de substituir o radiologista por sistemas computacionais, propondo o conceito de "diagnóstico automatizado". Apesar das tentativas, apenas nos anos 80 se firmou uma linha de pesquisa na área de diagnóstico por computador, com objetivos distintos dos originais. A nova visão seria de o computador ser utilizado apenas como uma ferramenta para aprimorar a acurácia do diagnóstico médico e a consistência da interpretação da imagem radiológica, ficando o diagnóstico final a cargo do radiologista.

Segundo DOI (2005, p.78), entre 1996 e 2001, durante as reuniões da RSNA (Sociedade Radiológica da América do Norte), foram realizados estudos para analisar o desempenho de 16 radiologistas na detecção de lesões em radiografias torácicas, com e sem o auxílio de sistemas computacionais. Foram utilizados 60 radiografias de pulmões saudáveis, e 60 radiografias de pulmões com lesões. Sendo A_z o número de acertos dos participantes – 1.0 equivalendo a 100% - é possível observar na Figura 7 que todos os radiologistas foram capazes de melhorar seu desempenho com o auxílio do computador, com resultados indicando que o valor final de acertos aumentou de 0.894 para 0.940 quando o CAD foi aplicado, confirmando a idéia de que CAD pode ajudar os profissionais da radiologia a aprimorar sua precisão nos diagnósticos.

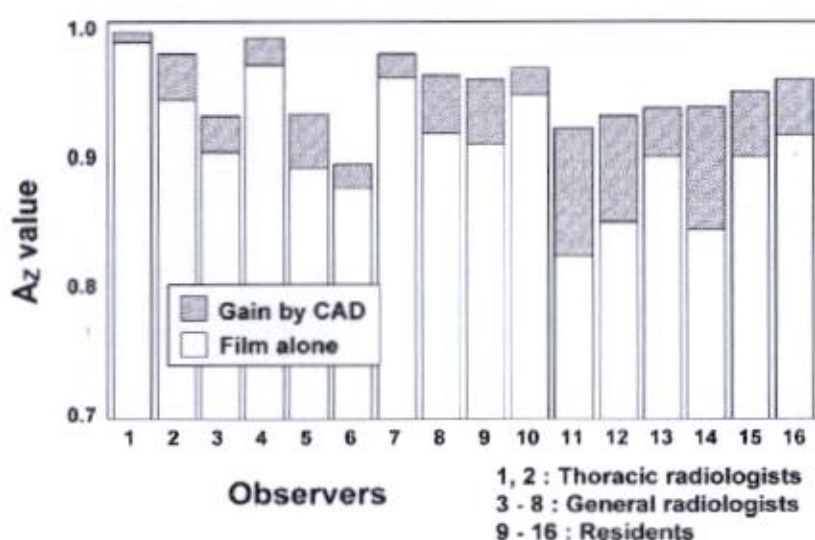


Figura 7 – Resultados do estudo de desempenho de diagnóstico

Embora o estudo descrito acima tenha utilizado radiografias torácicas, o CAD pode ser aplicado em diversas modalidades de obtenção de imagens e exames, incluindo o crânio, abdome, estrutura óssea, sistema vascular e outros. (SEIXAS e SAADE, 2006)

2.3 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Do ponto de vista matemático, uma imagem é considerada uma função bidimensional $f(x,y)$ onde x e y são coordenadas planas, e a amplitude de f em qualquer par de coordenadas (x,y) é chamada de intensidade ou nível de cinza da imagem no referido ponto. Quando (x,y) e a amplitude de f fazem parte de um conjunto de valores finitos, ou discretos, a imagem é chamada de imagem digital (GONZALES e WOODS, 2002).

Em outras palavras, imagens digitais são representações de imagens bidimensionais com um conjunto finito de valores digitais, chamados de elementos da imagem ou *pixels*. Para cada *pixel* da imagem é dado um valor para determinar a sua tonalidade ou cor, os *bits*, os quais são lidos pelo computador para determinar o mostrador analógico da imagem.

A área de processamento de imagens concentra-se em duas grandes tarefas distintas: aprimoramento das informações pictóricas da imagem digital para interpretação humana e processamento de dados da imagem para transmissão, armazenamento e representação computacional automática.

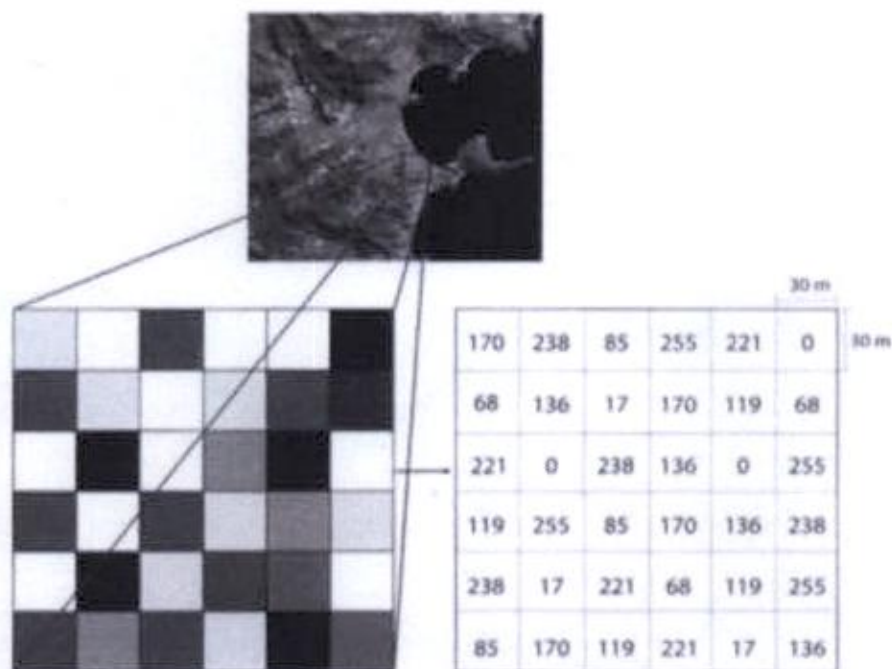


Figura 8 – Demonstração dos valores de pixels de uma imagem digital

Segundo GONZALES e WOODS (2002), uma das primeiras aplicações de imagens digitais foi na indústria de jornal, quando se buscava formas de aprimorar as imagens enviadas por cabo submarino entre Londres e New York. A introdução do sistema de transmissão de imagens a cabo *Bartlane* no início de 1920 reduziu o tempo necessário para transportar uma imagem através do Atlântico de mais de uma semana para menos de três horas. Porém, o grande impulso para a área de processamento de imagens viria com os primeiros computadores digitais de grande porte e o início do programa espacial norte-americano. O uso de técnicas computacionais de aprimoramento de imagens teve início em 1964, quando imagens da lua transmitidas por uma sonda *Ranger2* eram processadas para corrigir vários tipos de distorção inerentes à câmera de TV acoplada à sonda. Estas técnicas serviram de base para métodos aprimorados de realce e restauração de imagens de outros programas espaciais posteriores.

De 1964 aos dias atuais, a área de processamento de imagens vem apresentando um crescimento expressivo e quase não há áreas de atuação técnica que não sejam afetadas de alguma maneira pelo processamento de imagens digitais. Em Medicina, área de interesse deste trabalho, o uso de imagens no diagnóstico

médico tornou-se rotineiro e os avanços em processamento de imagens vêm permitindo tanto o desenvolvimento de novos equipamentos quanto a maior facilidade de interpretação de imagens produzidas por equipamentos mais antigos, como por exemplo o de raios-X.

Os filtros e técnicas da área de processamento de imagens implementados neste trabalho serão detalhados nas subseções a seguir.

2.3.1 OpenCV

OpenCV (do inglês, *Open Source Computer Vision Library*, traduzido como Biblioteca de Visão Computacional de Código Aberto), foi desenvolvida pela Intel no ano 2000, utilizando-se a linguagem C/C++. Possui módulos de Processamento de Imagens e Vídeo, Álgebra Linear, além de 350 algoritmos de visão computacional como filtros de imagem, reconhecimento de objetos, entre outros. Sua versão 1.0 foi lançada em 2006, e em 2009 foi lançada a versão 2.0. A biblioteca é totalmente livre para o uso comercial e acadêmico, desde que seja seguida a licença da BSD Intel. Essa licença diz que os créditos dos autores originais do código-fonte devem ser mantidos, mas não oferece qualquer outra restrição. Ou seja, é permitido modificar a biblioteca, vender softwares que utilizam a biblioteca, ou criar outra biblioteca com base nela e vender, desde que se mantenham os créditos originais dos autores.

A plataforma Java possui a biblioteca de processamento de imagens chamada de Java 2D, que possui as mesmas operações básicas que o OpenCV. Porém, o OpenCV possui a técnica SVM (do inglês, *Support Vector Machine*, traduzido como Máquina de vetores de suporte), que é um conjunto de métodos de aprendizado supervisionado que analisam os dados e reconhecem padrões. Esta técnica dá a possibilidade de reconhecimento de padrões nas radiografias digitalizadas, o que poderá ser utilizado em trabalhos futuros.

A tabela 1 exemplifica as principais funcionalidades da biblioteca OpenCV, segundo LIMA (2010):

Tabela 1 – Funcionalidades do OpenCV

FUNÇÃO	DESCRIÇÃO
Manipulação de imagens	Alocação, desalocação, cópia, modificação, conversão
IO de vídeo e imagem	Input e output baseado em arquivo e câmera
Manipulação de matrizes e vetores e retinas de álgebra linear	Produto, solução, single value decomposition (SVD)
Diversas estruturas de dados dinâmicas	Listas, filas, pilhas, árvores, grafos
Processamento de imagens básico	Filtragem, detecção de bordas, detecção de cantos, interpolação e amostragem, conversão de cor, operações morfológicas, histogramas, pirâmides de imagens.
Análise estrutural	Componentes conexos, processamento de contornos, transformação de distância, momento diverso, casamento de templates, aproximação poligonal, montagem de linha, montagem de elipse, triangularização de Delaunay
Calibração de câmera	Busca, rastreamento e calibração de padrões, calibração, estimação de matrizes fundamentais, estimação homográfica, correspondência estéreo.
Análise de movimentos	Fluxo óptico, segmentação de movimentos, rastreamento
Reconhecimento de objetos	Métodos-eigen, <i>Hidden Markov Models</i> (HMM)
GUI básica	Exibição de vídeo e imagens, tratamento de entrada do teclado e do mouse, barras de rolagens
Rotulamento de imagens	Linha, cônica, polígono, texto, desenho de texto

2.3.2 Brilho e Contraste

O brilho e o contraste são características da imagem que podem ser intuitivamente percebidas. Uma imagem formada predominantemente por pixels com tons de cinza baixos, próximos a 0 (preto), é percebida como uma imagem escura, ou seja, com baixo brilho. Já uma imagem que contém predominantemente pixels com tons de cinza próximos a 255 (branco) é considerada uma imagem clara, com alto brilho. Da mesma forma, uma imagem que apresenta pixels com uma pequena variação de tons de cinza é percebida como uma imagem com baixo contraste e vice-versa.

O brilho de uma imagem digital pode ser definido como a média dos tons de cinza de todos os pixels da imagem. Dada uma imagem $f(x, y)$ de dimensão X vezes Y , seu brilho é definido como mostra a equação (1).

$$B = \frac{1}{n} \sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} f(x, y). \quad (1)$$

onde n é o número total de pixels da imagem $f(x, y)$, calculando como $n = X$ vezes Y , a partir de suas dimensões X e Y .

O contraste de uma imagem digital pode ser definido como o desvio padrão dos tons de cinza de todos os pixels da imagem. Dada a mesma imagem $f(x, y)$, seu contraste é definido como exemplificado na equação (2).

$$C = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{y=0}^{Y-1} \sum_{x=0}^{X-1} [f(x, y) - B]^2} \quad (2)$$

onde B é o brilho da imagem $f(x, y)$, calculado de acordo com a equação descrita anteriormente; e n é o número total de pixels ($n = X$ vezes Y).

2.3.3 Escala de Cinza

Uma imagem digital em nível ou escala de cinza é uma imagem na qual o valor de cada pixel é uma única amostra de um espaço de cores, variando entre o preto como a menor intensidade e o branco como maior intensidade. Imagens em nível de cinza são diferentes de imagens binárias em preto e branco, que contém apenas duas cores; imagens em nível de cinza podem contar com diversos tons de cinza em sua composição.

2.3.4 Inversão

Em processamento de imagens, inversão é o processo que inverte todas as cores de pixel e valores de brilho na camada atual, como se a imagem fosse convertida em um negativo, transformando as áreas escuras em áreas brilhantes e vice-versa.

Subtraindo-se cada um dos componentes de vermelho (RED), verde (GREEN) e azul (BLUE) de uma imagem digital pelo seu valor máximo, ou seja, 255, o resultado de cada um de seus componentes (R' , B' e G') resulta em sua cor exatamente inversa. Esse cálculo pode ser demonstrado conforme a equação (4).

$$\begin{aligned}R' &= 255 - \text{RED}; & (4) \\B' &= 255 - \text{BLUE}; \\G' &= 255 - \text{GREEN};\end{aligned}$$

2.3.5 Mediana

Em processamento de imagens, muitas vezes é desejável executar algum tipo de redução de ruídos na imagem, processamento típico para aprimorar os

resultados de outra técnica posterior (por exemplo, detecção de borda). Mediana é uma técnica de filtração digital não linear, muito utilizado em processamento de imagens digitais, pois sob determinadas condições, preserva as bordas da imagem enquanto remove ruídos.

O filtro analisa cada pixel da imagem por vez, e observa seus vizinhos para decidir se estes são ou não representantes de seu entorno. Em vez de simplesmente substituir o valor do pixel com a média dos valores dos pixels vizinhos, o filtro Mediana o substitui com a mediana dos referidos valores. A mediana é calculada primeiramente ordenando todos os valores dos pixels vizinhos em ordem numérica e, em seguida, substituindo o pixel sendo analisado com o valor do pixel médio ou central.

123	125	126	130	140
122	124	126	127	135
118	120	150	125	134
119	115	119	123	123
111	116	110	120	130

Figura 9 – Calculando o valor da mediana de pixels vizinhos

Utilizando a Figura 9 acima como exemplificação, o pixel de valor 150 está sendo analisado. Para calcular sua mediana, seus vizinhos, e o próprio pixel em questão, são primeiramente colocados em ordem numérica:

115, 119, 120, 123, 124, 125, 126, 126, 150

Como a zona analisada possui um número ímpar de pixels, o valor da mediana é o valor do pixel médio. Neste caso, 124.

Como o filtro Mediana muito provavelmente resultará num valor igual a um de seus pixels vizinhos, ele não cria novos valores de pixels irrealistas, o que facilita a preservação de bordas.

2.3.6 Convolução

O filtro Convolve, ou Convolução, fornece uma maneira de multiplicar juntamente duas matrizes de números, geralmente de tamanhos diferentes, para produzir uma terceira matriz de números de mesma dimensionalidade. A primeira matriz de entrada é, normalmente, uma imagem apenas em tons de cinza, e a segunda matriz, muito menor, é conhecida como Kernel.

O filtro estuda sucessivamente cada pixel da imagem. Para cada um deles, que chamaremos de 'pixel inicial', ele multiplica o valor deste pixel e os valores dos oito pixels adjacentes pelo valor do Kernel correspondente. Em seguida, ele adiciona os resultados, e o pixel inicial é modificado para este resultado final, como mostra a Figura 10.

35	40	41	45	50
40	40	42	46	52
42	46	50	55	55
48	52	56	58	60
56	60	65	70	75

 \times

	0	1	0	
	0	0	0	
	0	0	0	

 $=$

		42		

Figura 10 – Exemplo de imagem (esquerda) e do Kernel (direita)

Na esquerda está a matriz da imagem, onde cada pixel é marcado com o seu valor. O pixel inicial tem borda vermelha e a área de ação do Kernel tem borda verde. No meio encontra-se o Kernel e, à direita o resultado da convolução.

Como mencionado anteriormente, na Figura 10, o filtro leu sucessivamente, da esquerda para a direita e de cima para baixo, todos os pixels da área de ação do Kernel. Então, multiplicou o valor de cada um deles pelo valor correspondente Kernel e somou os resultados. O pixel inicial tornou-se 42: $(40 * 0) + (42 * 1) + (46 * 0) + (46 * 0) + (50 * 0) + (55 * 0) + (52 * 0) + (56 * 0) + (58 * 0) = 42$.

Desta forma, o filtro Convolve é um importante filtro que pode ser utilizado para vários efeitos diferentes, como borrar a detecção de bordas, nitidez e relevo.

2.3.7 Detecção de bordas

A detecção de bordas é umas das técnicas básicas utilizadas pela visão humana no reconhecimento de objetos. As tentativas de implementação de sistemas de visão robótica sempre tentam analisar a imagem para extrair esta primitiva.

As bordas são regiões da imagem onde ocorre uma significativa mudança de intensidade, ocorrendo tipicamente na fronteira entre duas regiões diferentes de uma imagem. Desta forma, os quatro passos básicos para detecção de bordas são:

1. Suavização: Suprime os ruídos sem destruir as bordas verdadeiras;
2. Aprimoramento: Aplica um filtro para melhorar a qualidade das margens da imagem (nitidez)
3. Detecção: Determina quais pixels de borda devem ser descartados como ruído e quais devem ser mantidos.
4. Localização: Determina a localização exata de uma borda.

2.3.8 Sobel

O operador Sobel é um operador clássico de detecção de borda, e calcula diferenças finitas, dando uma aproximação do gradiente da intensidade dos pixels da imagem. Em cada ponto da imagem, o resultado da aplicação do filtro Sobel devolve o gradiente ou a norma deste vetor.

Matematicamente o operador Sobel utiliza duas matrizes 3x3 (Kernels) que são convoluídas com a imagem original para calcular as aproximações das derivadas – uma para as variações horizontais (h_x) e uma para as verticais (h_y), como mostrado em (5).

$$h_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad h_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

As matrizes Kernel podem ser aplicadas separadamente à imagem de entrada para produzir medições separadas do componente de gradiente em cada direção. Estes podem então ser combinados para encontrar a magnitude absoluta do gradiente em cada ponto e a orientação do gradiente.

O resultado do operador Sobel é uma imagem 2D do gradiente em cada ponto. Ele pode ser processado e visto como a própria imagem, com áreas de elevado gradiente (bordas prováveis) visíveis como linhas brancas, como ilustrado na Figura 11 (OPENCV, 20120).



Figura 11 – Exemplo do filtro Sobel

2.3.9 Threshold

O filtro Threshold converte imagens em tons de cinza ou coloridas para imagens binárias, ou seja, em imagens preto e branco de alto contraste, como ilustrado na Figura 12. Usando os parâmetros de entrada, é possível modificar a imagem e convertê-la para um nível específico de threshold, onde todos os pixels mais claros que o dado valor transformam-se em branco, enquanto os pixels mais escuros são transformados em preto.

Embora existam diversos métodos de binarização de imagens digitais, o filtro Threshold é o mais simples e talvez o mais utilizado em aplicações de visão computacional.



Figura 12 – Imagem original e imagem binária

2.3.10 Morfologia Matemática

Morfologia matemática é uma área do processamento de imagens que tem como linguagem a Teoria dos Conjuntos, em que cada conjunto de uma morfologia representa objetos em uma imagem. É uma técnica de análise e processamento de estruturas geométricas, baseada na teoria de conjuntos. A ideia de morfologia digital é que uma imagem consiste de um conjunto de pixels que são reunidos em grupos, tendo uma estrutura bidimensional.

As operações básicas da morfologia digital são a erosão, dilatação, abertura e fechamento, detalhados a seguir.

2.3.10.1 Erosão e Dilatação

Uma das operações elementares da morfologia matemática, o processo de dilatação consiste na modificação de uma imagem inicial a partir de uma análise com elementos estruturantes de diferentes formatos e tamanhos. A imagem sendo

processada é denominada de imagem ativa, e a outra imagem, auxiliar ao processo, denominada como elemento estruturante.

Em termos mais técnicos, a dilatação de **A** por **B** é igual à intersecção da reflexão do conjunto **B** em torno de sua origem, transladado em **X** com o conjunto **A**, como demonstrado matematicamente pela equação (6).

$$A \oplus B = \{x \mid [(B)_{\hat{x}}] \cap A \neq \emptyset\} \quad (6)$$

Resumindo, pode-se definir o processo de dilatação como a expansão dos limites de fronteira de **A**. Como exemplo de aplicação, podemos identificar o preenchimento de espaços (*gap filling*) em que textos com uma pobre resolução com caracteres quebrados podem ser melhorados através de tal processo que junta tais segmentos.

Considerado o complemento morfológico da dilatação, o processo de erosão tem como característica a combinação de dois conjuntos usando vetores para subtrair um conjunto de elementos da imagem. Em termos técnicos, a erosão de **A** por **B** é o conjunto de todos os pontos **X** tais que **B**, quando translado por **X**, fique contido em **A**, como demonstrado na equação (7).

$$A \ominus B = \{x \mid (B)_{\hat{x}} \subseteq A\} \quad (7)$$

Em resumo, pode-se definir o processo de erosão como a contração dos limites da fronteira de **A**. Como exemplo de aplicação, podemos identificar remoção de componentes, em que de acordo com a estrutura do elemento estruturante auxiliar, determinados componentes podem ser retirados de uma imagem.

2.3.10.2 Abertura e Fechamento

A aplicação de uma erosão imediatamente seguida de uma dilatação usando o mesmo elemento estrutural é uma operação de abertura, ela tende a abrir pequenos vazios ou espaços próximos numa imagem. A abertura em geral suaviza o contorno de uma imagem, quebra estreitos e elimina proeminências delgadas, a operação de abertura é usada também para remover ruídos da imagem.

Se uma abertura cria pequenos vazios na imagem, um fechamento irá preencher ou fechar vazios, ou seja, a operação de fechamento pode remover muitos dos pixels brancos com ruídos.

2.3.11 Operadores Aritméticos

Os operadores aritméticos utilizam notações comumente utilizadas em sistemas de cálculos para o processamento de imagens, especialmente para eliminar ruídos sistemáticos da imagem. Consistem em quatro principais filtros: Adição, Subtração, Divisão e Multiplicação.

2.3.11.1 Adição

Na sua aplicação mais simples, a adição toma como entrada duas imagens de tamanho idêntico e produz como saída uma terceira imagem do mesmo tamanho que as duas primeiras, sendo que cada pixel da imagem resultante é a soma dos valores dos pixels correspondentes de cada uma das imagens de entrada.

A adição de duas imagens é realizada diretamente numa única passagem, sendo que os valores dos pixels de saída é dado pela equação matemática (8).

$$Q(i,j) = P_1(i,j) + P_2(i,j) \quad (8)$$

Um dos principais objetivos da operação de adição de imagens é o fato que esta ameniza a relação sinal-ruído na imagem resultante. Outro exemplo da aplicação dessa operação é a adição de uma imagem original à sua versão submetida a um filtro de convolução para realce de bordas, o que permite combinar a informação tonal da imagem original com a informação textural da imagem filtrada, obtendo-se um resultado de melhor qualidade visual.

2.3.11.2 Subtração

A operação de subtração utiliza duas imagens como entrada e produz como saída uma terceira imagem cujos pixels são os valores da primeira imagem menos os valores dos pixels correspondentes da segunda imagem.

A subtração de duas imagens é realizada diretamente numa única passagem, sendo que os valores dos pixels de saída é dado pela equação matemática (9).

$$Q(i,j) = P_1(i,j) - P_2(i,j) \quad (9)$$

A subtração de imagens é utilizada por dois principais motivos, sendo eles identificar diferenças entre duas imagens e controle de qualidade. Por exemplo, se uma imagem de um circuito é subtraída de uma série de imagens adquiridas de um objeto subsequente, as diferenças serão fortemente destacadas, podendo detectar-se erros na produção das placas.

2.3.11.3 Divisão e Multiplicação

Como os outros operadores aritméticos para processamento de imagens, a multiplicação é utilizada principalmente de duas maneiras. A primeira utiliza duas imagens de entrada e produz uma imagem de saída em que os valores de pixels são os da primeira imagem multiplicados pelos valores de pixels correspondentes da segunda imagem. A segunda forma tem uma imagem de entrada simples e produz uma saída, em que cada valor de pixel é multiplicado por uma constante especificada. A primeira foi a técnica escolhida para ser desenvolvida por este trabalho, podendo ser observada através da fórmula matemática (10).

$$Q(i,j) = P_1(i,j) \times P_2(i,j) \quad (10)$$

Pode-se utilizar a multiplicação de imagens, por exemplo, para sobrepor uma imagem em outra, podendo assim adicionar fluorescência ou outras emissões em uma imagem. Normalmente, é utilizada para calibração de brilho, como por exemplo, adequação a diferentes valores de iluminância sobre uma mesma cena.

O operador de divisão normalmente leva duas imagens como entrada e produz uma terceira cujos valores de pixels são os da primeira imagem divididos pelos valores dos pixels correspondentes da segunda imagem. A divisão pode ser representada pela seguinte equação matemática (11).

$$Q(i,j) = P_1(i,j) \div P_2(i,j) \quad (11)$$

A divisão é muito utilizada pois aumenta o contraste entre objetos de uma cena quando estes objetos apresentam respostas espectrais muito diferentes nas duas imagens de entrada.

2.3.12 Operadores Lógicos

As operações lógicas são operações pontuais entre imagens binárias, realizadas por operadores lógicos que varrem as imagens de entrada, operando pixel a pixel, gerando uma imagem de saída onde cada pixel é preservado ou invertido. As três operações principais implementadas neste trabalho são: AND, OR, XOR.

No contexto de processamento de imagens, é possível realizar operações lógicas sobre imagens ao aplicar as regras da tabela lógica acima para os valores de pixel de duas imagens de entrada. Normalmente, os pixels correspondentes de cada uma das duas imagens de entrada são comparados para produzir a imagem de saída, que é outra imagem binária do mesmo tamanho. Essa técnica pode ser observada na Figura 13 abaixo, que apropria-se de imagens preto e branco para demonstrar a imagem de saída da operação lógica (GONZALES e WOODS, 2002).

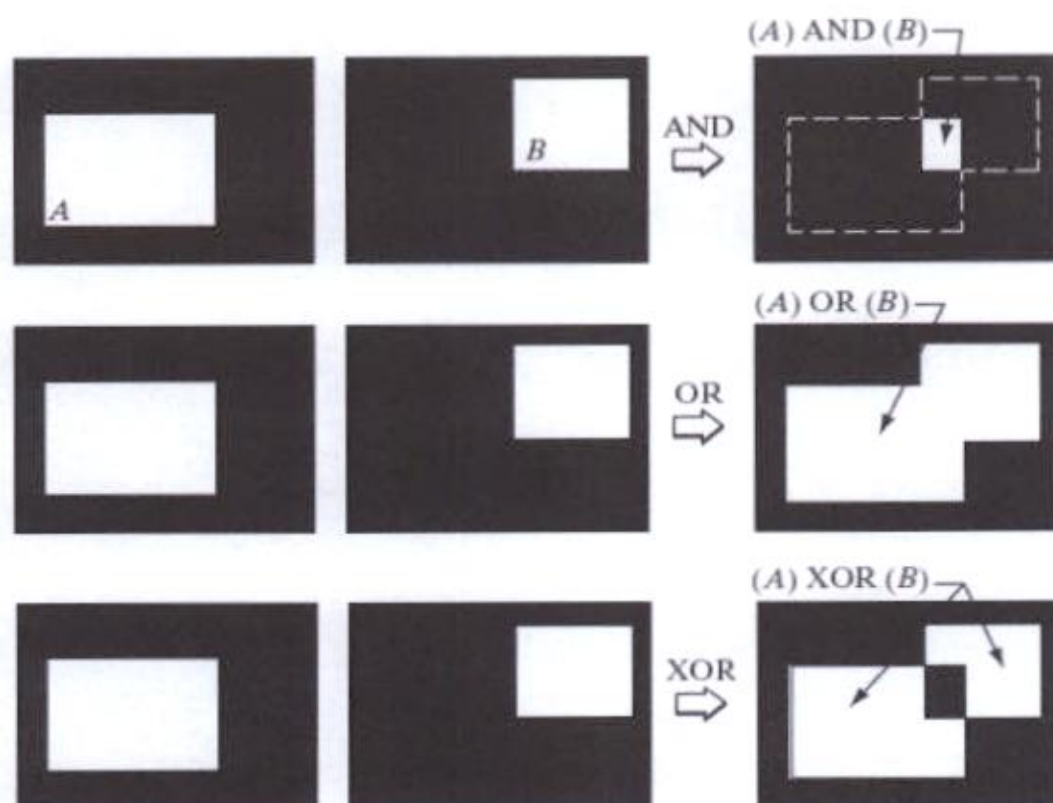


Figura 13 – Ilustração dos operadores lógicos em imagens preto e branco.

2.3.12.1 AND – Intersecção

O operador AND, ou intersecção de imagens, executa uma conjunção lógica em duas expressões booleanas. Isto é, se ambas as expressões forem avaliadas como verdadeiras, o operador retornará verdade. Se uma das expressões ou ambas forem falsas, o operador retornará falso. Essa análise é representada pela tabela 2 do operador AND, sendo A e B as expressões booleanas e Q o resultado do operador.

Tabela 2 – Tabela lógica do operador AND

Operador AND		
A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

No contexto de processamento de imagens, o operador AND utiliza duas imagens como entrada e produz uma terceira cujos pixels são iguais ao da primeira imagem com adição dos pixels correspondentes da segunda imagem.

A operação é realizada diretamente numa única passagem. É importante que o valor de pixels de entrada seja o mesmo para ambas as imagens, pois a operação é realizada bit a bit. Em geral, o operador AND é utilizado para detectar diferenças ou similaridades entre duas imagens.

2.3.12.2 OR – União

O operador OR, ou união de imagens, executa uma disjunção lógica em duas expressões booleanas. Isto é, se qualquer expressão avaliada for verdade, o resultado do operador será verdade. Se nenhuma das expressões avaliadas for verdade, o operador retornará falso. Essa análise é representada pela tabela 3 do operador OR, sendo A e B as expressões booleanas e Q o resultado do operador.

Tabela 3 – Tabela lógica do operador OR

Operador OR		
A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

No contexto de processamento de imagens, o operador OR assim como o operador AND exige a entrada de duas imagens para geração de uma terceira em que os pixels são o resultado da primeira imagem aplicado a operação lógica OR com os pixels correspondentes da segunda imagem.

2.3.12.3 XOR - Disjunção Exclusiva

O operador XOR, ou disjunção exclusiva, executa uma exclusão lógica em duas expressões booleanas. Isto é, se qualquer expressão avaliada for verdade, mas não ambos, o operador retornará verdade. Se ambas as expressões forem verdade ou ambas as expressões forem falsas, o operador retornará falso. Essa análise é representada pela tabela 4 do operador XOR ou Disjunção Exclusiva, sendo A e B as expressões booleanas e Q o resultado do operador.

Tabela 4 – Tabela lógica do operador OR

Operador XORs		
A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

No contexto de processamento de imagens, o operador XOR gera uma imagem de saída onde é aplicada a operação lógica XOR nos pixels da primeira imagem com os respectivos pixels da segunda imagem. De acordo com a notação estabelecida, pode-se definir o operador XO com a equação (12).

$$\{A \text{ XOR } B\} = \{[A \text{ OR } B] \text{ AND } [\text{NOT } (A \text{ AND } B)]\} \quad (12)$$

Segundo nossos estudos, os filtros e técnicas citados acima contemplam as necessidades dos médicos e estudantes de radiologia para o tratamento das imagens radiográficas, de modo a aprimorar a qualidade das imagens e facilitar a execução dos cálculos futuros. Além disso, a identificação do processo dos diagnósticos das imagens de raio-x da coluna foi de extrema importância para o desenvolvimento do protocolo de validação deste projeto, descrito no capítulo a seguir.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia do trabalho que foi concebida em 4 etapas: estudo de processamento de imagens e das tecnologias existentes para auxílio médico, concepção do projeto, implementação do projeto e protocolo de validação, como mostra a Figura 14.

A primeira etapa do projeto consiste na pesquisa de artigos relacionados ao processamento de imagens e do detalhamento do diagnóstico de problemas na coluna vertebral. Além disso, analisamos softwares já existentes no mercado que possuem as mesmas funcionalidades para então avaliar o possível diferencial deste trabalho. A partir destes resultados, na segunda etapa foi criada a ideia da concepção do projeto. A terceira etapa consiste no desenvolvimento do software propriamente dito, apropriando-se da linguagem de programação Java e com o auxílio da biblioteca OpenCV. Por fim, a quarta etapa consiste em validar o método proposto, através de análise de resultados.

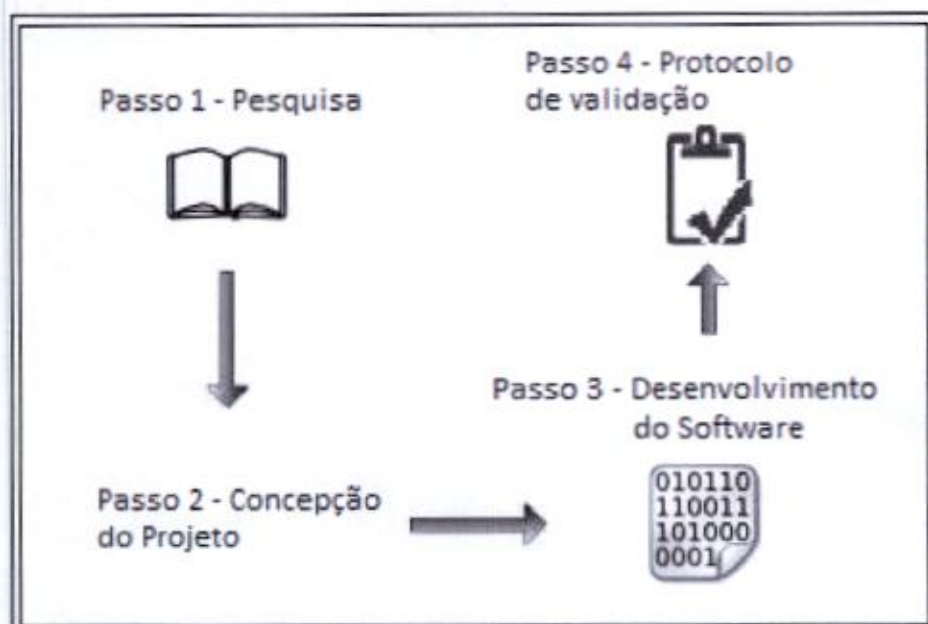


Figura 14 – Metodologia usada

3.1 PASSO 1 - PESQUISA

A linha de pesquisa foi de acordo com a idéia inicial de criar um software de classificação automática de patologias, portanto foi focada em artigos relacionados a processamento de imagens e algoritmos de análise de dados e reconhecimento de padrões (suport vector machine). No segundo momento de pesquisa, foram analisados artigos focados para área ortopédica e os softwares existentes nessa área a nível nacional e internacional. Durante essa pesquisa houve a oportunidade de observar o funcionamento de duas ferramentas uma no hospital Pequeno Príncipe e outra no DAPI (Laboratório Diagnóstico Avançado por Imagem), que forneceu uma grande base de como desenvolver o nosso projeto.

3.1.1 Artigos

Nas pesquisas atuais, há estudos interessantes relacionados ao processamento de imagens e o uso da tecnologia para auxílio médico. Conforme a Figura 15 é possível verificar o avanço do estudo nesta área a partir dos trabalhos utilizados nesta seção que estão descritos a seguir.

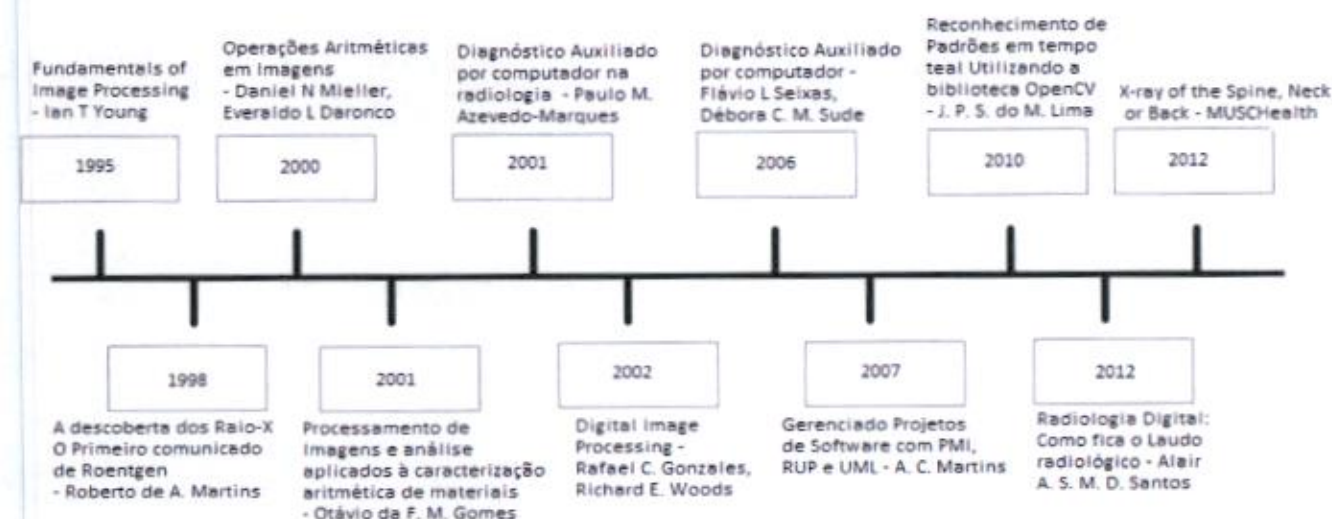


Figura 15 – Artigos lidos para a pesquisa deste trabalho e seus respectivos anos de publicação

Dos artigos lidos, um de grande importância para nossa pesquisa foi o de Flávio L. Seixas e Débora C. M. Sude, intitulado "Diagnóstico Auxiliado por computador". O artigo apresenta algumas técnicas para processamento digital que tem como objetivo fornecer um diagnóstico auxiliado por computador, definindo a velocidade de resposta e a precisão como fatores que determinam o sucesso de um software deste tipo. Além disso, exemplifica que para obter-se um bom resultado é necessário um ótimo tratamento de remoção de ruídos na imagem. De forma complementar, o artigo "Diagnóstico auxiliado por computador na radiologia", de Paulo M. Azevedo-Marques, esclarece que a palavra final deve pertencer sempre ao profissional da área, aonde o software age apenas como auxiliador no diagnóstico.

Em seguida, um artigo de grande contribuição para este trabalho foi o publicado pela Universidade de Medicina da Carolina do Sul, "*X-ray of the Spine, Neck or Back*". Com este artigo obtivemos o conhecimento de como funciona o Raio-X da coluna vertebral, assim como a composição da coluna e os tipos de Raio-X do mesmo.

3.1.2 Trabalhos Relacionados

Como mencionado anteriormente, para o desenvolvimento deste trabalho foi pesquisado e analisado os atuais softwares para auxílio médico presentes no mercado. Exemplificamos a seguir as características de 3 (três) destes sistemas que possuem funcionalidades e técnicas similares ao SAO.

3.1.3 Surgimap Spine

O Surgimap Spine, da empresa Nemaris Inc., foi desenvolvido em conjunto por um grupo de cirurgiões, engenheiros, líderes empresariais, especialistas em softwares e programadores. (SURGIMAP, 2012) O software conta com as seguintes funcionalidades:

- Visualizador de imagens que suporta os mais comuns formatos de imagem (ex. DICOM, JPEG) e modalidades (ex. MRI, Raio-X);
- Interface interativa de análises e medições;
- Possibilidade de salvar imagens em um banco de dados protegido por senha;
- Adição de informações clínicas no banco de dados pessoal;
- Simulação de procedimentos;



Figura 16 – Surgimap Spine – Tela de medição

O Surgimap Spine, porém, não está disponível para o público em geral e sim apenas para membros SRS (do inglês "*Scoliosis Research Society*").

3.1.4 Spine Analyzer

Segundo OPTASIA MEDICAL (2012), o Spine Analyzer é um software com uma técnica avançada de capturar o formato e geometria da coluna vertebral, auxiliando o usuário a identificar deformidades vertebrais. Suas funcionalidades são:

- Anotação automática das margens da coluna vertebral, permitindo ao usuário avaliar a validade das anotações e fazer as correções necessárias;
- Classificação da gravidade da deformidade;
- Reprodução de relatórios e exportação opcional de dados de análise;



Figura 17 – Spine Analyzer – Anotação automática das margens da coluna vertebral

O Spine Analyzer possui um período de avaliação de graça durante 30 dias, porém após o término deste período passa a ser licenciado anualmente.

3.1.5 DXAnalyzer

O DXAnalyzer, da empresa International Diagnostic Technologies (IDT), é especializado no fornecimento de análise de linhas para identificar lesões na coluna vertebral. (DXANALYZER, 2012). Possui as seguintes funcionalidades:

- Identifica alterações da coluna vertebral;

- Filtros para redução de ruídos da radiografia;
- Relatórios com os resultados apresentados;



Figura 18 – DX Analyzer – Tela de seleção de vértebras

Todos os sistemas descritos acima têm por objetivo auxiliar o médico a identificar lesões na coluna vertebral, com o auxílio de linhas e cálculos interativos. Porém, por suas complexas funcionalidades acabam tornam-se muito caros e, conseqüentemente, de difícil acesso aos médicos brasileiros e estudantes de medicina.

Por este motivo, a avaliação destes e outros sistemas ajudaram na definição das características deste projeto, e foram também um ponto de partida e uma motivação para oferecer um software de auxílio ao diagnóstico médico mais acessível em âmbito nacional.

3.2 PASSO 2 - CONCEPÇÃO DO PROJETO

Para concepção do Projeto recursos de ambiente de *hardware* e *software* foram utilizados, além disso, o Plano Geral do Projeto e diagramas de Análise da UML foram elaborados.

3.2.1 Ambiente de Hardware

Para que o projeto fosse elaborado 3 computadores foram utilizados, sendo:

- Notebook Sony Vaio, processador Intel i5; memória RAM de 4 GB; disco rígido de 500 GB;
- Notebook Acer, processador Pentium - Dual Core 2.10 GHz, memória RAM de 3GB, disco rígido de 160GB
- Notebook HP, processador Intel core 2 duo; memória RAM de 4 GB; disco rígido de 500 GB;

3.2.2 Ambiente de Software

O sistema gerado nesse projeto utilizou programas e linguagens já existentes que aprimoraram o processo. Neste item serão abordadas as ferramentas e linguagens utilizadas na produção do sistema.

3.2.2.1 Astah

Como ferramenta para modelagem de UML foi escolhido o software AstahCommunity. O AstahCommunity é parte integrante da companhia Astah, que

fornece uma série de soluções para atender a demanda de confecção de diagramas UML. (ASTAH, 2012)

Esta versão lançada para a comunidade possui licença gratuita, possuindo mais limitações de recursos que os softwares equivalentes com licença paga, porém, para aplicação no projeto mostrou-se eficiente pela facilidade de uso e pelo suporte a UML 2.0.

3.2.2.2 Pacote Microsoft Office

O pacote Office é um conjunto de softwares pagos, que possui versão gratuita para testes, desenvolvido pela Microsoft, em nosso projeto foram utilizados os softwares Word, Excel e Power Point presentes nesse pacote nas versões de 2012 e 2013. Esses softwares fornecem apoio a toda a parte de criação de apresentações, criação e edição de texto e planilhas. (MICROSOFT OFFICE, 2012)

Nesse pacote também possui um software de gerenciamento de projetos o Project mas optamos por não utilizar por estarmos mais familiarizados com outra ferramenta.

3.2.2.3 Java

A linguagem de programação adotada para este trabalho foi o Java. Orientada a objetos, é uma linguagem de programação e uma plataforma de computação lançada pela primeira vez pela Sun Microsystems em 1995. Uma de suas grandes vantagens é de a tecnologia ser gratuita, assim como a maioria de seus editores e ambientes de produção – por exemplo NetBeans, Eclipse, Jcreator, entre outros. Além disso, possui portabilidade - uma vez que o mesmo código Java roda em diversas plataformas sem a necessidade de alterações de código; e seu suporte, apesar de ser uma tecnologia gratuita, é muito satisfatório, por existirem inúmeros

JUGs (*Java User Groups*) que promovem eventos, disponibilizando materiais, artigos, e discussões (JAVA, 2012).

Esta linguagem de programação encaixa-se perfeitamente no projeto, não apenas pelas vantagens descritas acima, mas também pelo suporte à biblioteca OpenCV, utilizada para o processamento de imagens do projeto, e descrita detalhadamente em seguida.

3.2.2.4 NetBeans

Como ambiente de desenvolvimento foi escolhida a IDE NetBeans, desenvolvido pela Sun Microsystems e de código aberto desde Junho de 2000, quando a Sun Microsystems se tornou subsidiária da Oracle. (Netbeans, 2012).

Com mais de 18 milhões de downloads e 800 mil desenvolvedores participantes do projeto, o NetBeans é uma das maiores IDEs que existem no mercado hoje em dia, foi escolhida por ter ser bem conhecida pela equipe do TCC.

3.2.3 Plano Geral de Projeto

A metodologia elegida para realizar o desenvolvimento do projeto foi o modelo RUP, ou *Rational Unified Process*, modelo de processo de desenvolvimento de software composto por um conjunto de disciplinas que fornecem diretrizes para definição de tarefas e atribuição das responsabilidades em um projeto de software.

O RUP foi selecionado como metodologia de desenvolvimento do projeto por utilizar-se de iterações, trazendo diversos benefícios para o projeto, tais como descoberta de riscos do projeto mais rápida e diminuição do tempo de desenvolvimento, pois trabalha com tarefas curtas e focadas. Segundo MARTINS (2007), o modelo pauta-se em 4 fases, sendo elas iniciação, elaboração, construção e transição, detalhadas e exemplificadas a seguir:

Tabela 5 – Detalhamento das fases do RUP

Fase	Objetivos	Artefatos principais
Iniciação	<ul style="list-style-type: none"> • Especificar a visão do produto final e definir a metodologia adotada para a condução do projeto; • Conseguir a aprovação e concordância dos stakeholders quanto ao escopo do projeto; • Obter apoio econômico para a execução do projeto; • Garantir que as funcionalidades principais do sistema estejam entendidas por todos; • Explorar algumas arquiteturas candidatas em função dos cenários principais; • Apresentar estimativas globais de custo e prazo para o planejamento global e estimativas detalhadas para a fase de elaboração; • Levantar os principais riscos que podem comprometer o sucesso do projeto; 	Documento de escopo, modelo de caso de uso, glossário, proposta comercial, avaliação de riscos, plano de projeto
Elaboração	<ul style="list-style-type: none"> • Obter visão abrangente do sistema (pode ser necessário construir protótipos); • Analisar o problema e propor uma arquitetura; • Estabilizar a visão do produto (ao final desta fase é necessário garantir que a arquitetura, os requisitos e os planos estejam sólidos, e os riscos mitigados); • Produzir um plano de projeto geral e realista para o restante do projeto; • Eliminar ou definir estratégia para os riscos mais significantes que possam comprometer o projeto; 	Modelo de caso de uso detalhado, especificação da arquitetura, protótipos, lista de riscos revisada, plano de construção
Construção	<ul style="list-style-type: none"> • Construir e testar o sistema em incrementos e obter aceitação dos <i>stakeholders</i>; • Desenvolvimento completo dos componentes e execução dos testes; • Evoluir a visão, a arquitetura e o plano de projeto até que o produto esteja concluído e pronto para implantação; • Minimizar os custos e o prazo; • Desenvolver versões funcionais do sistema; • Desenvolver manual do usuário; 	Produto de software integrado, manual do usuário, descrição da visão atual
Transição	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação da versão <i>beta</i> pelos usuários; • Conversão e migração de dados para o novo sistema; • Treinamento dos usuários; • Transferência do produto para o cliente ou usuários finais (empacotamento, distribuição, treinamento, suporte e manutenção); • Obter satisfação do cliente e uma qualidade operacional estável; • Avaliar e concluir o projeto; 	Produto final, manual do sistema, manual do usuário, relatório de implantação

3.2.3.1 Termo de Abertura

O termo de abertura tem como propósito autorizar formalmente o projeto. Ele é essencial no planejamento, pois especifica claramente o objetivo, justificativa e necessidade que motivou o desenvolvimento do projeto, além disso, alinha as expectativas entre os *stakeholders*. O termo de abertura consta no Apêndice A.

3.2.3.2 Declaração do Escopo

A declaração de Escopo possui a finalidade de definir o que o projeto inclui. Ela descreve as entregas do projeto, suas restrições, exclusões e premissas. É um documento fundamental para que se crie entre os envolvidos do projeto um entendimento do que será feito e como será feito. Visto no Apêndice B.

3.2.3.3 WBS – Work Breakdown Structure

O diagrama WBS é uma estrutura hierárquica que realiza a divisão das tarefas do projeto, fornecendo uma visão macro das etapas a serem cumpridas e servindo de base para o desenvolvimento do projeto para a equipe. Como solução para a criação do diagrama WBS, optou-se pela ferramenta online WBSTool. Seu uso simples e gratuito fornece funcionalidades mínimas necessárias para a confecção do diagrama WBS. A WBS deste projeto pode ser observada no Apêndice C.

3.2.3.4 Diagrama de Atividades e Gráfico de Gantt

O diagrama de Gantt é um gráfico utilizado para explicitar o decorrer das etapas do projeto baseando-se em dias e datas de entregas com o objetivo de facilitar o controle de produção.

A construção do diagrama de Gantt desenvolvido para a aplicação neste projeto foi realizado com base nas etapas descritos no diagrama WBS e faz divisão das tarefas por etapa, membro da equipe e suas respectivas responsabilidades ao longo do cronograma do projeto e estabelece limites para entregas.

Após testes com várias ferramentas freeware e pagas na internet, foi escolhido o JxProject, por ter se mostrado a melhor ferramenta entre todos os testes. Com o programa é possível planejar o projeto em todo o seu ciclo de vida, além de ser uma ferramenta com uma interface amigável e fácil de usar.

O Gráfico de Gantt encontram-se no Apêndice D.

3.2.3.5 Plano de Comunicação

O plano de comunicação serve como um guia para a comunicação e para os esforços dos membros da equipe durante a duração do projeto, sendo um documento ativo e atualizado periodicamente. Esse plano consta no Apêndice E.

3.2.3.6 Plano de Riscos

O plano de riscos tem como objetivo analisar os eventos possíveis no decorrer do desenvolvimento do projeto. Usa-se esses riscos para criar medidas preventivas e corretivas para amenizar os impactos em decorrência destes eventos.

No plano de riscos é possível observar a descrição do risco, sua classificação, a consequência, caso o evento aconteça, uma ação para remediá-lo, a probabilidade do mesmo acontecer e seu impacto no projeto. Com o impacto e a probabilidade de um risco pode-se calcular também a classificação do mesmo, que nada mais é do que uma quantificação de probabilidade mais impacto.

O plano de gerenciamento de riscos é apresentado no Apêndice F.

3.2.3.7 Acompanhamento do Projeto

O projeto foi acompanhado com base no diagrama de atividades, as comunicações entre a equipe ocorreram conforme planejado de forma eficiente não existindo problemas até a parte da implementação.

A equipe encontrou dificuldades em implementar a primeira metodologia estudada, SVM (*Support Vector Machine*) para fazer a análise automatizada da coluna, mas a equipe encontrou em pouco tempo uma forma alternativa e mais simples de fazer a análise da coluna, portanto não houve atraso no cronograma proposto.

Ocorreram alguns imprevistos, porém, no item 20 e 22 do diagrama de atividades, devido à comunicação com o médico que estava acompanhando o projeto. Existia uma probabilidade alta de esse risco acontecer e o impacto era considerado alto pois atrasaria todo o andamento do projeto.

3.2.4 Diagramas da UML

A metodologia escolhida para a modelagem do sistema foi a *Unified Modeling Language* (UML), que é uma linguagem visual que sirva como base para a modelagem de sistemas orientados a objetos, de forma a especificar classes e

objetos fazendo associações e responsabilizações. Neste projeto utilizou-se desta metodologia para desenvolver a base para um código orientado a objeto, bem como ter uma visão geral das atividades a serem desenvolvidas.

Para o presente estudo e a análise do *software* alguns dos principais diagramas da UML foram gerados, sendo eles: especificação dos casos de uso, diagrama de seqüência e diagrama de classes.

3.2.4.1 Diagrama de Classes

O diagrama de classes é o diagrama central da modelagem orientados a objetos, e descreve os tipos de objetos no sistema e os vários tipos de relacionamento que existem entre eles. As classes representam as propriedades e o comportamento de um conjunto de objetos em um sistema e conseqüentemente, como estes objetos estão relacionados.

O diagrama de Classes se encontra no Apêndice G.

3.2.4.2 Especificação dos Casos de Uso

O diagrama de casos de uso descreve uma seqüência de ações que o sistema deve realizar para produzir uma resposta para um ator, ou seja, tem-se uma seqüência da interação entre caso de uso e ator.

A especificação dos casos de uso tem como função especificar os requisitos funcionais de um sistema. Nas especificações é procurado demonstrar como as classes/objetos interagem para executar uma atividade específica no sistema

O diagrama de Casos de Uso e suas especificações se encontram no Apêndice H.

3.2.4.3 Diagramas de Seqüência

Os diagramas de seqüência são utilizados para descrever o fluxo de execução de casos de uso, métodos e serviços. Neles são representados atores, objetos e métodos em ordenamento temporal das operações, oferecendo um alto nível de detalhamento e facilitando a visualização da dinâmica do sistema.

O diagrama de seqüência do *software* proposto neste projeto encontra-se no Apêndice I.

3.3 PASSO 3 – DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O software concebido neste trabalho foi denominado SAO – Sistema de Apoio a Ortopedia. Esta seção mostra a concepção e os procedimentos de instalação do software e como utilizá-lo, apresentando suas principais funcionalidades.

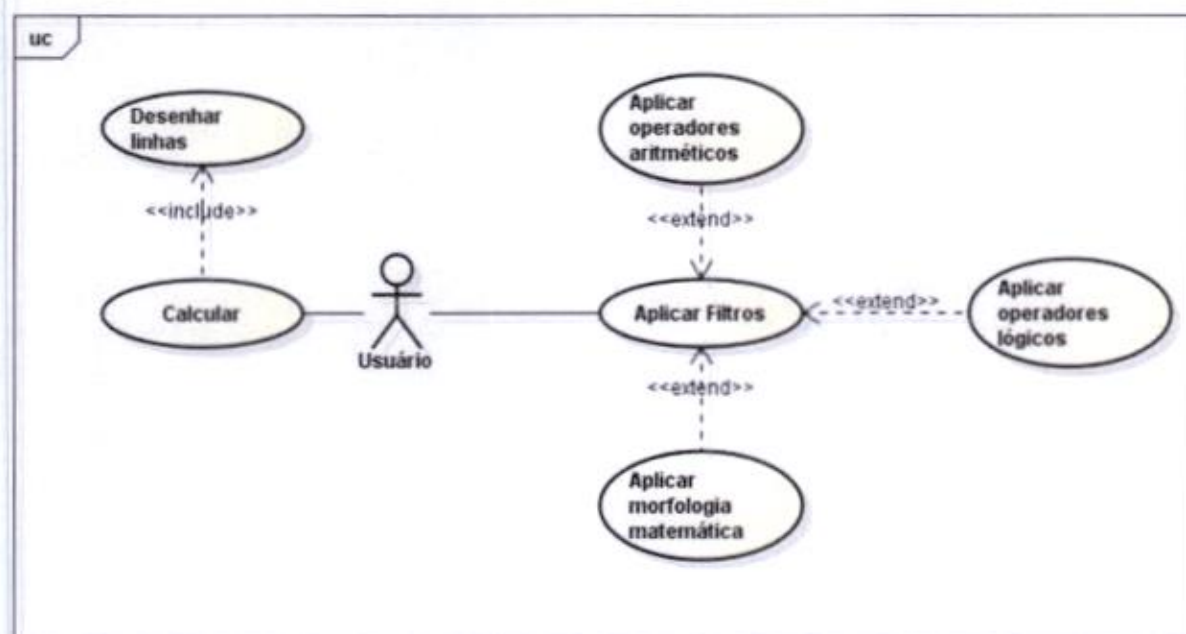


Figura 19 – Diagrama de Casos de Uso

De acordo com a Figura 19, do estudo de caso de uso, o software proposto é dividido em duas partes: Tratamento das imagens radiográficas pela aplicação de filtros e a realização dos cálculos requeridos pelo médico.

3.3.1 Tratamento das imagens

A parte de tratamento das imagens radiográficas oferece ao usuário ferramentas e filtros para tratar ruídos e corrigir pequenos erros, como imagem tremida ou embaçada, imagem rotacionada, entre outros, através de técnicas de processamento de imagens fornecidas pelo software. Há também a possibilidade de

comparação entre duas imagens através de técnicas de morfologia matemática e de operações lógicas feitas entre duas imagens.

Primeiramente, como demonstrado na Figura 20, o usuário deverá selecionar a imagem que gostaria de abrir para análise. Vários formatos são suportados, tais como .JPEG, .PNG e .Bitmap.

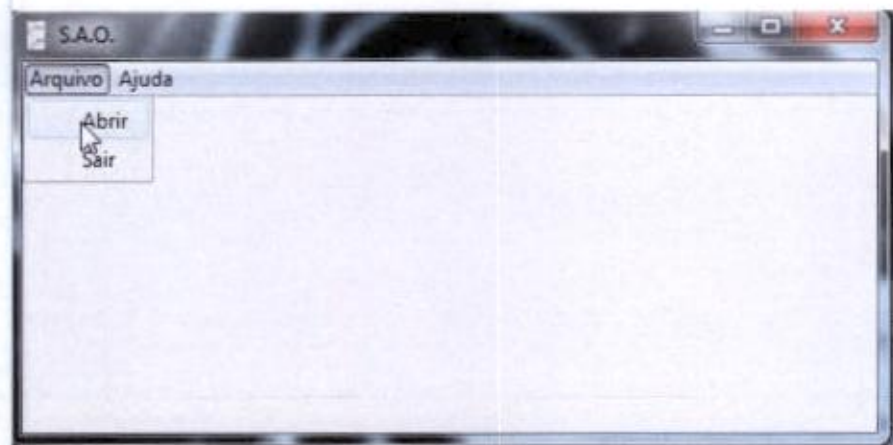


Figura 20 - Tela de diálogo inicial que permite selecionar no sistema a imagem a ser analisada.

A imagem escolhida é aberta numa nova janela, com os menus de filtros e técnicas de processamento de imagens disponíveis ao usuário nos menus ao topo (ver Figura 21). Informações técnicas da imagem, tais como formato, tamanho e dimensões também são oferecidas ao usuário conforme mostra a Figura 22.



Figura 21 – Software com imagem selecionada aberta, com as opções de filtro a serem realizadas.

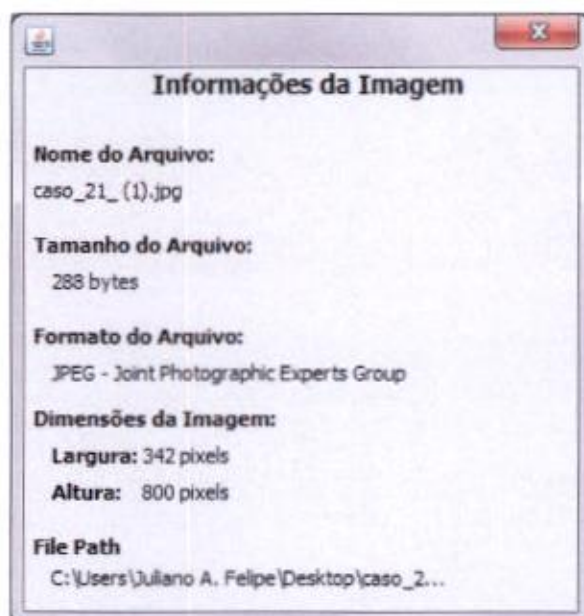


Figura 22 – Janela contendo informações técnicas da imagem selecionada

Na Figura 23, podemos observar exemplos dos filtros de brilho e contraste, Mediana e Convolução de imagens radiográficas utilizando o SAO.



Figura 23 – Demonstração dos filtros de tratamento. (a) – Imagem original, (b) – filtro de brilho e contraste, (c) - Mediana e (d) - Convolução.

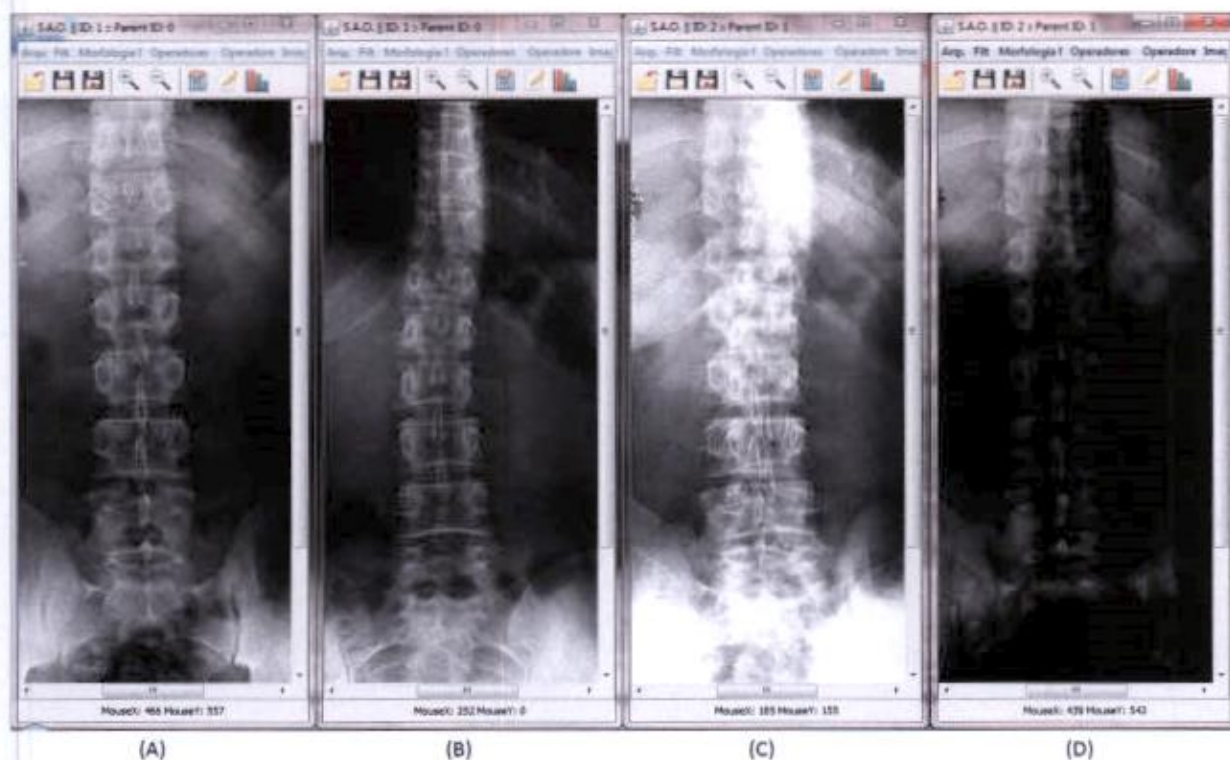


Figura 24 – Demonstração dos filtros de tratamento. (a) – Coluna normal, (b) Coluna com patologia, (c) Adição, (d) Subtração

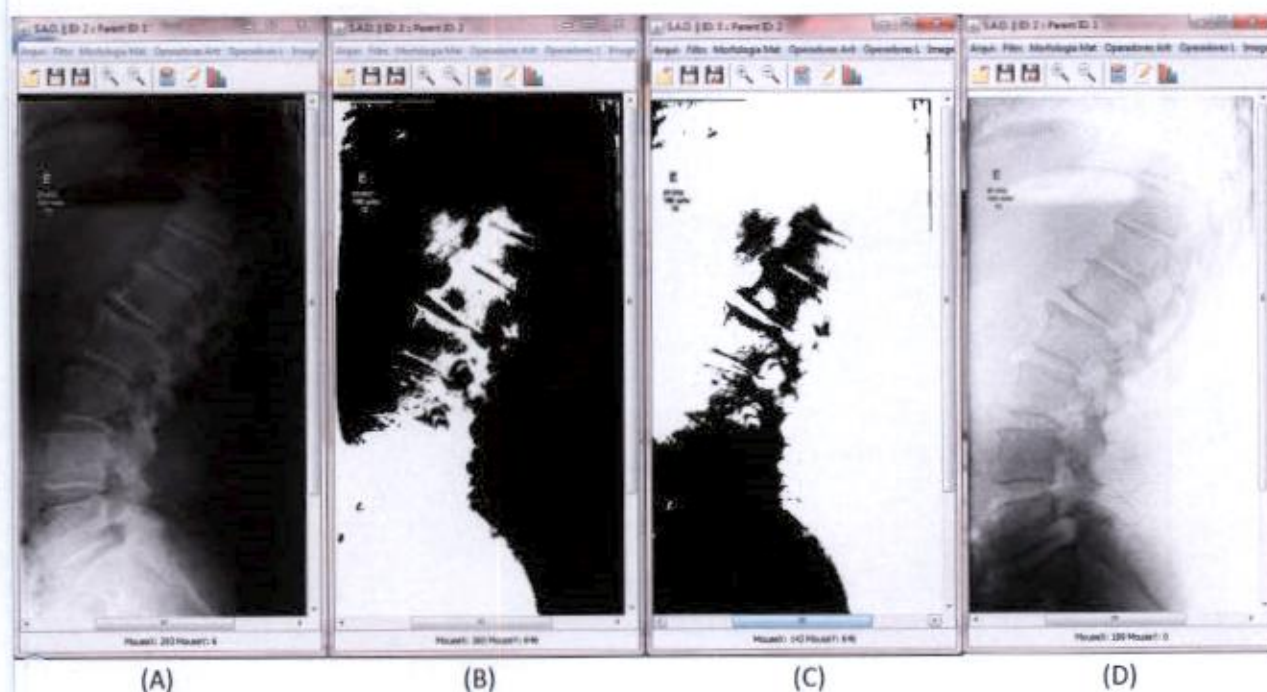


Figura 25 – Demonstração dos filtros de tratamento. (a) – Imagem original, (b) Filtro Threshold normal e nível 66, (c) Filtro Threshold inverso e nível 66, (d) Inversão

Nas Figuras 24 e 25 podemos observar outros exemplos de filtros aplicados utilizando-se o software proposto. Na primeira, os operadores aritméticos de adição e subtração, e na segunda o filtro threshold normal e inverso, assim como filtro de inversão.

3.3.2 Realização de cálculos

Após o tratamento das imagens conforme necessário, o usuário utiliza em seguida a funcionalidade principal do software, que é a realização dos cálculos médicos, dividido em duas sub-etapas: A criação de pontos e linhas na imagem e a apresentação do resultado ao usuário, como ilustrado na Figura 26.

O usuário deve primeiramente clicar em áreas na imagem radiográfica aonde serão criados pontos, que a cada par irão desenhar uma linha. Os mesmos são colocados de acordo com a análise da imagem feita pelo usuário. Após a criação

dos pontos, o usuário deverá clicar botão de cálculo, e assim uma nova janela abrirá com as opções de cálculos disponíveis, como mostra a Figura 27.

Dependendo do caso sendo analisado e das linhas criadas pelo usuário, o mesmo deve selecionar quais linhas ou pontos devem ser processados, além de seleciona o tipo cálculo que se adéqua melhor a suas necessidades. O software irá, então, processar o cálculo requerido e retornar o resultado para o usuário. O cálculo de distância entre dois pontos é retornado em centímetros, enquanto o cálculo de ângulo entre duas retas é retornado em graus.

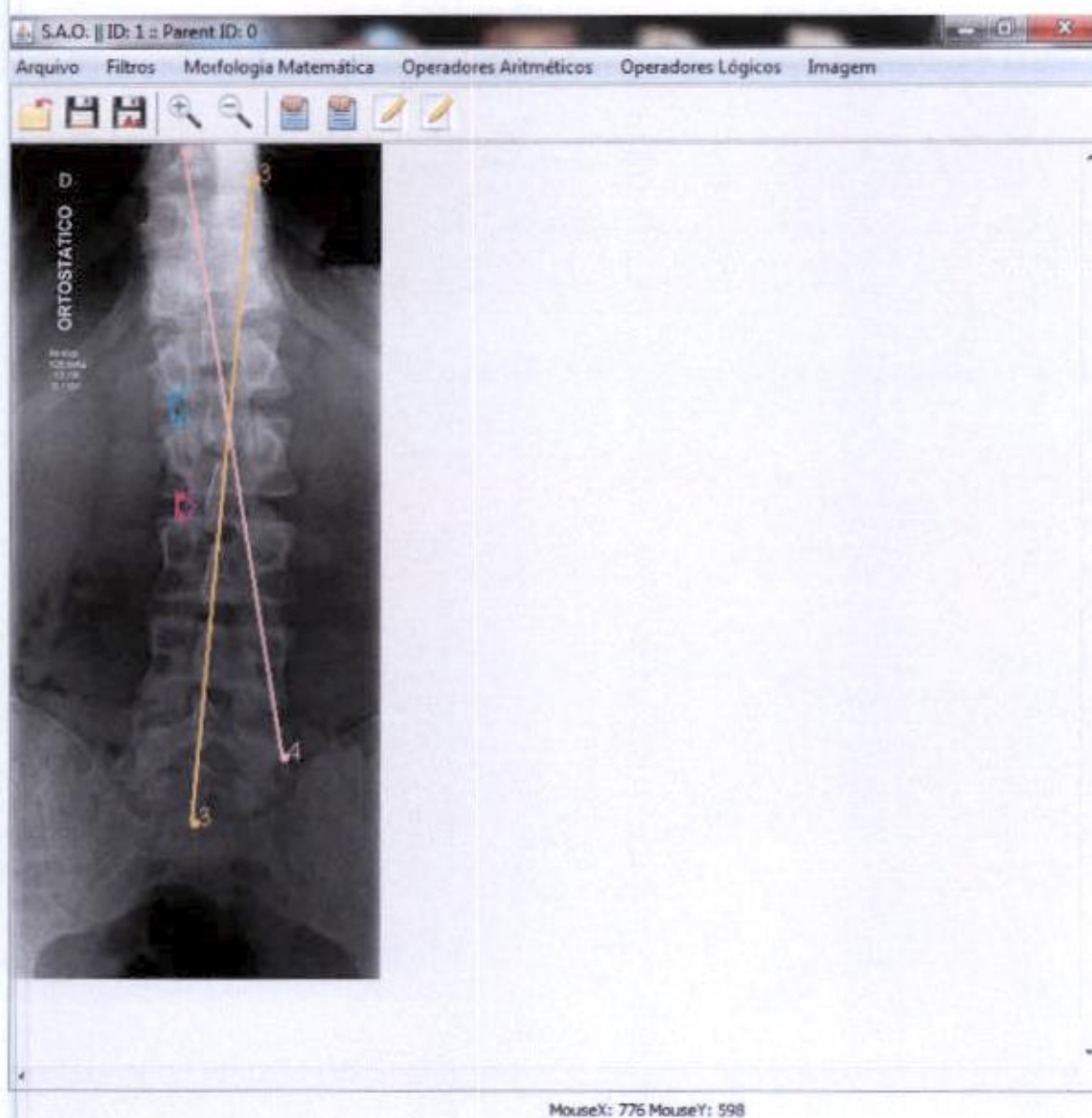


Figura 26 - Exemplo de criação de linhas da ferramenta proposta

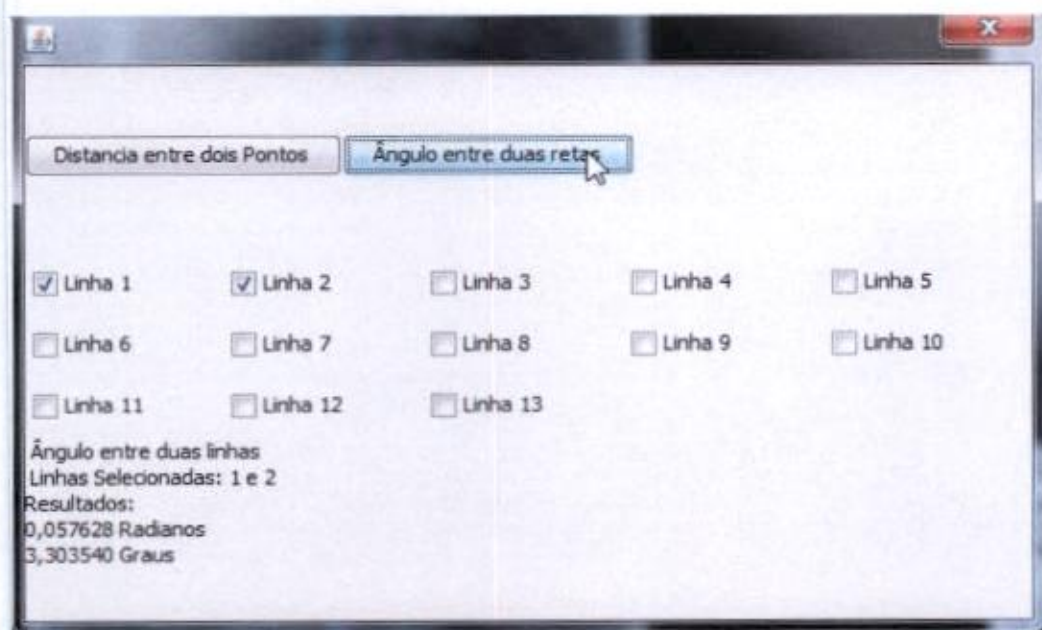


Figura 27 - Tela de diálogo onde é marcado as linhas de estudo e escolhido o cálculo a ser realizado, na mesma tela os valores são mostrados em graus e radianos.

Em relação à qualidade apresentada pela ferramenta do Sistema de Apoio à Ortopedia, estão a usabilidade e fácil compreensão do layout e principalmente a facilidade e velocidade do usuário em produzir o resultado final. Também é importante destacar:

1. Cada filtro aplicado ter sua própria janela, permitindo ao usuário inúmeras opções de tratamento de imagens.
2. Tratamento de imagem que possuem níveis de filtros possuem pré visualização.
3. Utilização de uma biblioteca baseada em C++, tornando os filtros muito eficientes e um aplicativo com portabilidade por ter sido desenvolvido em JAVA.

3.3.3 INSTALAÇÃO

A instalação do Sistema de Apoio a Ortopedia (SAO) é simples, todos os componentes necessários estão presentes no pacote de instalação fornecido, para realizar a instalação basta seguir as seguintes etapas:

1. Certificar-se que a JRE está instalada. A mesma pode ser baixada pelo link <http://www.oracle.com/technetwork/java/javasebusiness/downloads>, escolhendo o sistema operacional aplicável;
2. Localizar e executar o arquivo `opencv.exe` ou `opencvlinux.exe`, dependendo do seu sistema operacional;
3. Com o OpenCV instalado, copie a pasta SÃO para o desktop;
4. Instalação concluída, para inicializar o sistema, dê um duplo clique no arquivo `SÃO.bat`;

3.3.3.1 Requerimentos Mínimos

Os requerimentos mínimos para o funcionamento do sistema são:

- Windows Vista ou superior (64 bits);
- 1 GB de memória RAM;
- Processador de no mínimo 1.5 GHz;
- Disco rígido de no mínimo 40 GB com espaço livre de 300 MB.

3.4 PASSO 4 - PROTOCOLO DE VALIDAÇÃO

Esta seção tem a intenção de validar a usabilidade do sistema e a conformidade dos requisitos do sistema, sendo necessário realizar alguns testes para garantir a minimização de possíveis erros no software. Os testes realizados e seus resultados são descritos nas subseções a seguir.

3.4.1 Teste do método proposto

O protocolo de validação possui três etapas: a primeira etapa, detalhada na subseção 3.4.2 a seguir, é a análise do diagnóstico de um especialista em radiografias, especificando se as mesmas encontram-se em estado normal ou se possuem alguma patologia. A segunda etapa, subseção 3.4.3, consiste na utilização do SAO para a execução dos cálculos de análise, a fim de classificar as mesmas radiografias e observar a velocidade de execução. E, por fim, a terceira etapa consiste na análise dos resultados, avaliando a taxa de acerto de reconhecimento de patologias das radiografias, descrita na subseção 3.4.4.

3.4.2 Etapa 1 - Análise das Radiografias pelo Médico Especialista

Para realizar os testes de software, contamos com 50 imagens radiográficas da coluna vertebral, especificamente 18 da coluna lombo sacral e 32 da coluna cervical, de 17 pacientes, oferecidas pelo Professor Doutor Rodrigo Oliveira Carvalho de Aguiar, especialista em radiologia do laboratório DAPI.

Juntamente com as radiografias, o médico nos repassou o resultado de seu diagnóstico sem a utilização do SAO, exemplificando se a coluna encontrava-se normal ou se possuía alguma patologia. Esses diagnósticos podem ser encontrados na segunda coluna da Tabela 8.

3.4.3 Etapa 2 - Análise das Radiografias pelo SAO

Para a realização dos cálculos pelo SAO, foram criadas as linhas e executados os cálculos conforme a patologia identificada pelo médico em uma imagem radiográfica de cada caso, de acordo com o que foi analisado no capítulo 2 deste trabalho. Estes resultados podem ser encontrados na terceira coluna da Tabela 8.

Ressaltamos que o sistema proposto foi criado na idéia de que o software age apenas como um auxiliador no diagnóstico, cabendo sempre ao médico a palavra final. Desta forma, o SAO apresenta o resultado do cálculo, em ângulo ou em centímetros, mas não identifica a patologia em que esse resultado se enquadra, sendo o mesmo responsabilidade do profissional da área.

3.4.3.1 Análise da Velocidade de Execução (*Runtime*)

Os 17 casos avaliados tiveram uma variação de 23 segundos a 35 segundos ao serem calculados pelo SAO, sendo o tempo médio das operações de todos os casos de 29 segundos. A Tabela 6 mostra os resultados de 3 (três) operações de patologias diferentes. Destas operações, constatou-se que de 7 a 12 segundos foi o tempo necessário para abrir a imagem da radiografia e, o resto, para a criação de linhas e execução dos cálculos.

Tabela 6 – Avaliação da velocidade de execução

Forma de Cálculo	Tipo de Cálculo	Patologia	Tempo
Manual/SAO	Ângulo	Escoliose	26,8s
Manual/SAO	Distância	Espondiloartropatia	24,8s
Manual/SAO	Ângulo	Lordose	25,3s

Portanto, a tabela 6 ilustra que o tempo médio de processamento computacional do SAO é de 25,3 segundos, e o desvio padrão de 0,27 segundos. Isto significa que o tempo de processamento destas operações apresenta comportamento homogêneo para todos os casos.

Além disso, o tamanho médio de cada imagem radiográfica utilizada neste projeto é de 82KB.

3.4.4 Etapa 3 - Análise de resultados

Como mencionado na subseção 3.4.2, contamos com 18 imagens radiográficas da coluna lombo sacral para a realização dos testes de software. Cada caso foi analisado pelo especialista de forma a identificar se a coluna era normal ou se possuía alguma patologia. Com esta informação, enquadrámos cada caso conforme os dados da Tabela 7, de forma a identificar as possíveis classificações de acordo com a variação de seu ângulo.

Tabela 7 - Identificação do ângulo de cada patologia

Patologia	Ângulo em graus
Coluna Normal	$0 < \alpha < 10$
Escoliose	$10 < \alpha < 50$
Lordose	$\alpha > 65$

A partir desta informação, as mesmas imagens foram testadas no SAO, de forma a executar os cálculos requeridos e analisar o ângulo obtido no sistema com os dados médicos. Tendo como resultado "Confere" todos os valores que estão dentro do limite do ângulo α (alfa) exposto pela Tabela 7, e "Não Confere" os resultados fora do limite do mesmo ângulo. Os resultados desta análise encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Análise de resultados dos 17 casos

Caso	Ângulo dado pelo médico	Ângulo SAO	Resultado
1	Coluna Normal	6 graus	Confere
2	Discreta Escoliose	14 graus	Confere
3	Discreta Escoliose	17 graus	Confere
4	Coluna Normal	2 graus	Confere
5	Discreta Escoliose	10 graus	Confere
6	Coluna Normal	6 graus	Confere
7	Escoliose Toracolombar	15 graus	Confere
8	Escoliose Toracolombar	21 graus	Confere
9	Leve escoliose toracolombar	15 graus	Confere
10	Leve escoliose toracolombar	19 graus	Confere
11	Leve escoliose toracolombar	16 graus	Confere
12	Leve escoliose toracolombar	19 graus	Confere
13	Leve escoliose toracolombar	22 graus	Confere
14	Escoliose toracolombar	29 graus	Confere
15	Escoliose toracolombar e acentuada lordose lombar	26 graus 69 graus	Confere
16	Coluna Normal	7 graus	Confere
17	Coluna Normal	2 graus	Confere

O software proposto oferece uma boa solução para estudantes de medicina e novos médicos, pois sua idéia base e funcionalidades são similares às demais ferramentas pagas do mercado, tais como a realização dos cálculos médicos através de linhas traçadas pelo usuário.

Tendo em vista a base de dados (artigos) pesquisados, pode-se concluir que o software concebido atende às necessidades propostas, pois é gratuito, atingindo um público que as ferramentas pagas não alcançam, além de apresentar resultados satisfatórios para dar apoio em estudos e análises clínicas. Além disso a ferramenta obteve 100% de acerto nos 17 casos analisados, e vale à pena ressaltar que como as linhas são traçadas manualmente, é comum ao cálculo sofrer pequenas variações, proporcionando margens de erro.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste projeto foi construir um sistema de apoio ao médico na hora de identificar possíveis problemas ósseos em seus pacientes e auxiliar os acadêmicos no estudo com uma ferramenta gratuita. O software proposto pode ser separado em uma parte mais genérica, da manipulação e tratamento de imagens, e a parte mais específica responsável pelos cálculos realizados pelo software.

A primeira parte foi criada como um editor de imagem, tendo como objetivo fazer as mais diversas operações e, caso necessário para outro segmento, poder ser facilmente implementado ou até mesmo aprimorar os filtros de imagens já existentes no software proposto, mas que não são suficientes para atender uma necessidade mais específica. A interface do programa foi construída para ser simples e com poucos cliques o usuário pode fazer qualquer operação de processamento de imagens disponíveis, embora a mesma não tenha sido avaliada pelo usuário.

A segunda parte do software proposto é responsável pelo cálculo do ângulo entre duas retas e a distância entre dois pontos. O projeto foi desenvolvido para ser similar ao processo que o ortopedista costuma fazer manualmente sem ajuda de softwares, para tornar o aprendizado da ferramenta fácil e com a resistência mínima. O software apresentou resultados bem precisos, com uma porcentagem de acerto de 100% e velocidade de processamento satisfatórios, sendo de bastante utilidade para o ortopedista ou estudante que não possui a sua disposição softwares pagos, tornando-se uma ótima ferramenta para introdução à área. Desta forma, pode-se concluir que os objetivos específicos foram atingidos e, conseqüentemente, o objetivo geral foi contemplado.

Uma proposta interessante para trabalhos futuros é realizar testes de usabilidade com profissionais da área e integrar o software proposto a um sistema médico completo, mantendo análises, históricos e evoluções nos casos dos pacientes entre as consultas. Outro aspecto que poderia ser aprimorado seria tentar efetuar mais cálculos ainda na área da coluna ou até mesmo abrir para novas aplicações, como por exemplo o joelho que também pode ser utilizado o mesmo sistema de retas para a realização dos cálculos.

REFERÊNCIAS

ASTAH. Disponível em < <http://astah.net/editions/community>>. Acessado em 10 de Agosto de 2012.

AZEVEDO-MARQUES, Paulo Mazzoncini de. **Diagnóstico auxiliado por computador na radiologia**. Radiol Bras, São Paulo, v. 34, n. 5, out. 2001 Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-39842001000500008&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 12 de julho de 2012.

CARVALHO, Maria Ester Ibiapina Mendes de. **Correlação do Ângulo da lordose lombar e do Ângulo lombo-sacral entre pacientes com lombalgia com e sem diagnósticos de hérnia discal lombar e sujeitos assintomáticos**. São Paulo, 2010. Disponível em <<http://biblioteca.univap.br/dados/000002/000002FC.M.CARVALHO.-%20p%C3%B3s%20defesa%20II.pdf>>. Acesso em 29 de dezembro de 2012.

CORRECTIVE CHIROPRACTIC. Disponível em <<http://www.correctivechiropractic.net/>>. Acesso em 29 de Novembro de 2012.

DOI, K. **Current Status and future potential of computer-aided diagnosis in medical imaging**. The British Journal of Radiology, 78. 2005, S3-S19. Disponível em <http://bjr.birjournals.org/content/78/suppl_1/s3.full.pdf+html>. Acesso em 10 de julho de 2012.

DORLAND. **Dorland's Medical Dictionary for Health Consumers.**, 2007 by Saunders, an imprint of Elsevier.

E-RADIOGRAPHY. Disponível em < <http://www.e-radiography.net>>. Acessado em 18 de Dezembro de 2012.

FLORENZANO, Teresa G; JUNIOR, Stélio S. T; LORENA, Rodrigo B; MELO, Danilo H. C. T. B. **Multiplicação e Adição de Imagens Landsat no Realce de Feições da**

Paisagem. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2001/poster/197.pdf>>. Acesso em 09 de agosto de 2012.

GOMES, Otávio da Fonseca Martins. **Processamento e Análise de Imagens Aplicados à Caracterização Automática de Materiais**, 2001. Disponível em <<http://www.dcomm.puc-rio.br/cursos/ipdi/html/ogomesmestrado.pdf>>. Acesso em 10 de outubro de 2012.

GONZALEZ, Rafael C., WOODS, Richard E. **Digital Image Processing**. Addison-Wesley, 2002.

INFO ESCOLA. Disponível em <<http://www.infoescola.com>>. Acessado em 18 de Novembro de 2012.

INSTITUTO COLUNA. Disponível em <<http://www.institutocoluna.com.br/6escolioses.htm>>. Acessado em 02 de Dezembro de 2012.

JAVA. Disponível em <http://www.java.com/pt_BR/>. Acessado em 01 de Agosto de 2012.

LIMA, J. P. S. do M. et. al. **Reconhecimento de Padrões em Tempo Real Utilizando a Biblioteca OpenCV**. Revista RITA, v. XVII, n. X, 2010.

MARTINS, J.C C. **Gerenciando projetos de desenvolvimento d software com PMI, RUP e UML**. 4ª. Ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2007.

MARTINS, Roberto de Andrade. **A Descoberta dos Raios X: O Primeiro Comunicado de Röntgen**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v.20, n.4, Dez. 1998. Disponível em: <http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/apoio/historia/v20_372.pdf> Acesso em 01 de setembro de 2012.

MICROSOFT OFFICE. Disponível em <<http://office.microsoft.com/en-001/>> Acessado em 12 de dezembro de 2012.

MILANI, Giovana Barbosa; FILHO, A'Daryl Natal; JOÃO, Sílvia Maria Amado. **Correlation between lumbar lordosis angle and degree of gynoid lipodystrophy (cellulite) in asymptomatic women.** São Paulo, 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1807-9322008000400015&script=sci_arttext>. Acessado em 17 de dezembro de 2012.

MORRISY, RT; GOLDSMITH GS; HALL EC; KEHL D, COWIE GH. **Measurement of the Cobb angle on radiographs of patients who have scoliosis. Evaluation of intrinsic error,** 1990. Disponível em <http://henriquetateixeira.com.br/up_artigo/measurement_of_the_cobb_angle_on_radiographs_of_patients_who_have_scoliosis_mo1fu6.pdf>. Acesso em 10 de Janeiro de 2013.

MUSCHHealth, Medical University of South Caroline. **X-ray of the Spine, Neck, or Back,** 2012. Disponível em <<http://www.muschealth.com>> . Acesso em 02 de Agosto de 2012.

NETBEANS. Disponível em <<http://netbeans.org/>>. Acesso em 27 de Outubro de 2012.

OPENCV. Disponível em <<http://docs.opencv.org/>>. Acesso em 12 de Outubro de 2012.

PARKER, J.R. **Algorithms for Image Processing and Computer Vision.** New York, John Wiley & Sons, 1997.

PERDRIOLLE, René. **A Escoliose – Um estudo tridimensional.** São Paulo, Summus Editorial, 2006. Disponível em <<http://books.google.com.br/books?id=IKf-mWpQbBgC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em 12 de dezembro de 2012.

RICARD, F. **Tratado de Radiologia Osteopática del Raquis**. Madrid: Panamericana, 1999.

RUSS, John C. **The image processing handbook**. 2 ed, Boca Raton, CRC Press, 1995.

SAMPAIO-BARROS, Percival D.et al. **Consenso Brasileiro de Espondiloartropatias: outras espondiloartropatias - diagnóstico e tratamento - primeira revisão**. Rev. Bras. Reumatol., São Paulo, v. 47, n. 4, Aug. 2007.

SANTOS, Alair Augusto Sarmet M. D. dos. **Radiologia digital: como fica o laudo radiológico?**. Radiol Bras, São Paulo, v. 43, n. 1, Feb. 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-39842010000100002&script=sci_arttext>. Acesso em 29 de agosto de 2012.

SEIXAS, Flávio Luiz; SAADE, Débora Christina Muchaluat. **Diagnóstico Auxiliado por Computador**. 2006. Tese – Universidade Federal Fluminense Campus Praia Vermelha – Escola de Engenharia, Niterói – RJ. Disponível em <<http://www.midiacom.uff.br/~debora/fsmm/trab-2005-2/CAD.pdf>>. Acesso em 01 de agosto de 2012.

YOUNG, Ian T, GERBRANDS, Jan J., VLIET, Lucas J. Van. **Fundamentals of Image Processing**. Paperback, 1995.

APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA

1. Justificativa do Projeto

Na área médica é muito comum muitos atendimentos em pouco tempo, e abordando de forma mais específica o setor da ortopedia é comum certos procedimentos relacionados à coluna serem feitos manualmente para detectar anomalias na coluna, a área também não possui softwares gratuitos específicos, dificultando um contato com um software para acadêmicos e médicos não especializados com o intuito de estudo.

Portanto a necessidade de criar um software capaz de realizar os mesmos cálculos, de forma mais rápida e com precisão, do que a metodologia manual tornando o processo de análise mais eficiente, e apresentando já no meio acadêmico o *Sistema de Apoio à Ortopedia* é um ótima ferramenta para aprendizado.

2. Descrição do Projeto

O desenvolvimento do projeto implicará na criação de uma ferramenta para edição de imagem, com diversos filtros voltados para a área médica, tendo como base softwares já criados e filtros necessários para extração de imagens. Em adição a essa ferramenta mais genérica, desenvolver uma maneira de calcular fórmulas, pelo menos duas, para identificar anomalias na coluna vertebral. Este trabalho será desenvolvido sob orientação do Professor Doutor Luiz Antônio Pereira Neves.

3. Identificação e atribuições do Gerente de Projetos

O Professor Doutor Luiz Antônio Pereira Neves será o gerente do projeto, tendo autoridade para utilizar os recursos financeiros da equipe, conforme limitação do orçamento do projeto.

4. Riscos de Alto Nível

O projeto poderá ter como principal problema trabalhar freqüentemente com imagens não apropriadas, podendo tornar o processo de identificação dos pontos difícil para o médico, diminuindo consideravelmente a precisão dos cálculos.

5. Requisitos para Aprovação

Os cálculos devem fornecer resultados precisos, com variância máxima de XX % em relação ao resultado ideal

6. Resumo do Orçamento

A equipe que irá elaborar o sistema não terá nenhuma forma de recompensa, pois este projeto não visa fins lucrativos.

7. Patrocinadores

A equipe não possui patrocinador, sendo assim os custos devem ser dividido entre os integrantes da equipe.

APÊNDICE B – DECLARAÇÃO DO ESCOPO

Descrição do Escopo do Produto

O usuário deve abrir uma radiografia da coluna vertebral a ser analisada, em seguida se houver a necessidade pode aplicar alguns filtros para tentar melhorar a imagem, ou fazer qualquer edição que ajude na análise da coluna. Após a imagem estar preparada o profissional deverá marcar séries de 2 pontos para o sistema traçar retas. Após todas as retas serem traçadas na imagem, a quantidade e a técnica pode variar para cada cálculo, o médico deve selecionar qual cálculo ele deseja realizar. O sistema através das linhas aplicará fórmula correspondente e apresentará os resultados na tela, em seguida o usuário pode salvar a imagem com os resultados no computador.

Entregas do Projeto

MARCO 1	Termo de Abertura
MARCO 2	Declaração de Escopo, Plano do Projeto;
MARCO 3	Produto Proposto;
MARCO 4	Produto Proposto Testado;
MARCO 5	Produto Proposto Homologado.

Exclusões do Projeto

- a. Requisitos após estabelecidos e aprovados não serão alterados;
- b. Será desenvolvido apenas a ferramenta, sem nenhuma integração com sistemas médico já existente

Restrições do Projeto

Estarão desenvolvendo esse projeto no máximo 4 recursos humanos trabalhando em período parcial. O projeto não atenderá funcionalidades que não estejam já especificadas nesse documento.

Premissas do Projeto

As preocupações do cliente, no uso da ferramenta proposta, são:

- c. Requisitos mínimos para o software;
- d. Facilidade e rapidez na interação com o software;

APÊNDICE C – WBS

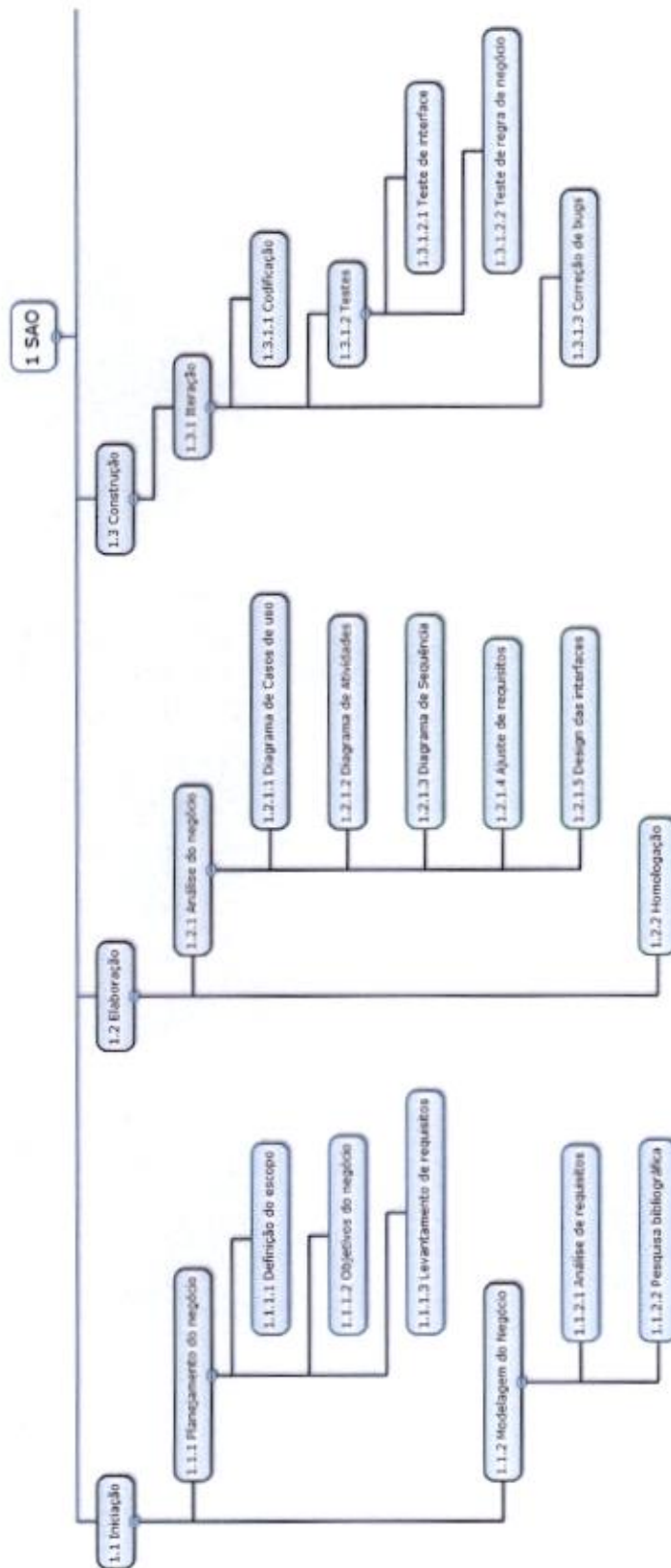


Figura 28 – Diagrama WBS Parte 1

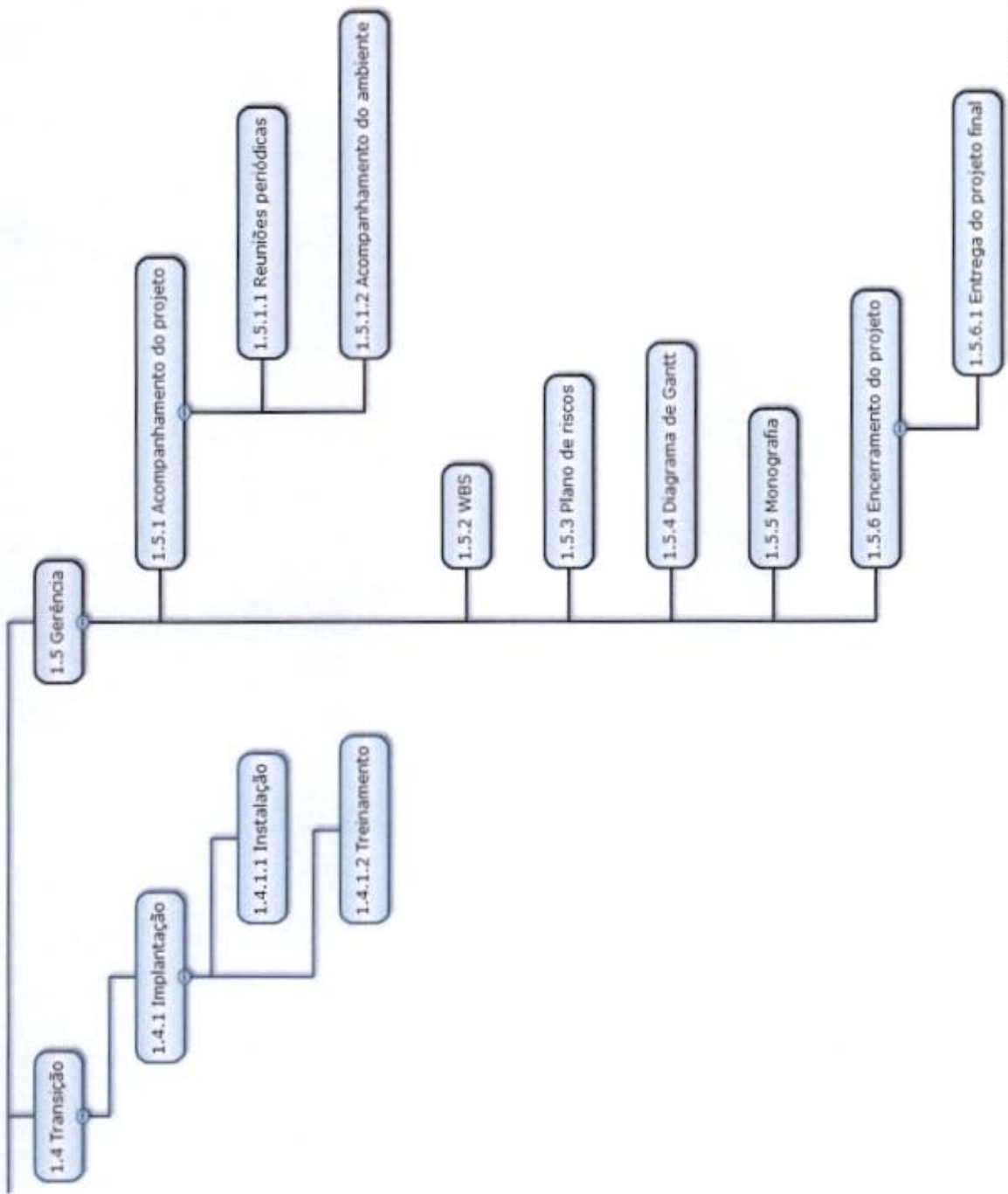


Figura 29 – Diagrama WBS Parte 2

APÊNDICE D – GRÁFICO DE GANTT

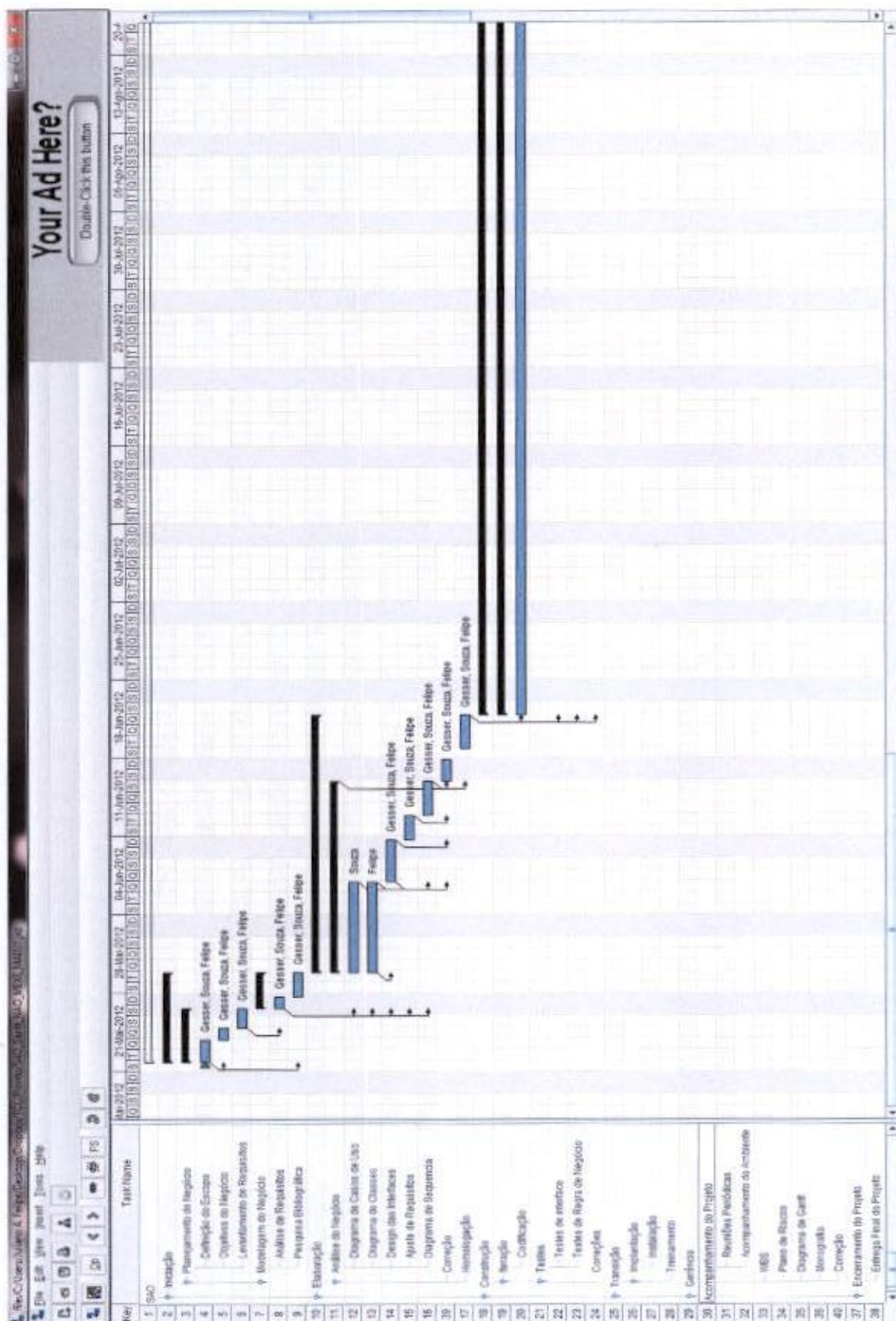


Figura 30 – Diagrama de Gantt Parte 1

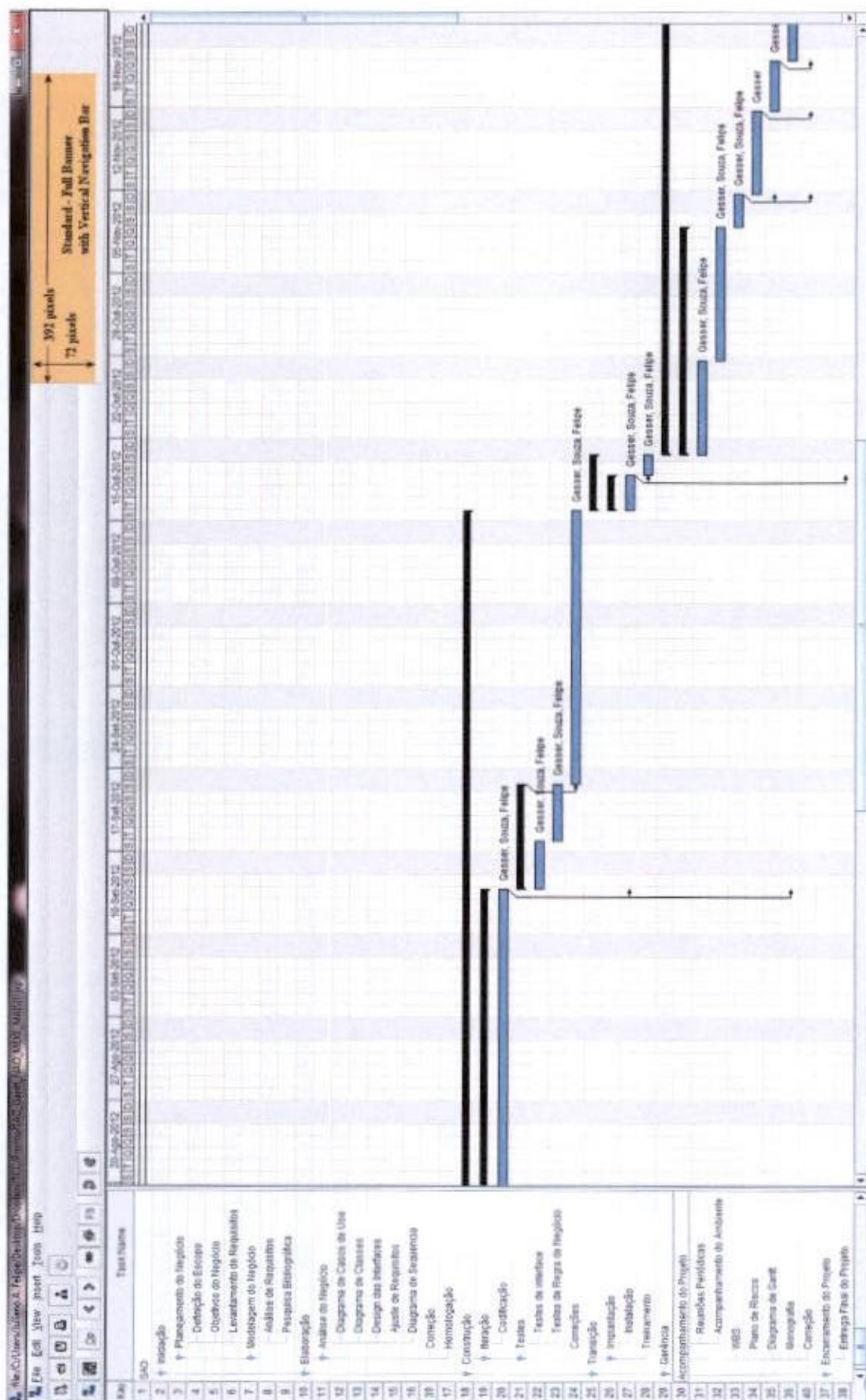


Figura 31 – Diagrama de Gantt Parte 2

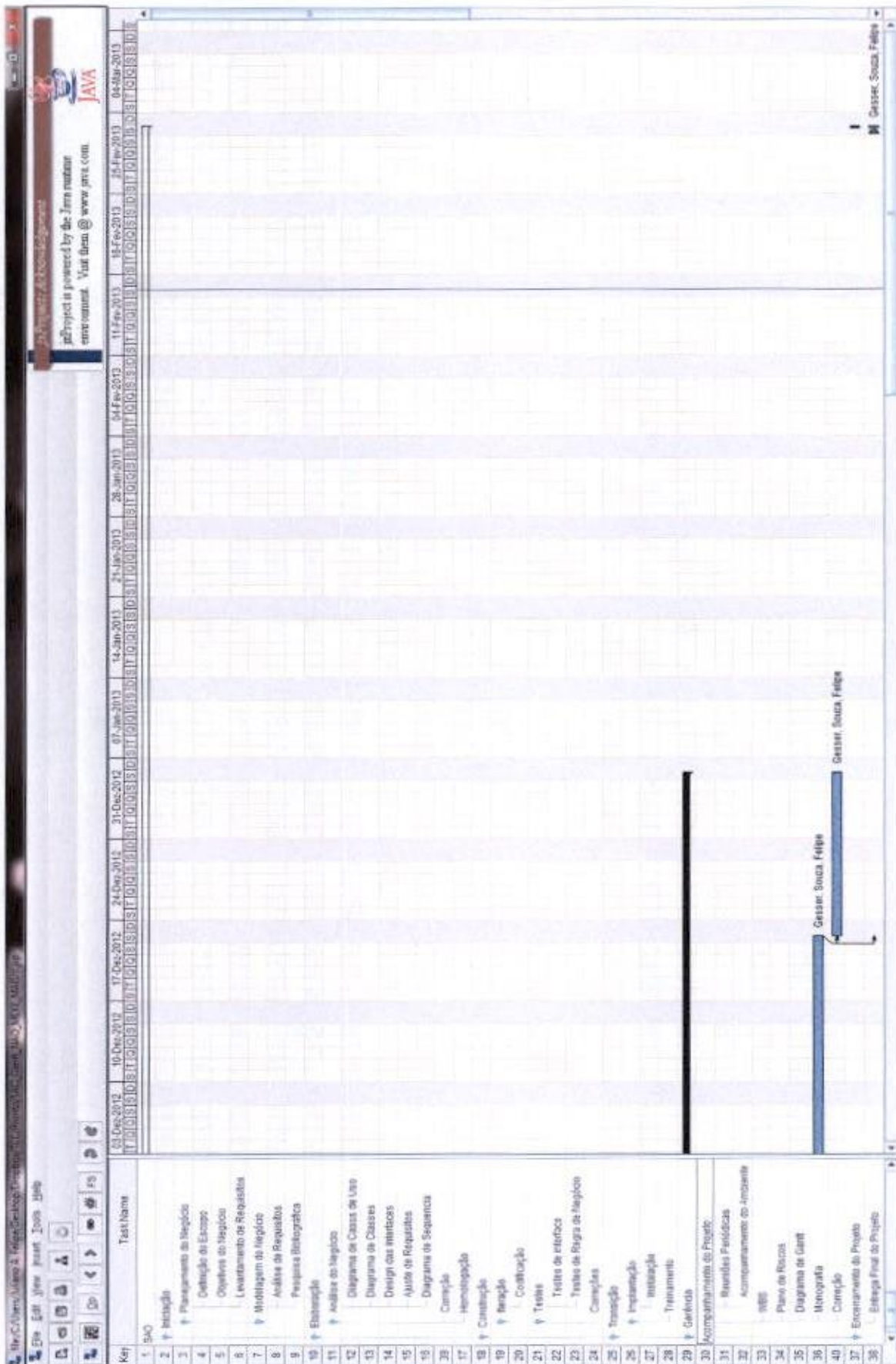


Figura 32 – Diagrama de Gantt Parte 3

APÊNDICE E – PLANO DE COMUNICAÇÃO

Tabela 9 – Plano de Comunicação do Projeto

Grupo de Interessados	Foco	O que este grupo precisa saber	Método	Quando
Internos ao projeto				
Equipe do Projeto	Planejar e distribuir as tarefas	Status do projeto	Reuniões internas com os membros da equipe	Há cada fim de tarefa haverá reunião
Orientador	Supervisionar cada tarefa	Se está como deveria e passa dicas	E-mails ou reuniões	Quando necessário
Equipe do Projeto	Desenvolver o <i>software</i>	Técnicas de desenvolvimento	E-mails, conversas por mensagens instantâneas ou reuniões.	Quando necessário
Equipe do Projeto	Compartilhar conhecimento técnico	Métodos e teorias	Livros, artigos e e-mails	Durante o desenvolvimento
Equipe do Projeto	Andamento de testes	Protótipo pronto ou <i>software</i>	Reuniões com o orientador	Durante a fase de testes
Equipe do Projeto	Troca de metodologias e informações	Novos métodos e processos	E-mails, conversas por mensagens instantâneas ou reuniões.	Durante o desenvolvimento do <i>software</i> e da monografia
Pré-banca	Análise do projeto	Quanto falta para acabar o projeto	Pré-avaliação	No final do projeto

APÊNDICE F – PLANO DE RISCOS

Tabela 10 – Plano de Riscos do Projeto

#	Descrição	Categoria	Conseqüência	Ação	Probabilidade	Impacto	Classificação
1	Mudança de requisitos	Cliente	Necessidade de mudar o direcionamento do projeto	Estruturar o sistema de forma a facilitar qualquer alteração ou incremento de funcionalidade.	Alta	Crítico	7
2	Prazos curtos e irreais	Negócio	Atraso na entrega do projeto	Acompanhamento detalhados das etapas do projeto, e prazos bem estipulados.	Alta	Crítico	6
3	Mudança de tecnologia	Técnico	Atraso na entrega do projeto	Realizar uma extensa pesquisa para selecionar a tecnologia mais adequada antes de começar o desenvolvimento e estruturar o sistema para facilitar alterações de tecnologia.	Moderada	Crítico	6
4	Desistência do cliente	Cliente	Sistema ficar inutilizado após o término do projeto, dificuldade na validação dos resultados	Realizar reuniões constantes com o cliente para garantir seu envolvimento e satisfação	Baixa	Crítico	5

5	Inexperiência da equipe em processamento de imagens	Pessoal	Atraso na entrega do projeto e possíveis falhas na implementação	Investir em aprimoramento técnico para a equipe do projeto	Baixa	Moderado	4
6	Desistência de um membro da equipe	Pessoal	Atraso no projeto, necessidade de rever a divisão de tarefas	Realizar constantes reuniões com a equipe, e revisão da divisão de tarefas e responsabilidades individuais	Baixa	Crítico	5
7	Perda de arquivos	Técnico	Necessidade de refazer os arquivos perdidos e aumento de horas trabalhadas	Backups constantes dos arquivos.	Baixa	Crítico	5
8	Dificuldade para realizar reuniões com o cliente	Cliente	Possíveis requisitos diferentes da real necessidade do cliente e maior dificuldade em garantir a satisfação do cliente na entrega do projeto	Acertar com o cliente a necessidade de reuniões periódicas ao início do projeto; Utilização de tecnologias alternativas para facilitar a realização de reuniões, por exemplo, Skype.	Moderada	Moderado	5
9	Tempo de resposta do software insatisfatório	Técnico	Insatisfação do cliente	Testes constantes durante todas as fases do desenvolvimento para garantir a qualidade do software.	Moderada	Moderado	5

10	Tamanho estimado do software maior do que o real	Negócio	Atraso na entrega do projeto	Utilização de técnicas para medição do tamanho do software para um resultado mais real; redução do escopo	Alta	Crítico	7
11	Usuários finais resistentes ao sistema	Cliente	Insatisfação do cliente	Disponibilizar treinamento para os usuários poderem se adaptar ao software	Baixa	Baixo	3
12	Número de imagens insuficiente para testes	Técnico	Testes não confiáveis; atraso na entrega do projeto.	Obter as imagens para testes logo no início do desenvolvimento do software.	Moderada	Críticos	6

APÊNDICE G – DIAGRAMA DE CLASSES

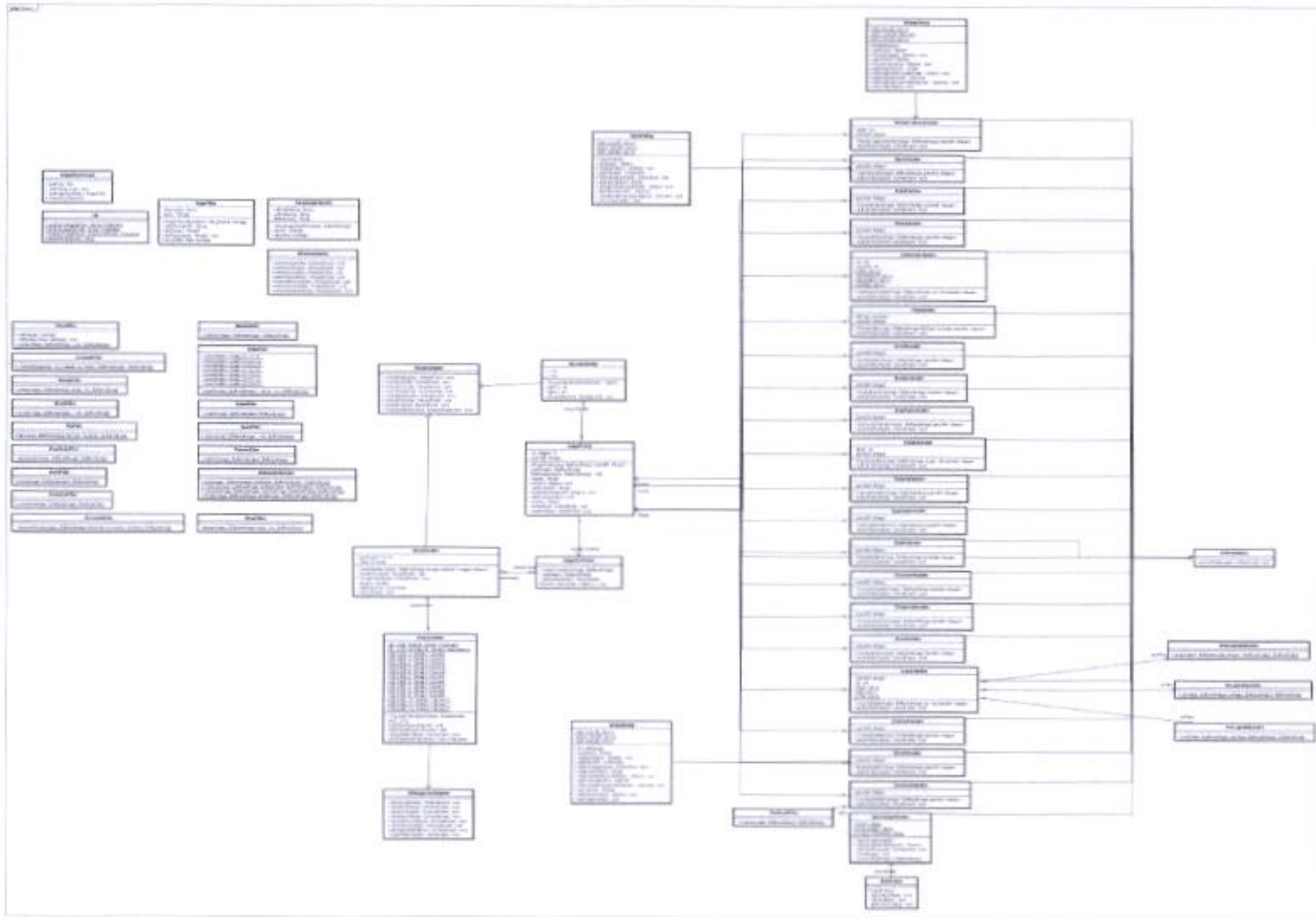


Figura 33 – Diagrama de classes – Visão Geral

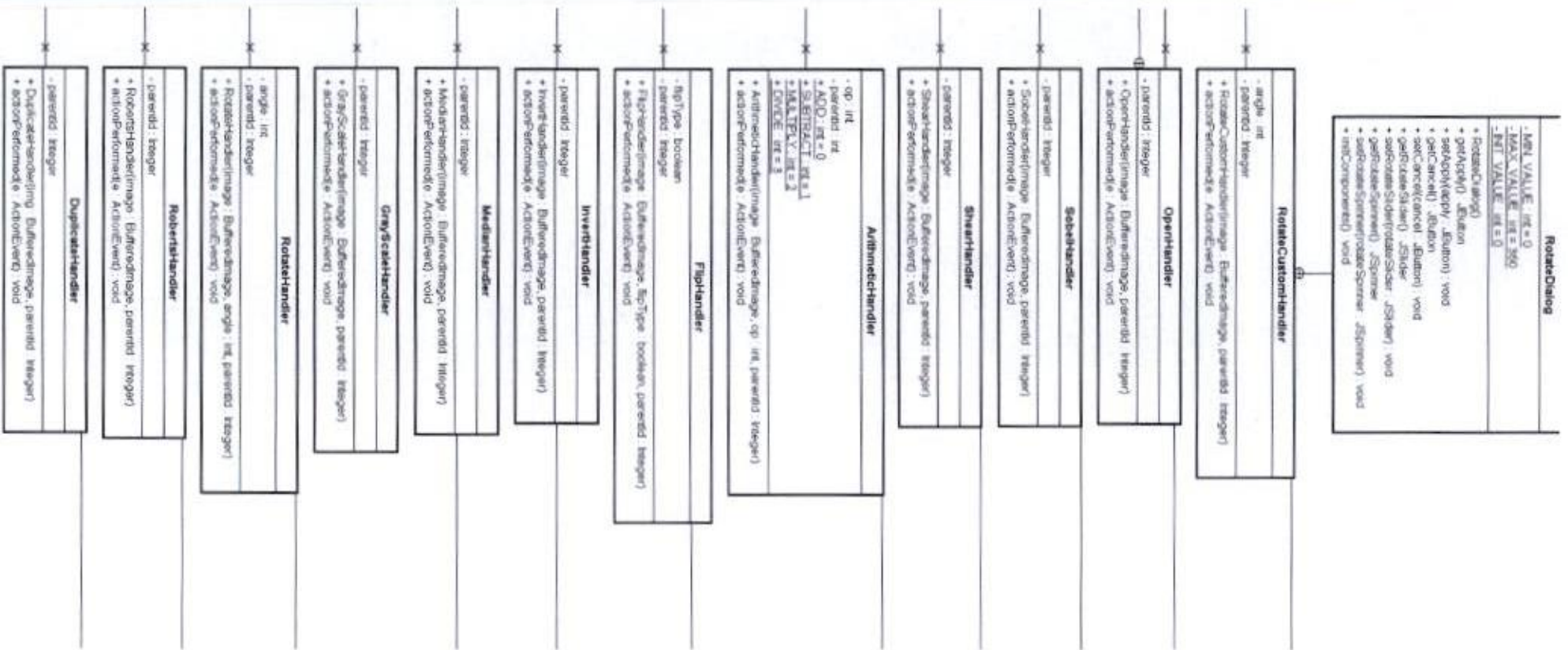


Figura 36 – Diagrama de classes – Parte 3

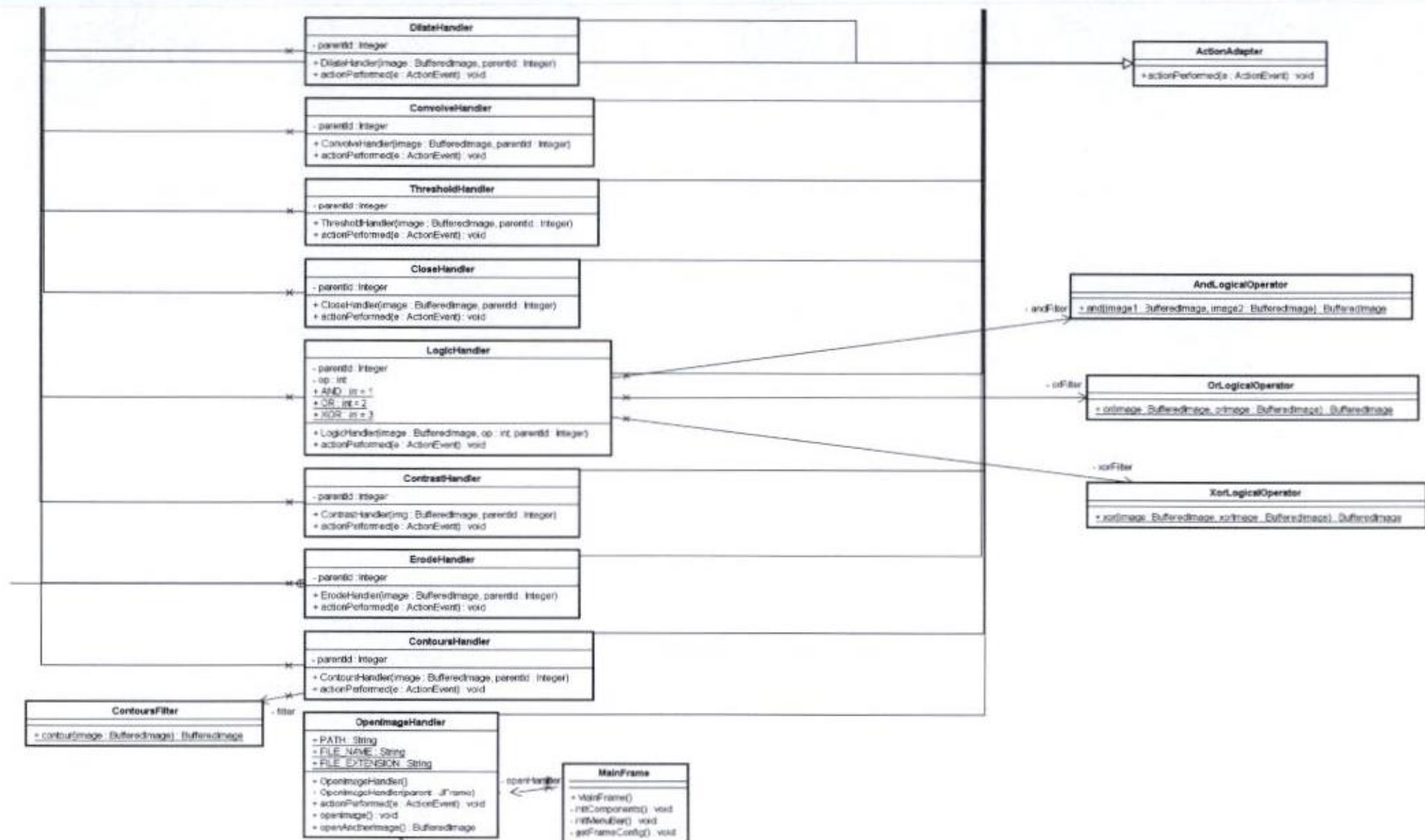
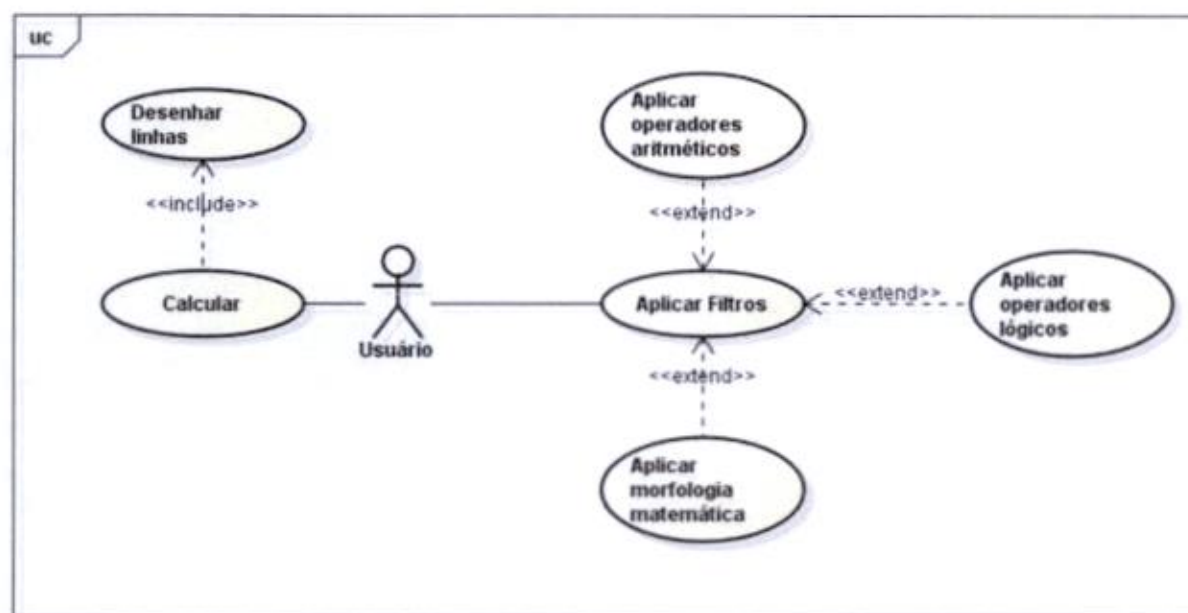


Figura 37 – Diagrama de classes – Parte 3

APÊNDICE H – DIAGRAMA E ESPECIFICAÇÕES DE CASOS DE USO



UC01: Aplicar Filtros

Descrição	O usuário seleciona uma das opções do menu de tratamento (Operadores Lógicos, Operadores Aritméticos, Morfologia Matemática) do software para aplicá-lo à imagem de sua escolha;
Atores	Usuário
Pré-condições	O usuário deverá ter aberto uma imagem de sua escolha;
Pós-condições	Após o fim normal deste caso de uso, a imagem deverá ter sido modificada com as configurações conseqüentes do filtro selecionado.
Fluxo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. O fluxo principal se inicia quando o usuário entra no sistema, abre uma imagem e clica em uma das opções do menu (Operadores Lógicos, Operadores Aritméticos ou Morfologia Matemática); 2. O usuário seleciona uma opção do menu para aplicá-lo na imagem; 3. A imagem é conseqüentemente modificada de acordo com o filtro escolhido pelo usuário;
Fluxos alternativos	Alguns filtros fazem com que o sistema mostre uma nova tela ao usuário, pedindo que este defina algumas configurações específicas do filtro antes de aplicá-lo na imagem.
Fluxos de exceção	N/A
Pontos de extensão	UC1-1, UC1-2, UC1-3

UC01-1: Aplicar Operadores Aritméticos	
Descrição	O usuário seleciona uma das opções do menu ' Operadores Aritméticos ' do software para aplicá-la à imagem de sua escolha;
Atores	Usuário
Pré-condições	O usuário deverá ter aberto uma imagem de sua escolha;
Pós-condições	Após o fim normal deste caso de uso, a imagem deverá ter sido modificada com as configurações conseqüentes do operador aritmético selecionado.
Fluxo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. O fluxo principal se inicia quando o usuário entra no sistema, abre uma imagem e clica no menu 'Operadores Aritméticos'; 2. O sistema apresenta as opções do menu: <ul style="list-style-type: none"> • Adição • Subtração • Multiplicação • Divisão 3. O usuário seleciona um operador aritmético do menu; 4. O sistema pede que o usuário abra outra imagem; 5. Uma terceira imagem resulta da aplicação do operador aritmético escolhido nas duas imagens selecionadas pelo usuário.
Fluxos alternativos	N/A
Fluxos de exceção	N/A

UC01-2: Aplicar Operadores Lógicos	
Descrição	O usuário seleciona uma das opções do menu ' Operadores Lógicos ' do software para aplicá-la à imagem de sua escolha;
Atores	Usuário
Pré-condições	O usuário deverá ter aberto uma imagem de sua escolha;
Pós-condições	Após o fim normal deste caso de uso, a imagem deverá ter sido modificada com as configurações conseqüentes do operador lógico selecionado.
Fluxo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. O fluxo principal se inicia quando o usuário entra no sistema, abre uma imagem e clica no menu 'Operadores Lógicos'; 2. O sistema apresenta as opções do menu: <ul style="list-style-type: none"> • AND • OR • XOR 3. O usuário seleciona um operador lógico do menu;

	<p>4. O sistema pede que o usuário abra outra imagem;</p> <p>5. Uma terceira imagem resulta da aplicação do operador lógico escolhido nas duas imagens selecionadas pelo usuário.</p>
Fluxos alternativos	N/A
Fluxos de exceção	N/A

UC01-3: Aplicar Morfologia Matemática

Descrição	O usuário seleciona uma das opções do menu ' Morfologia Matemática ' do software para aplicá-la à imagem de sua escolha;
Atores	Usuário
Pré-condições	O usuário deverá ter aberto uma imagem de sua escolha;
Pós-condições	Após o fim normal deste caso de uso, a imagem deverá ter sido modificada com as configurações conseqüentes da operação de morfologia matemática selecionada.
Fluxo Principal	<ol style="list-style-type: none"> O fluxo principal se inicia quando o usuário entra no sistema, abre uma imagem e clica no menu 'Morfologia Matemática'; O sistema apresenta as opções do menu: <ul style="list-style-type: none"> • Dilatação • Erosão • Abertura • Fechamento O usuário seleciona um operador lógico do menu; O sistema pede que o usuário abra outra imagem; Uma terceira imagem resulta da aplicação da morfologia matemática escolhida para ser aplicada nas duas imagens selecionadas pelo usuário.
Fluxos alternativos	N/A
Fluxos de exceção	N/A

UC02: Aplicar cálculos

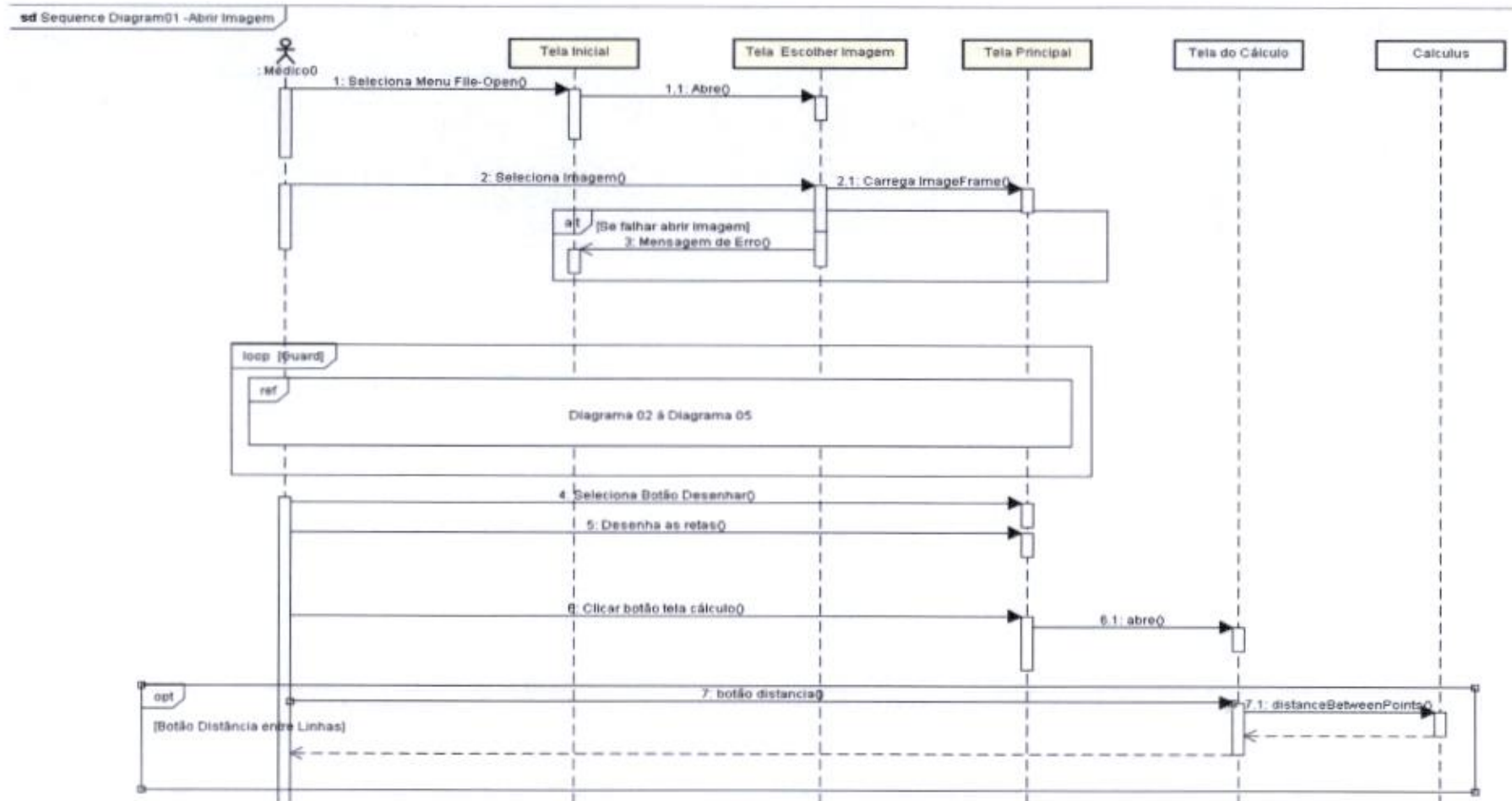
Descrição	O usuário seleciona o botão ' Cálculos ' da barra de tarefas do software para aplicá-los à imagem de sua escolha;
Atores	Usuário
Pré-condições	O usuário deverá ter aberto uma imagem de sua escolha e

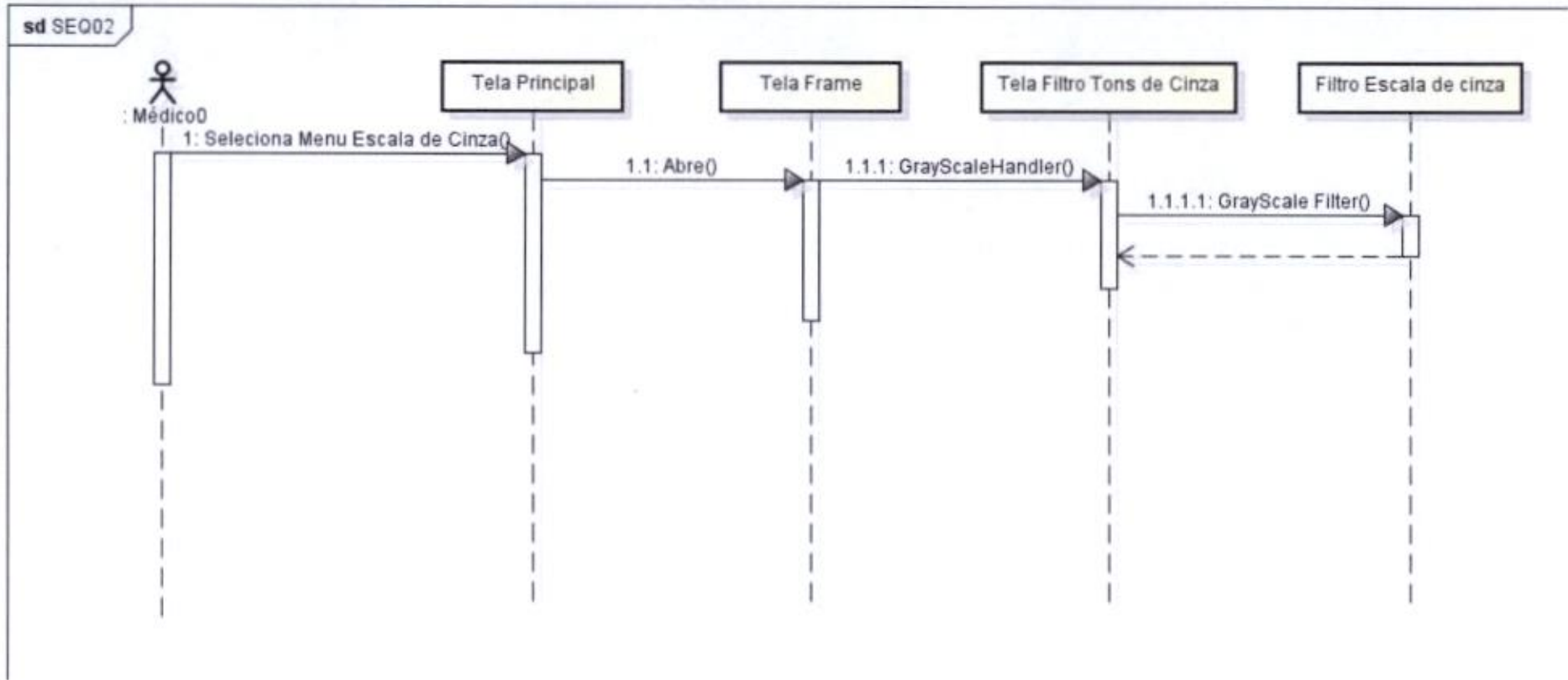
	realizado o caso de uso UC02-1;
Pós-condições	Após o fim normal deste caso de uso, o sistema retornará ao usuário os resultados do cálculo selecionado.
Fluxo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. O fluxo principal se inicia quando o usuário entra no sistema, abre uma imagem, desenha as linhas a partir do caso de uso UC05 e clica no menu 'Cálculos'; 2. O usuário selecione as linhas com que gostaria de realizar os cálculos. O sistema apresenta as opções do menu: <ul style="list-style-type: none"> • Distância entre as linhas • Ângulo entre as linhas 3. O usuário seleciona um cálculo. 4. O sistema retornará ao usuário os resultados do cálculo selecionado.
Fluxos alternativos	N/A
Fluxos de exceção	N/A
Pontos de extensão	UC2-1

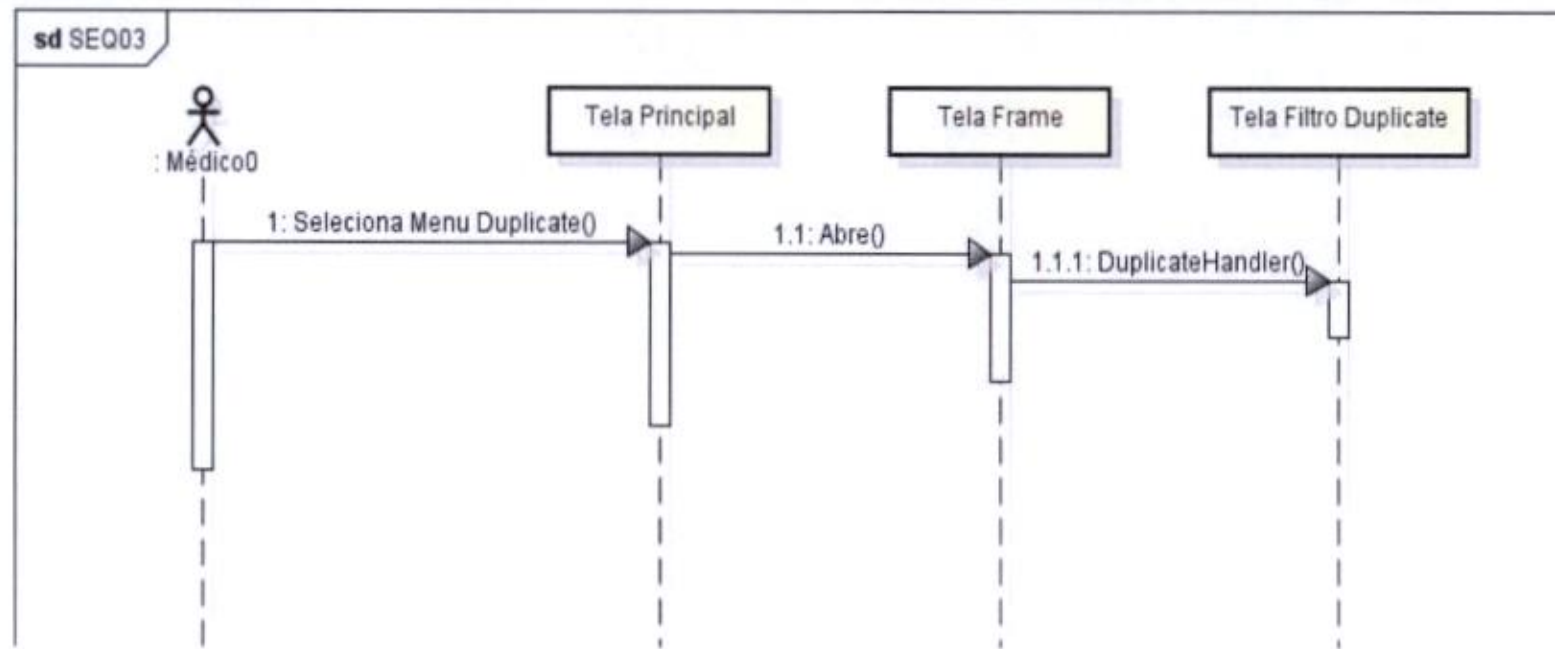
UC02-1: Desenhar linhas

Descrição	O usuário clica no botão ' Desenhar ' da barra de tarefas para poder aplicar linhas coloridas e numeradas na imagem;
Atores	Usuário
Pré-condições	O usuário deverá ter aberto uma imagem de sua escolha;
Pós-condições	Após o fim normal deste caso de uso, a imagem deverá obter as linhas criadas pelo usuário a fim de auxiliar na aplicação dos cálculos posteriormente.
Fluxo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. O fluxo principal se inicia quando o usuário entra no sistema, abre uma imagem e clica no botão 'Desenhar'; 2. Ao clicar na imagem, linhas numeradas e coloridas aparecerão para o usuário posicioná-las da forma que achar necessário. 3. Ao finalizar a criação das linhas, o usuário clica novamente no botão 'Desenhar' para desativar a criação das linhas
Fluxos alternativos	N/A
Fluxos de exceção	N/A

APÊNDICE I – DIAGRAMAS DE SEQUÊNCIA







sd SEQ04

