



Intelligent Sensing Anywhere



Centro Cirúrgico de Coimbra

WIA-DM Decision Support System in Ophthalmology based on Clinical Workflow and Data Mining Techniques

**WIA-DM
Sistema de Suporte à Decisão em Oftalmologia
baseado em técnicas de Workflow
Clínico e Data Mining**

Final Project Report

Version 1.0

Armanda Santos – nº 501022507

Coimbra, 2th of July 2007



**Physics Department
Faculty of Sciences and Technology
University of Coimbra**

To my mother
for the strength and courage
she always gave me!

Revisions

Version	Author	Description	Date
v0.1	Armanda Santos	Document Creation: initial Version	18/06/2007
v0.2	Armanda Santos	Document continuation and rearrangement.	28/06/2007
v0.3	Armanda Santos	Document continuation after ISA Coordinator's first revision.	29/06/2007
v1.0	Armanda Santos	Document conclusion after ISA Coordinator's last revision.	02/07/2007

Abstract

This report describes the development of final course project entitled “*WIA-DM: Decision Support System in Ophthalmology based on Clinical Workflow and Data Mining Techniques*”, which was integrated in the course of Biomedical Engineering of the Faculty of Sciences and Technology of the University of Coimbra, in a partnership with ISA and CCC. Although the project was developed by three students, the present report describes the tasks performed by the student Armanda Santos.

The project’s main purpose was to develop a diagnosis support system of macular diseases, based on the vast experience of ophthalmologists at CCC.

This system was adapted to the CCC, but also aiming at the creation of an autonomous product. For that purpose we studied thoroughly the workflow of entities involved in the CCC clinical processes, equipments’ availability, examinations’ data fluxes, the existence of computer applications and information sharing and accessibility.

On a second stage, we planned and developed a software application comprising two modules: one that supports the acquisition of examinations’ results from the equipment OCT-SLO and another one that provides clinical patients’ data management, both supported by a clinical central database.

In order to extract images’ characteristics that provide a form of diagnosis an image processing module was developed and integrated in the application. It allows automatic analysis of B-scan images given by OCT-SLO equipment. We developed algorithms that allow the acquisition of information concerning retina thickness and the presence of macular diseases such as retinal serous detachment, oedemas or macular hole. When applied to large quantities of images, they have a good sensitivity degree.

Consequently, this system not only records the patients’ clinical data but it also enables the acquisition of the OCT-SLO examinations’ results and the execution of an automatic analysis of these data, providing pre-diagnosis information. Thus, it converges to a powerful computer assisted diagnosis system, supported by Electronic Patient Record (EPR).

We intend this project to be continued in the future. We foresee the integration of the application in other medical specialities and in the software of administrative management in order to extract useful information by using data mining. This will allow not only to predict and control the settlement and evolution of diseases, but also to define more advantageous therapeutic strategies and decrease treatment expenses.

Keywords

Diagnosis Support System, Electronic Patient Record, Computer assisted diagnosis, Macular diseases Image Processing, Data Mining, Clinical Workflow

Resumo

O presente relatório de projecto descreve o desenvolvimento do projecto “WIA-DM: Sistema de Suporte à Decisão em Oftalmologia baseado em técnicas de workflow e data mining aplicado em dados clínicos”, integrado no curso de Engenharia Biomédica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, em parceria com a ISA e o CCC. O projecto foi desenvolvido por três alunos, sendo neste relatório evidenciadas as tarefas da aluna Armanda Santos.

A ideia principal do projecto é o desenvolvimento de um sistema de suporte ao diagnóstico de patologias maculares, baseado na larga experiência dos oftalmologistas do CCC.

O sistema foi desenvolvido adaptado ao CCC, mas também pensando na criação de um produto autónomo. Para tal, foram realizados estudos aprofundados do workflow de entidades envolvidas no processo clínico do CCC, equipamentos disponíveis para realização de exames oculares, fluxos de informação de exames, patologias maculares, aplicações informáticas existentes e partilha e acessibilidade de informação.

Posteriormente, foi planeada e desenvolvida a aplicação, a qual possui dois módulos, um de aquisição de resultados de exames do equipamento OCT-SLO e outro de gestão de informação clínica dos doentes, ambos suportados por uma base de dados clínica central.

Com vista à extracção de características de imagens que permitam formular um diagnóstico, foi desenvolvido um módulo de processamento de imagem, o qual foi integrado na aplicação. Este permite analisar automaticamente as imagens do exame do tipo B-scan realizado no equipamento de OCT-SLO. Foram desenvolvidos algoritmos capazes de obter informação da espessura da retina e presença de patologias maculares, como descolamento seroso da retina, oedema e buraco macular. Quando aplicados num grande número de imagens, estes possuem um bom grau de sensibilidade.

Como resultado, o sistema desenvolvido permite, para além de guardar dados clínicos dos doentes, adquirir resultados de exames de OCT-SLO e sua análise inteligente devolvendo informação de pré-diagnóstico. Converte assim para um sistema poderoso de diagnóstico assistido por computador, suportado pelo registo clínico electrónico.

Este projecto presume a sua continuação no futuro. Prevê-se a integração da aplicação com informação de outras especialidades médicas e com o software de gestão administrativa, com a vista a extracção de informação útil, através de data mining. Este permitirá, para além de prever e controlar o aparecimento e evolução de doenças, definir estratégias terapêuticas mais rentáveis, diminuindo assim os custos de tratamento.

Palavras-Chave

Sistema de Suporte ao Diagnóstico, Registo Clínico Electrónico, Diagnóstico Assistido por computador, Patologias maculares, Processamento de Imagem, Mineração de Dados
Workflow Clínico

Acknowledgments

Reaching the end of this journey, I want to thank to all the people that accompanied me during this time.

To Dr. António Travassos, Eng.º José Basílio Simões, Eng.º Jorge Saraiva and Prof. Carlos Correia for the opportunity of embracing this project, for their availability to help all along and for the way they always encouraged and motivated us, showing recognition of our work and efforts.

To Eng.º José Basílio Simões, Eng.º Jorge Saraiva and Eng.^a Lara Osório, for the accompaniment during this period and the way they integrated us at ISA.

To Eng.^a Lara Osório for the attendance, the cooperation, the patience and the availability demonstrated during this time. Thank you for the support, recommendations and suggestions!

To Dr. António Travassos, Dr. Rui Proença, Eng.º Robert van Velze, Nurse Odete Videira and Nuno Videira for the warm wellcome, the patience and the cooperation demonstrated.

To the Physics Department's Professors, Prof. Carlos Correia and Prof. Requicha Ferreira for the multidisciplinary approach they provided to this project.

To my colleagues, Edgar Ferreira and Paulo Barbeiro, for the cooperation and good working environment.

To all the people at ISA that helped our integration in any way and contributed to this project's good running.

To my family, for the motivation and confidence they demonstrated during this important stage in my life: they gave me the strength to move on.

To Ruben Ferreira for the understanding, patience, friendship and love that kept me going all along.

To my friends who always gave me unconditional support and showed patience at many times.

Finally, to all people who contributed to this project's success in any way!

Thanks to all!

Index

REVISIONS.....	II
ABSTRACT	III
RESUMO	IV
ACKNOWLEDGMENTS	V
INDEX OF TABLES	VIII
INDEX OF ILLUSTRATIONS	IX
ACRONYMS AND DEFINITIONS.....	10
I. INTRODUCTION	1
I.1. DOMAIN	1
I.2. AUDIENCE.....	1
I.3. OBJECTIVES.....	1
I.4. PROBLEM ANALYSIS.....	1
I.4.1. <i>CCC Clinical Study</i>	1
I.4.2. <i>Data Mining Study</i>	2
I.4.3. <i>State of the Art</i>	2
I.5. DOCUMENT STRUCTURE.....	3
II. PROJECT MANAGEMENT	4
II.1. PROJECT TEAM.....	4
II.2. TASK ASSIGNMENT.....	4
II.3. PROJECT SUPERVISING.....	5
II.3.1. <i>Engineering Supervising (ISA)</i>	5
II.3.2. <i>Medical Supervising (CCC)</i>	5
II.4. TASKS TIMETABLE.....	5
II.4.1. <i>Initial tasks Timetable</i>	5
II.4.2. <i>Final Tasks Timetable</i>	6
III. CLINICAL PROCESS STUDY.....	7
III.1. CLINICAL PROCESS WORKFLOW.....	7
III.1.1. <i>Physician Workflow</i>	8
III.1.2. <i>Nurse Workflow</i>	8
III.2. DIAGNOSIS WORKFLOW.....	9
III.3. EQUIPMENTS.....	10
IV. OCULAR DISEASES STUDY	13
IV.1. PHYSIOLOGIC SUPPORT.....	13
IV.2. RETINOPATHIES.....	15
IV.3. OCT-SLO DETECTABLE DISEASES.....	17
IV.4. INTERNATIONAL CLASSIFICATION OF DISEASES (ICD 10).....	18
V. SOFTWARE DEVELOPMENT	20
V.1. ARCHITECTURE.....	20
V.1.1. <i>Clinical Management</i>	20
V.1.2. <i>OCT-SLO Examinations Importation</i>	23
V.1.3. <i>Database Access Layer</i>	24
V.1.4. <i>Architecture Advantages</i>	25
V.1.5. <i>Requirements</i>	25
V.2. DATABASE ACCESS LAYER.....	26
V.2.1. <i>Database Model</i>	26
V.2.2. <i>Database Access Layer</i>	29
V.2.3. <i>Security</i>	30
V.2.4. <i>Technologies and Tools</i>	31
V.3. SOFTWARE TESTS.....	32

V.3.1. <i>Unitary Tests</i>	32
V.3.2. <i>System Tests</i>	32
VI. IMAGE PROCESSING.....	33
VI.1. OVERVIEW	33
VI.1.1. <i>Normal B-scan Description</i>	33
VI.1.2. <i>Description of B-scan with Pathology</i>	34
VI.2. REQUIREMENTS.....	35
VI.2.1. <i>Image Pre-Processing</i>	35
VI.2.2. <i>Connected Pixels Labelling</i>	35
VI.2.3. <i>Extract the required Lesions</i>	35
VI.3. IMAGE PROCESSING IMPLEMENTATION	36
VI.3.1. <i>Serous Detachment Detection</i>	36
VI.3.2. <i>Oedema Detection</i>	39
VI.3.3. <i>Macular Hole Detection</i>	42
VI.4. ALGORITHM TESTS.....	45
VII. DOCUMENT REFERENCES.....	46
VII.1. TIMETABLE I	46
VII.2. TIMETABLE II	46
VII.3. TIMETABLE III	46
VII.4. TIMETABLE IV	46
VII.5. TIMETABLE V	46
VII.6. CCC CLINICAL PROCESS SPECIFICATION	46
VII.7. PROJECT SPECIFICATION.....	47
VII.8. PROJECT PRESENTATION AT CCC.....	47
VII.9. DIAGNOSIS PHASES SPECIFICATION	47
VII.10. RETINA CHARACTERISTICS SPECIFICATION IN IMAGES OF OCT	47
VII.11. RETINOPATHIES CHARACTERISTICS SPECIFICATION	47
VII.12. FIRST CURRICULAR PRESENTATION	47
VII.13. METHODS FOR EXTRACTION CHARACTERISTICS IN OCT IMAGE.....	47
VII.14. FINAL CURRICULAR PRESENTATION	47
VII.15. SOFTWARE TESTS SPECIFICATION.....	48
VII.16. SOFTWARE SPECIFICATION: DATABASE ACCESS LAYER.....	48
VII.17. RETINA CHARACTERISTICS DETECTION IN OCT-SLO IMAGES: SEROUS DETACHMENT, OEDEMA AND MACULAR HOLE	48
VIII. CONCLUSIONS AND FUTURE PURPOSES	49
VIII.1. CONCLUSIONS	49
VIII.2. CHALLENGES	50
VIII.3. FORMATION	50
VIII.4. FUTURE PURPOSES.....	50
IX. REFERENCES	52
X. ATTACHMENTS	53

Index of Tables

TABLE 1 - PROJECT TEAM DESCRIPTION.....	4
TABLE 2 - TASKS DESCRIPTION OF STUDENT ARMANDA SANTOS.	4
TABLE 3 - EQUIPMENTS DESCRIPTION.	12
TABLE 4 - RETINAL BARRIERS DESCRIPTION.....	14
TABLE 5 – COTTON-WOOL EXUDATES CHARACTERISTICS. ERRO! A ORIGEM DA REFERÊNCIA NÃO FOI ENCONTRADA.].....	15
TABLE 6 - OEDEMAS CHARACTERISTICS.	15
TABLE 7 - HARD EXUDATES CHARACTERISTICS.....	16
TABLE 8 - MICROANEURYSMS CHARACTERISTICS.	16
TABLE 9 - HAEMORRHAGES CHARACTERISTICS.....	16
TABLE 10 - MACULAR AND LAMELAR HOLES CHARACTERISTICS.	17
TABLE 11 - OCT-SLO DETECTABLE DISEASES AND MEASURABLE CHARACTERISTICS.	18
TABLE 12 - DESCRIPTION OF SUBCATEGORIES OF “DISEASES OF EYE AND ADNEXA”. [11] [12].....	19
TABLE 13 - DESCRIPTION OF CLINICAL MANAGEMENT MODULE’S REQUIREMENTS AND FUNCTIONALITIES.....	25
TABLE 14 – DESCRIPTION OF OCT-SLO ACQUISITION MODULE’S REQUIREMENTS AND FUNCTIONALITIES.	26
TABLE 15 - DESCRIPTION OF DATABASE REQUIREMENTS AND FUNCTIONALITIES.	26
TABLE 16- DATABASE ENTITIES’ DESCRIPTION.	27
TABLE 17 - STORED PROCEDURES SPECIFICATION.....	28
TABLE 18 - TABLE VALUED FUNCTIONS DESCRIPTION.	28
TABLE 19 - ALGORITHMS REQUIREMENTS SPECIFICATION.	36
TABLE 20 - ALGORITHMS PROCESSING TIME.	45
TABLE 21 - ALGORITHMS GENERALIZATION EFFICIENCY.	45

Index of Illustrations

ILLUSTRATION 1 - GANT DIAGRAM OF PROJECT'S SCHEDULE	6
ILLUSTRATION 2 - CCC CLINICAL WORKFLOW	7
ILLUSTRATION 3 - PHYSICIAN DATA WORKFLOW	8
ILLUSTRATION 4 - NURSE DATA WORKFLOW	9
ILLUSTRATION 5 - DIAGNOSIS PHASES DIAGRAM	10
ILLUSTRATION 6 - B-SCAN EXAMINATION IMAGES VARIABILITY: A – NORMAL RETINA. B – MACULAR HOLE WITH RETINAL DETACHMENT (HIGH MYOPE). C – EPIRETINIAN MEMBRANE. D – RPE DETACHMENT	10
ILLUSTRATION 7 - EYE DIAGRAM. [8]	13
ILLUSTRATION 8 – DIAGRAM OF RETINA LAYERS.	13
ILLUSTRATION 9 - EYE BLOOD VESSELS	14
ILLUSTRATION 10 - COTTON-WOOL EXUDATES IN RETINOGRAPHY	15
ILLUSTRATION 11 - OEDEMAS IN ANGIOGRAPHY	15
ILLUSTRATION 12 - OEDEMAS IN OCT	15
ILLUSTRATION 13 - HARD EXUDATES IN RETINOGRAPHY	16
ILLUSTRATION 14 - MICROANEURYSMS	16
ILLUSTRATION 15 - HAEMORRHAGE IN RETINOGRAPHY	16
ILLUSTRATION 16 - HAEMORRHAGE IN ANGIOGRAPHY	16
ILLUSTRATION 17 - LAMELAR HOLE IN OCT	17
ILLUSTRATION 18 - MACULAR HOLE IN OCT	17
ILLUSTRATION 19 - MACULAR HOLE	17
ILLUSTRATION 20 - OEDEMAS	17
ILLUSTRATION 21 - RETINAL DETACHMENT	18
ILLUSTRATION 22 - SEROUS DETACHMENT	18
ILLUSTRATION 23 - RPE DETACHMENT	18
ILLUSTRATION 24 - IMPLEMENTED SOFTWARE ARCHITECTURE	20
ILLUSTRATION 25 - CLINICAL MANAGEMENT MODULE'S INITIAL WINDOW – DESCRIPTION OF FUNCTIONALITIES	21
ILLUSTRATION 26 - CLINICAL MANAGEMENT MODULE "PATIENT'S CLINICAL DATA" – DESCRIPTION OF FUNCTIONALITIES	21
ILLUSTRATION 27 - CLINICAL MANAGEMENT MODULE "IMAGE PROCESSING" – DESCRIPTION OF WINDOW'S FUNCTIONALITIES	22
ILLUSTRATION 28 - CLINICAL MANAGEMENT MODULE "EXAMINATION REQUESTS TAB" – DESCRIPTION OF FUNCTIONALITIES	22
ILLUSTRATION 29 - CLINICAL MANAGEMENT MODULE "CONFIGURE EXAMINATIONS REQUESTS" – DESCRIPTION OF FUNCTIONALITIES	23
ILLUSTRATION 30 - OCT-SLO ACQUISITION MODULE'S FIRST WINDOW – DESCRIPTION OF FUNCTIONALITIES	23
ILLUSTRATION 31 - OCT-SLO ACQUISITION MODULE'S SECOND WINDOW – DESCRIPTION OF FUNCTIONALITIES	24
ILLUSTRATION 32 - OCT-SLO ACQUISITION MODULE "EXAMINATION REPORT" FUNCTIONALITIES DESCRIPTION	24
ILLUSTRATION 33 - TABLE <i>PARAMETER</i> WITH EAV MODEL	29
ILLUSTRATION 34 - DATABASE SCHEMA EXAMPLE	29
ILLUSTRATION 35 - PATIENT CLASS DIAGRAM	30
ILLUSTRATION 36 - EYE DIAGRAM WITH B-SCAN INDICATION. [16]	33
ILLUSTRATION 37 - DIAGRAM WITH INDICATION OF B-SCAN THROUGH VARIOUS ANGLES. [18]	33
ILLUSTRATION 38 - OCT-SLO RESOLUTION DIAGRAM. [17]	33
ILLUSTRATION 39 - NORMAL B-SCAN IMAGE	34
ILLUSTRATION 40 - B-SCAN IMAGE WITH OEDEMAS	34
ILLUSTRATION 41 - B-SCAN IMAGE WITH SEROUS DETACHMENT	34
ILLUSTRATION 42 - RPE AND RAL BOUNDARIES REPRESENTATION	34
ILLUSTRATION 43 - COMPUTED PARAMETERS DIAGRAM	35
ILLUSTRATION 44 - CONNECTED PIXELS LABELLING ALGORITHM WORKING REPRESENTATION	35
ILLUSTRATION 45 - IMAGE WITH AN ARTEFACT RESULTING FROM EXAMINATION ACQUISITION	37
ILLUSTRATION 46 - DETECTION OF SEROUS DETACHMENT: PRE-PROCESSING STEPS	37
ILLUSTRATION 47 - FILTER SEROUS DETACHMENT BY RETINAL THICKNESS - THICKNESS MEASUREMENTS EXEMPLIFICATION	38
ILLUSTRATION 48 - SEROUS DETACHMENT CLASSIFICATION OF STEPS	39
ILLUSTRATION 49 - SEROUS DETACHMENT AREA	39
ILLUSTRATION 50 - SEROUS DETACHMENT BOUNDARY AND MEASUREMENTS	39
ILLUSTRATION 51 - OEDEMA DETECTION PRE-PROCESSING STEPS	40
ILLUSTRATION 52 - OEDEMAs CLASSIFICATION STEPS	41
ILLUSTRATION 53 - OEDEMAs AREAS	42
ILLUSTRATION 54 - OEDEMAs BOUNDARIES AND AN OEDEMA OEDEMA'S MEASUREMENTS	42
ILLUSTRATION 55 - RAL DETECTION: HOLE COLUMN VALUES ILLUSTRATION	42
ILLUSTRATION 56 - OEDEMAs DETECTION PRE-PROCESSING STEPS	43
ILLUSTRATION 57 - MACULAR HOLE'S CLASSIFICATION STEPS	44
ILLUSTRATION 58 - MACULAR HOLE AREA	44
ILLUSTRATION 59 - MACULAR HOLE BOUNDARIES AND MEASURES	44
ILLUSTRATION 60 - GENERAL ARCHITECTURE WITH FUTURE PURPOSES	51

Acronyms and Definitions

Acronym	Definition
API	Application Programming Interface
ARMD	Age Related Macular Degeneration
BRB	Blood Retinal Barrier
CCC	Centro Cirúrgico de Coimbra
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
EAV	Entity-Attribute-Value
EPR	Electronic Patient Record
FCA	Free and Clarified Agreement
ICD 10	International Classification of Diseases 10
ISA	Intelligent Sensing Anywhere
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
NFL	Nerve Fibre Layer
OD	Optic Disc
RAL	Retinal Anterior Limit
RDBMS	Relational Database Management System
RPE	Retinal Pigmented Epithelium
RPE	Retinal Pigmented Epithelium
SHA	Secure Hash Algorithm
SP	Stored Procedure
SQL	Structured Query Language
WHO	World Health Organization

I. Introduction

I.1. Domain

The project WIA-DM is integrated in the Course of Biomedical Engineering of the Faculty of Sciences and Technology of the University of Coimbra. It was started on the 28th of August, 2006 and its ending matches the submission date of this document: July 2nd, 2007.

I.2. Audience

The target public of this document is formed by members of ISA and CCC, coordinators, physicians and other jury members. This document was structured in order to simplify the context and facilitate the analysis and assessment of the project and to make it accessible to anyone interested in the subject.

I.3. Objectives

This project's main goal is to develop an intelligent system of support for ocular diseases' diagnosis, providing powerful tools that contribute to computer assisted diagnosis, thereby simplifying and optimizing physicians' work.

With that in view, we tried to achieve the following goals:

- To optimize the system of clinical management that exists at CCC through the implementation of an integrated management system. This new system should allow for the communication between equipments used in the examinations and both an application of clinical process management and an application of administrative management;
- To create a central database that can store all clinical data and that might be connected to all the equipments as well as to the applications of clinical process management and administrative management;
- To implement methods of data mining in order to support diagnoses and optimize processes;
- To make available an application of clinical management that is intuitive and appealing to health professionals.

I.4. Problem Analysis

I.4.1. CCC Clinical Study

In order to complete this task we paid several visits to CCC to study the clinical process, including clinical workflow, persons and processes involved, information fluxes and available equipments.

Regarding RPE, the situation of the CCC clinic is very complex. On the one hand, there are different and disconnected computer systems causing one patient to have to be registered twice. On the other hand, there are several distinct equipments, each one with a different and singular output, having no connection to the central server. Only one of these equipments - OCT-SLO - is connected to the server and exports the examinations' results to it. However, this form of export is very rudimentary, producing mere "print screens" of the resulting images and, therefore, losing their quality.

In other words, there isn't a consistent system having all information organized and accessible to all health professionals, physicians and technicians.

I.4.2. Data Mining Study

Data mining has been defined as the science of extracting implicit, previously unknown and potentially useful information from large data sets or databases. It involves sorting through large amounts of data, picking out relevant information, like hypotheses and repeated information patterns. It was traditionally used by businessmen such as financial analysts, but it has been increasingly adopted by biological scientists to extract information.[5]

In medicine, applying data mining implies eliminating clinical data subjectivity and organizing large amounts of data in a single accessible and well-structured database. The process of data mining consists of three stages:

- (1) Initial exploration;
- (2) Model building or pattern identification with validation;
- (3) Application of the model to new data in order to generate predictions.

Neural networks is one of the data mining techniques that we used in the project. These can learn from existing data like the human cognitive system and neurological functions of the brain do, being capable of predicting new observations. In this case, they could be helpful for the physician during the process of diagnosis.

I.4.3. State of the Art

In the domain of intelligent assistance systems in ophthalmologic diseases' diagnosis the existing systems are rudimentary or incomplete.

One of these systems identifies the macular disease from patterns of electroretinography signals using artificial neural networks methods. The classification of this system is highly accurate but the results are only "healthy" and "diseased". [6]

There is another system that automatically detects ocular diseases given a description of a retinal image. These retina analyses are learned by the system for inference of the correct disease. The disadvantage of this system is that it has to receive a description of a retinal image. [7]

Another developed ophthalmological system allows the automatic measurement of ocular refraction errors (for example: astigmatism) using support vector machines (SVM), neural networks and Principal Component Analysis (PCA) for image processing in images resulting from an equipment that measures refractive anomalies. [9]

In image processing, there is another system that can do automatic process of OCT-SLO B-scan images, doing retina layers segmentation, based on retinal layers reflectance analysis. However, it only really works on B-scan images without anomaly. [15]

We took some of the ideas for our computational system from these articles but we tried to devise a more advantageous one, adapted to the CCC's clinical situation.

Our application can not only process an isolated image, but it also acquires automatically the entirely OCT-SLO examination while it is being performed, saving it in a clinical database that is available instantaneously to the physician.

The system provides information such as retina thickness, detected lesions (macular hole, oedema, serous detachment) and its real dimensions, width, height, area and EPR relative position. Our algorithms have relatively good success rates, between 80% and 99%. Therefore, the physician can pick an image, process it and use this information to formulate a diagnosis.

I.5. Document Structure

This document was structured in eight different sections.

In the first section - *Introduction* - there is a description of the project's domain and goals, problem analysis (clinical, data mining and state of the art studies), the target public of this report and the document's structure.

In the second section - *Project Management* - there is an explanation on how the project management was made, how the team was formed and tasks were assigned and scheduled between the team members, and on the coordination by the engineering and medical elements.

The third section - *Clinical Process Study* - provides a description of the CCC clinical process, highlighting clinical workflow, diagnosis' phases diagram, equipments and processes.

Section four - *Ocular Diseases Study* - explains the main features in the study of ocular diseases, with special emphasis on retinopathies detectable by the examination of OCT-SLO. It was focused on the International Classification of Diseases (ICD 10), which is used in our software application to save and categorize ocular diseases in the database.

The fifth section - *Software Development* - concerns the software architecture and software modules' requirements and functionalities, providing a detailed description of the database creation and database access from the application. There is also a description of the software tests performed after the development of the application and the integration of modules.

The sixth section - *Image Processing* - focuses on normal and pathologic B-scan images and on the algorithms created to detect some characteristics in images from OCT-SLO B-scan, like serous detachment, oedema and macular hole.

In the seventh section - *Document References* - there is a detailed list of the documents used during the project's development, with reference to their localization in the Appendices.

Section eight - *Conclusions and Future Purposes* - provides a project overview, with mention to the difficulties and challenges found during the project's development. In addition, there is a reference to future possibilities for the project's continuation.

II. Project Management

In this section, there is a description of the project's team, of the tasks' distribution between the team's elements, of the medical and engineering coordination as well as of the tasks' timetable.

II.1. Project Team

This project was developed by three students, Armanda Santos, Edgar Ferreira and Paulo Barbeiro, and was supervised by Eng. Jorge Saraiva at ISA – Intelligent Sensing Anywhere and Dr. António Travassos at CCC – Centro Cirúrgico de Coimbra.

Several persons gave their positive contribute to this project, namely the ones in the following table:

Name	Contribute	Contact
Armanda Santos	Student	santos.amn@gmail.com
Edgar Ferreira	Student	edgar.bajouca@gmail.com
Paulo Barbeiro	Student	paulobarbeiro@gmail.com
Eng. Jorge Saraiva	Supervisor	jsaraiva@isa.pt
Dr. António Travassos	Supervisor	info@ccci.pt
Dr. Rui Proença	Clinical Collaborator	+351 239 802 705
Eng. Lara Osório	Engineering Collaborator	losorio@isa.pt
Prof. José Basílio Simões	Engineering Collaborator	jbasilio@isa.pt
Prof. Carlos Correia	Engineering Collaborator	correia@lei.fis.uc.pt
Prof. Luís Requicha Ferreira	Engineering Collaborator	requicha@ci.uc.pt
Prof. Jorge Landeck	Engineering Collaborator	jlandeck@isa.pt

Table 1 - Project team description.

II.2. Task Assignment

The project was divided into different tasks by the students in a balanced way. The tasks assigned to the student Armanda Santos are summarized in the table below:

Module	Task description implemented by Armanda Santos
<i>Clinic Process Study</i>	<ul style="list-style-type: none"> Workflow models study Equipments study
<i>Diseases Study</i>	<ul style="list-style-type: none"> Diseases study ICD 10 study
<i>Software Development</i>	Database <ul style="list-style-type: none"> Creation and updating database conceptual design Creation database in SQL Server 2005 Update database physical model in SQL Server 2005 Database Management Database Access Layer <ul style="list-style-type: none"> Creation of database connection from the application Creation of classes and methods development to access database information: create, delete and update data.
<i>Software Tests</i>	<ul style="list-style-type: none"> Unitary tests System tests
<i>Image Processing</i>	<ul style="list-style-type: none"> Development of algorithm Serous Detachment detection Development of algorithm Oedema detection Development of algorithm Macular Hole detection
<i>Image Processing Tests</i>	<ul style="list-style-type: none"> Processing time tests Sensitivity tests

Table 2 - Tasks description of student Armanda Santos.

II.3. Project Supervising

During the period of the project's development, there were several meetings and presentations at ISA and CCC in order to assure the project's success.

Moreover, there were two intercalary presentations of the project at the Physics Department of the University of Coimbra, with the purpose of showing the project's goals and state of development.

II.3.1. Engineering Supervising (ISA)

During the project's progress we submitted several reports with tasks' timetables specifying the individual students' tasks, in order to meet the goal of keeping coordinators informed of the project's state of development.

The students were integrated in the ISA's software development team. This team always showed availability to help overcome obstacles found during the performance of our tasks.

II.3.2. Medical Supervising (CCC)

There were several meetings at CCC during the project's development, always with the presence of most of the team's elements.

These meetings were held in order to define, coordinate, plan and evaluate the project's progression. They were planned in advance but their duration was undefined so they lasted as long as was necessary.

Since this project originated the creation of a company, *BlueWorks – Medical Experts Diagnosis Lda.*, some of these meetings dealt also with that issue.

II.4. Tasks Timetable

The tasks to be performed during the project's time span were carefully planned and tasks' timetables were defined according to that planification. The initial timetable matched the university's first semester calendar (from September to December), while the final timetable matched the final months of the second semester (from February to June).

II.4.1. Initial tasks Timetable

The tasks timetable for the initial period was updated every once in a while according to the achievement of the project's goals. Many of the tasks that were performed during this period weren't programmed on diary basis, but were given time periods to be accomplished:

- August/September – Clinical Process Specification
- September – Project Specification
- September – First Project Presentation at CCC
- September – Diagnosis Phases Specification
- October – Retina Characteristics Specification in images of OCT
- December – Retinopathies Characteristics Specification
- December – Methods for Extraction of characteristics in OCT Image

II.4.2. Final Tasks Timetable

For the final period, we made four tasks timetables in which we defined individual and diary goals to reach:

- Timetable from February 6th to February 23rd
- Timetable from February 24th to Mars 31st
- Timetable from April 1st to May 5th
- Timetable from April 23rd to Jun 2nd

In the diagram below, it follows the Gant diagram of project's schedule, with the tasks performed by the student Armanda Santos. For detailed timetable, see attachment A.

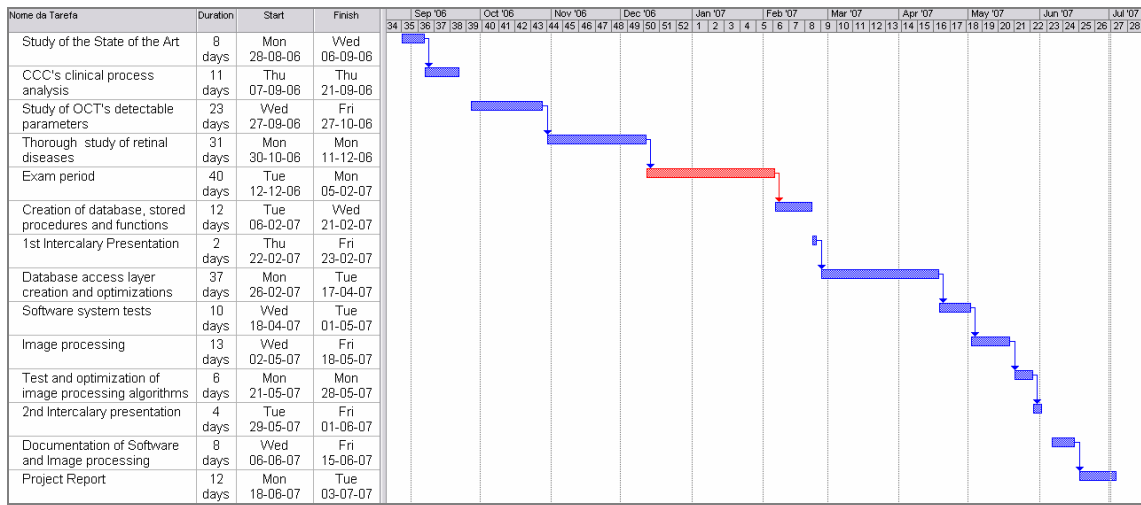


Illustration 1 - Gant diagram of project's schedule.

III. Clinical Process Study

In an early stage, we made a detailed study of the CCC’s clinical process, the computer applications that were available, the state of information sharing and accessibility, in order to understand the requirements to be implemented.

The clinical process groups diverse entities such as patients, physicians, consultations, diagnoses, examinations, vital signals’ measurement, materials, equipments and many others. The collection of those entities generates a large flux of information associated to huge data amounts.

III.1. Clinical process Workflow

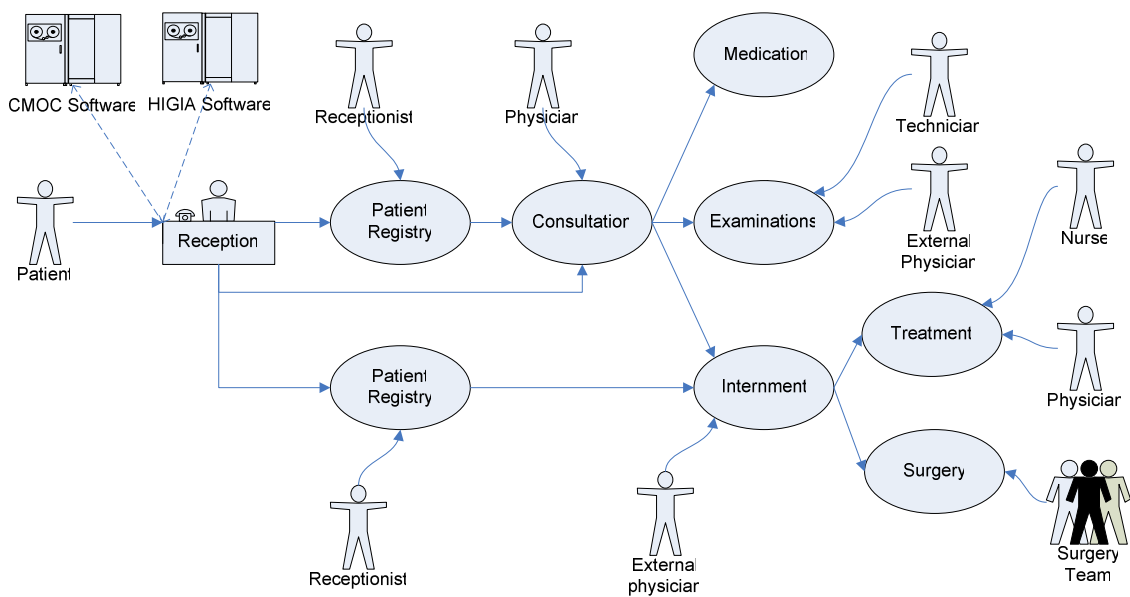


Illustration 2 - CCC Clinical workflow.

This model represents the main processes and entities, persons and software applications of the clinical process.

There are two software applications, CMOG and HIGIA, which represent two separate systems that are not connected between them. When a patient goes to a medical consultation, he is registered in CMOG, while HIGIA is used to register patients when they are redirected to surgery.

Associated to each entity, there are various processes that generate information fluxes. These entities are:

- Receptionist
- Physician
- Nurse
- Administrator

All entities of the clinical process were studied and we concluded that each entity generates different information fluxes which are seldom connected between each other.

III.1.1. Physician Workflow



Illustration 3 - Physician data workflow.

Physicians can be either clinic internal or clinic external. If a physician is a clinic internal, he has a consulting room inside the clinic where he sees his patients. If, on the other hand, a physician is external, he has an outside consulting room. The external physician can examine patients and redirect them to the clinic for admission, in case they need treatment, surgery or more examinations.

In case a surgery is necessary, the physician chooses the surgery team. The surgery team is composed by several persons, each one with a specific function. The physician who chooses the surgery team might not be part of it.

In the case of any treatment or surgery that involves risk, a form called FCA has to be filled out. (See document reference at VII.6.)

A different situation occurs when a patient needs to do an ocular test in one equipment and the physician fills out a paper which is redirected to the technician that performs the test. In this case, there isn't an automatic process of making the examination requests.

III.1.2. Nurse Workflow

Nurse data workflow comprehends the filling out of several forms during the time that patients spend at the clinic when they are interned. The information gathered in that way will then have to be copied to the HIGIA software. Thus, the work is done twice spending unnecessary time and resources.

As we have seen, all the entities referred above are involved in processes of filling out numerous forms, spending great quantities of paper to record all the information. In order to facilitate things for physicians, it is necessary to organize these data and make them readily available to all consultations and surgery events.

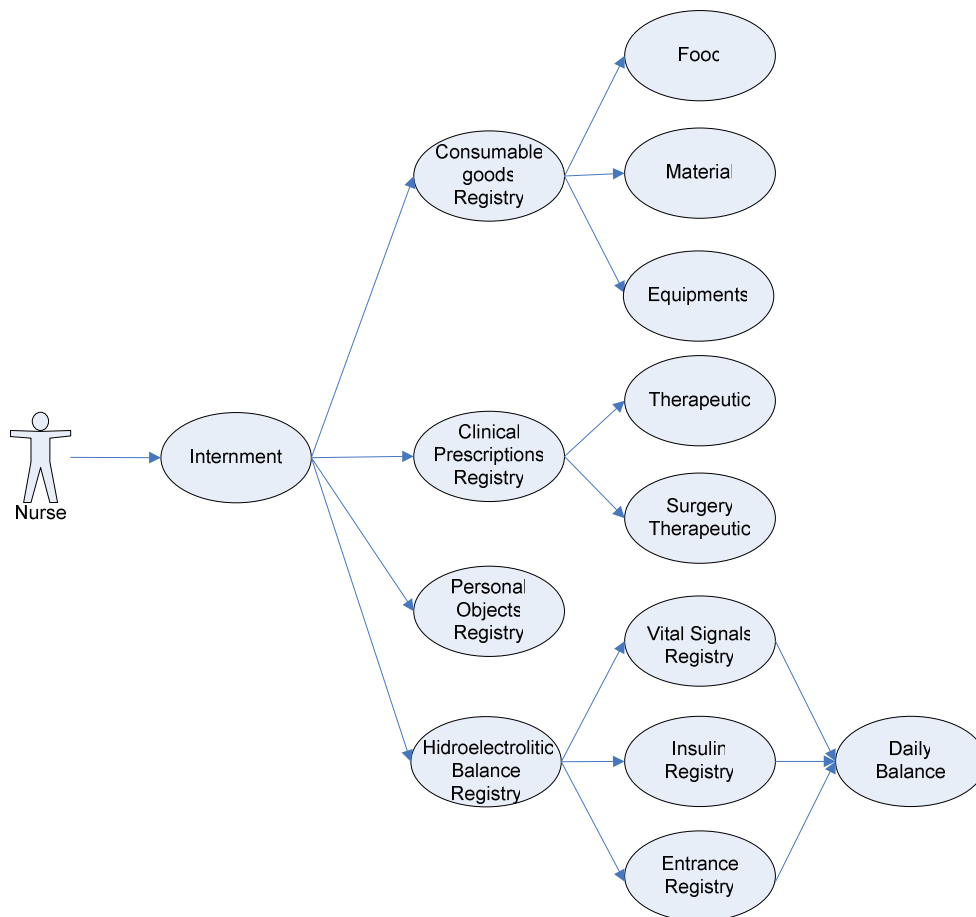


Illustration 4 - Nurse data workflow.

III.2. Diagnosis Workflow

Diagnosis process workflow also involves a lot of information management which is necessary to simplify. In the diagram below is the description of three hypothetical cases of initial symptoms (low vision, diabetes and dry eye) as well as the phases followed to define a prognosis, the examinations done and possible diagnoses.

According to the clinical history and symptoms there is a different preparation in order to perform the ocular tests in a specific sequence. Depending on whether the test result is positive or negative one can discard some hypotheses or raise new ones. After obtaining a prognosis, a series of ocular tests is performed in specific equipments to confirm it.

Making a diagnosis is a process that involves some degree of subjectivity since opinions might vary according to the physician and his/her former clinical experience. Even the process of analysing images is rather complex due to the subjectivity of selecting the characteristics to be examined.

In order to catalogue all the events involved in the process of determining a diagnosis, it is necessary to remove this subjectivity and create simple, objective relations.

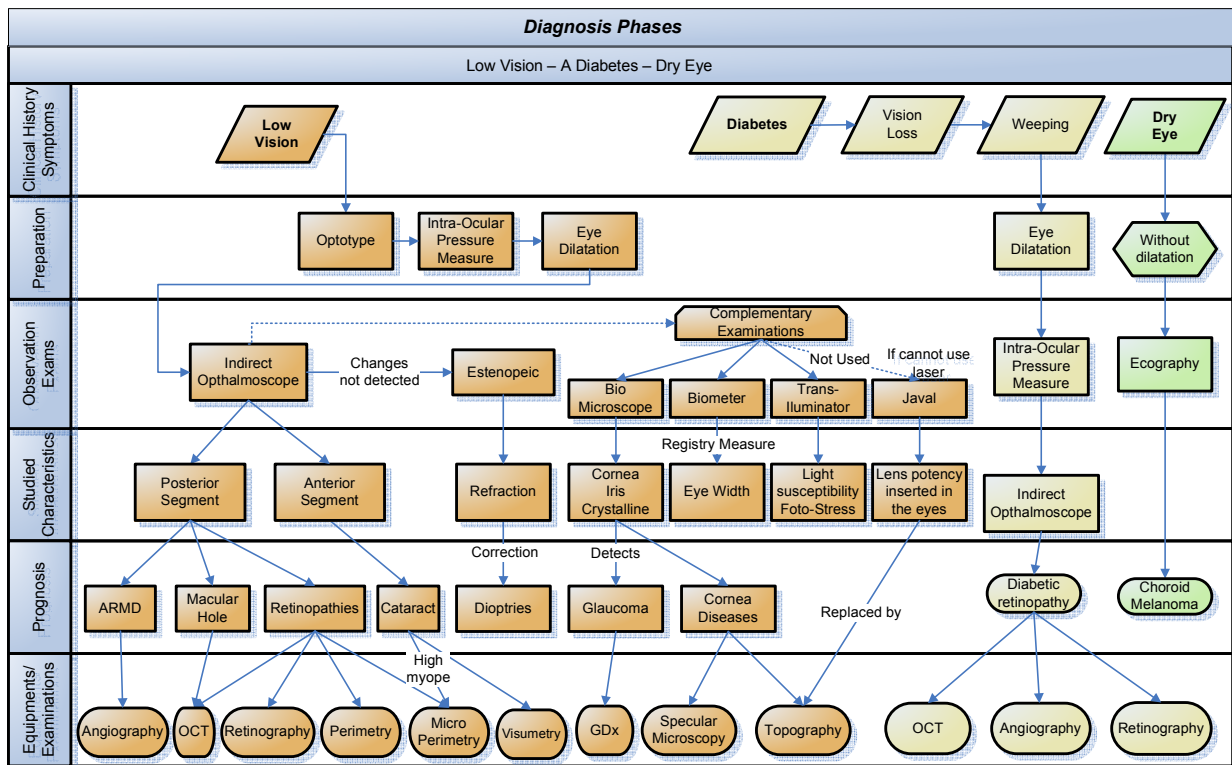


Illustration 5 - Diagnosis phases diagram.

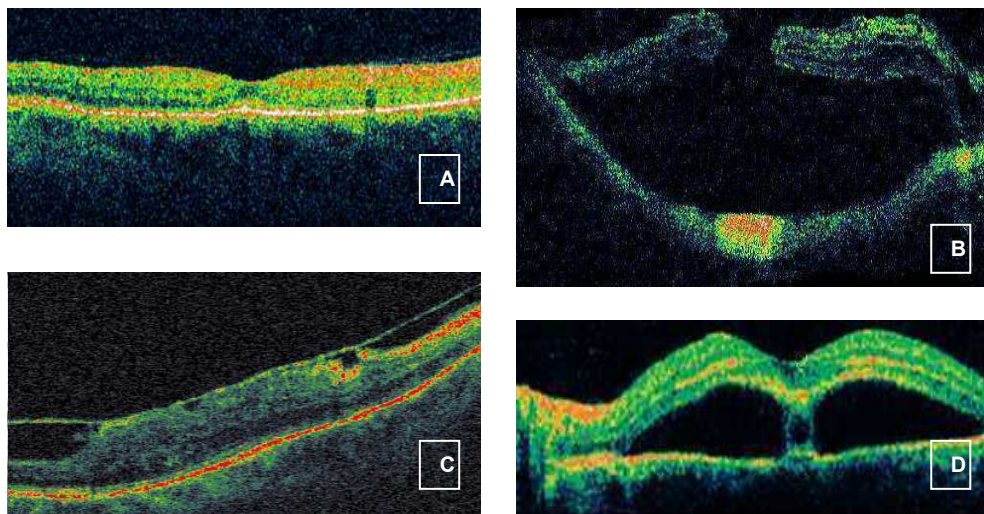


Illustration 6 - B-scan examination images variability: A – Normal retina. B – Macular hole with retinal detachment (high myope). C – Epiretinal Membrane. D – RPE detachment.

III.3. Equipments

The study of equipments at CCC included learning their functionalities and the type of output of their results. We studied the following equipments:

- Angiographer
- GDx™ Scanning Laser System
- Specular Microscope
- Perimeter
- Micro Perimeter
- Visumeter
- OCT (Optical Coherence Tomography)

- OCT-SLO (Optical Coherence Tomography-Scanning Laser Ophthalmoscope)
- Topographer
- Retinographer

In general, equipments have an internal database where the examinations' results are saved. However, the majority of equipments couldn't share resources in a network. Some equipments work with Windows 95, without the possibility of exporting results to the existent server (Specular Microscope, Microperimeter, Visometer). Other equipments, besides not having any connection to the existent network, have their results printed after each examination.

OCT-SLO equipment possesses a mechanism of image results' export that is semi-automatic. It depends on *Snagit* software which get snapshots of images and saves results in a server folder with the patient's name and the date.

Example of a file name:

02-743466-20060901-2.jpg

(Equipment number-Patient number-Date(year-month-day)-Image number.jpg)

The images saved on server can be seen with the software CMOC at consulting rooms of some physicians who have access and permissions. This software is very simple, with limited functionalities to manage patient's clinical data.

We selected the equipment OCT-SLO to be integrated in the software application we intended to develop since it can export images to a folder in an international standardized format – DICOM.

Equipment	Utility	Output Parameters
<i>Angiographer</i>	<ul style="list-style-type: none"> → Invasive method (fluorescein) → Detects: new blood vessels, vasodilatation, laser scars, haemorrhages; → Diabetes and ARMD situations; 	<ul style="list-style-type: none"> → Image sequence with definite time intervals
<i>GDx™ Scanning Laser System</i>	<ul style="list-style-type: none"> → Non-invasive method → Nerve fibre layer thickness analysis around OD; → Used in glaucoma situations; 	<ul style="list-style-type: none"> → Measure of retinal cells modification probability; → Image of retinal cells with different colours that represents different probabilities;
<i>Specular Microscope</i>	<ul style="list-style-type: none"> → Non-invasive method → Visualization of cornea endothelial cells, counting cells per square millimetre; 	<ul style="list-style-type: none"> → Compute endothelial cells density and variation coefficient; → Normal value: 1500-2500 cells per square millimetre;
<i>Perimeter</i>	<ul style="list-style-type: none"> → Non-invasive method → Measurement of visual field function; → Light projection and measure of ocular sensitivity; 	<ul style="list-style-type: none"> → Image with visual field function diagram, with visual function indication for each point; → Measure units: decibels
<i>Micro Perimeter</i>	<ul style="list-style-type: none"> → Non-invasive method → Measurement of central visual function; → Laser projection and measure of macular sensitivity; → In cases of macular lesions, it is done in macula neighbouring areas 	
<i>Visometer</i>	<ul style="list-style-type: none"> → Non-invasive method → Retina evaluation (posterior segment); → Laser letters projection → Cataract and high myopia situations; 	<ul style="list-style-type: none"> → Number inversely proportional to <i>visus</i> angle

Equipment	Utility	Output Parameters
<p><i>OCT</i> <i>OCT-SLO</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> → Non-invasive method → Cross-sectional images of the retina → Analysis of retina's multi-layered sensory tissue → Macular holes, oedemas, retinal detachments, membranes situations; 	<ul style="list-style-type: none"> → Two connected images, one with retina layers' image, and another of a retina photograph with a line that identifies the acquisition angle. → Good spatial resolution; → OCT-SLO has more spatial resolution than OCT;
<p><i>Topographer</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> → Mapping the surface curvature of the cornea; → Astigmatism situations; 	<ul style="list-style-type: none"> → Detailed information about the curvature of the cornea; → Four colourful images, where different colours represents different thickness values and vision angles;
<p><i>Retinographer</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> → Photography of the retina; → Vasodilatation and haemorrhages cotton woll-exudates, hard exudates situations; 	<ul style="list-style-type: none"> → Colourful image of retina; → Good spatial resolution;

Table 3 - Equipments description.

IV. Ocular Diseases Study

After studying CCC's clinic process and deciding which equipment to study, we turned our attention to ocular diseases.

In this section we describe the main features of ocular diseases, retinopathies, the characteristics that are detectable by OCT-SLO image and the International Classification of Diseases (ICD 10).

IV.1. Physiologic Support

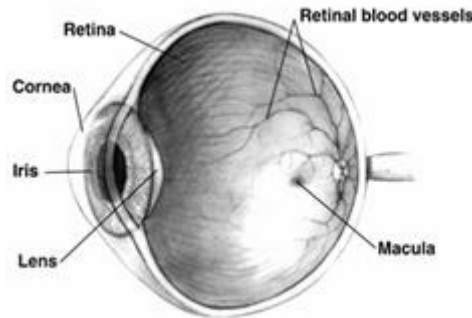


Illustration 7 - Eye diagram. [8]

The eye is the organ of vision that detects light. It has a particular structure and can be divided into two main segments: anterior and posterior. The anterior segment includes the structures in front of the vitreous humour, cornea, iris, ciliary body and lens or crystalline. The posterior segment includes the vitreous humour and the structures behind it: retina, choroid and optic nerve. [8]

The retina is a thin layer of neuronal cells which is itself composed by several cell layers.

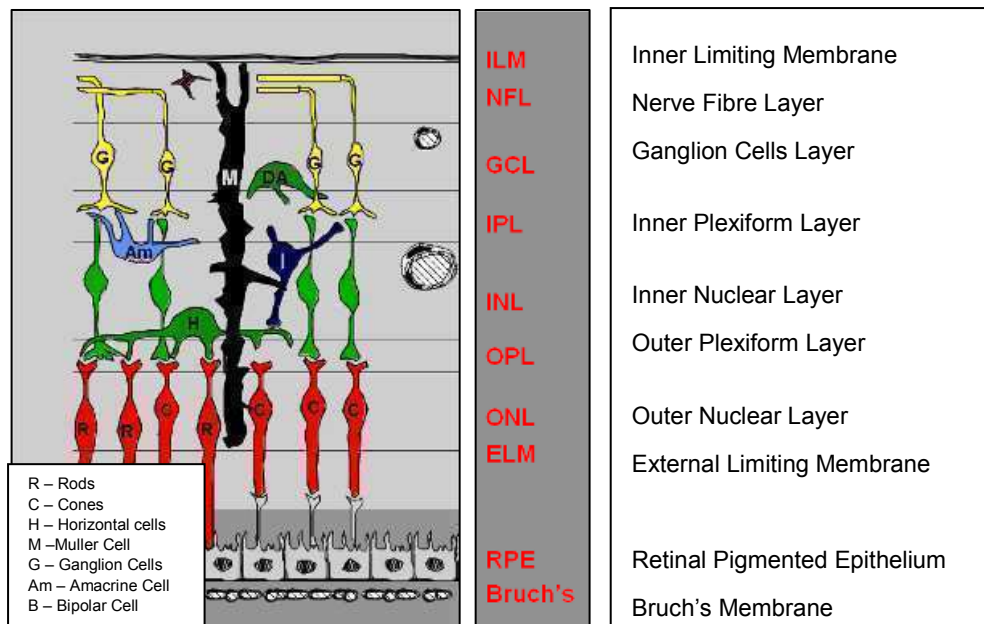


Illustration 8 – Diagram of retina layers.

The eye has a double circulation system: the Retinal Circulation and the Choroidal Circulation.

• Retinal Circulation

The central retinal artery goes through the optic disc where it divides into four large arterioles – terminal circulation.

• Choroidal Circulation

- Constituted by a blood vessels’ mesh that doesn’t go through the optic disc but crosses the sclera.
- Long posterior ciliary artery;
- Short posterior ciliary arteries;
- Anterior ciliary artery;

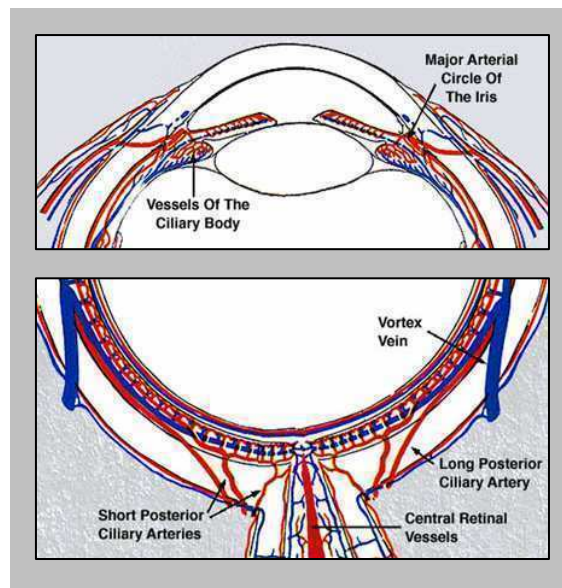


Illustration 9 - Eye blood vessels.

The retina is a neuronal tissue which is protected by barriers: the Blood-Aqueous Barrier and the Blood-Retinal Barrier.

Retinal Barriers		
Blood-Aqueous Barrier	The physiological mechanism that prevents exchange of materials between the chambers of the eye and the blood.[1]	
Blood-Retinal Barrier	Inner BRB – Retinal Vessels	→ Continuous endothelium → Tight junctions of “non-leaky” type → Enzyme rich endothelium
	Outer BRB – Chorioretinal Interface	→ Choriocapillaris (Fenestrated endothelium) → Bruch’s membrane(Basement membrane-like) → Retinal Pigment Epithelium - Continuous epithelium - Tight junctions of “non-leaky” type - Enzyme rich

Table 4 - Retinal barriers description.

BRB breakdown plays a major role in retinal vascular diseases like vaso-occlusive diseases, diabetic retinopathy and intraocular inflammation.

The causes of BRB breakdown can be several: ischemia/reperfusion, acute distension of retinal vessels wall, biochemical insults, inflammation, defective endothelial cells or failure of active transport mechanisms.

The retina has a high oxidative capacity, an unusually high glycolytic activity and it is extremely susceptible to hypoxia (oxygen decrease) and ischemia (oxygen lack).

More than 15 minutes of arterial blood supply can cause permanent damages in the retina. The first effect is anoxic damage to the retinal capillary endothelium leading to oedema formation. The retinal cells destroyed by anoxia release macromolecules that increase the tissue's osmotic pressure and the oedemas.

The various retinal constituents react to these alterations in different ways, causing several pathologic alterations, like cotton-wool exudates, hard exudates, oedemas, haemorrhages and others.

Erro! A origem da referência não foi encontrada.]

IV.2. Retinopathies

After understanding the physiological issues that are related to the emergence of retina diseases, we sought to describe some retinopathies, their causes, the examinations that can detect them and their characteristics.

We sought to determine a group of measurable or discriminating characteristics that allow the achievement of a diagnosis.


Designation	Cause	Examination Type	Characteristics	Image
Cotton-wool exudates	Hypoxia forces mitochondrias grouping at axons central zone.	Retinography	- White blemishes with undefined boundaries; - Appear above blood vessels;	 Illustration 10 - Cotton-wool exudates in retinography.
		OCT OCT-SLO	- Retina inferior zone thickness increases – hyper reflective zones	

Table 5 – Cotton-wool exudates characteristics. **Erro! A origem da referência não foi encontrada.]**

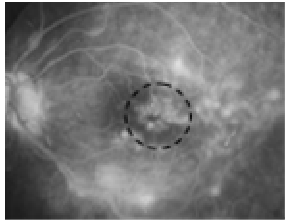

Designation	Cause	Examination Type	Characteristics	Image
Oedemas	Blood vessels tight-junctions opening without red globule escape.	Angiography	Fluorescence diffuse area (grey blemishes)	 Illustration 11 - Oedemas in angiography.
		OCT OCT-SLO	Change in retinal shape – Black blemishes well defined with petal shape, above EPR and behind RAL that can be separated by a septum	 Illustration 12 - Oedemas in OCT.

Table 6 - Oedemas characteristics.


<i>Designation</i>	<i>Cause</i>	<i>Examination Type</i>	<i>Characteristics</i>	<i>Image</i>
Hard exudates	Ischemia – cell necrosis – glial cells does not have capacity of consuming all fat.	Retinography	<ul style="list-style-type: none"> - Yellowish spots with good defined boundaries; - They appear around the macular zone with a radial disposition; - Appear above blood vessels; 	 <p>Illustration 13 - Hard exudates in retinography.</p>

Table 7 - Hard exudates characteristics.

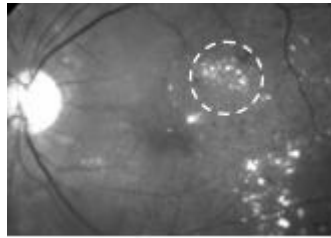
<i>Designation</i>	<i>Cause</i>	<i>Examination Type</i>	<i>Characteristics</i>	<i>Image</i>
Microaneurysms	Obstruction and blood vessels swelling.	Angiography	Small white spots hyper fluorescents coincident with blood vessels.	 <p>Illustration 14 - Microaneurysms in angiography.</p>

Table 8 - Microaneurysms characteristics.

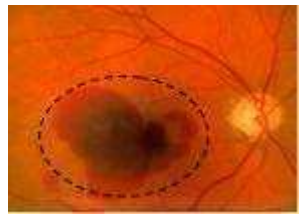

<i>Designation</i>	<i>Cause</i>	<i>Examination Type</i>	<i>Characteristics</i>	<i>Image</i>
Haemorrhages	Tight-junctions large opening or tight-junctions traumatism with red globules escape.	Retinography	<ul style="list-style-type: none"> - Reddish blemishes - If haemorrhage is superficial it has a round shape 	 <p>Illustration 15 - Haemorrhage in retinography.</p>
		Angiography	- White blemishes hyper-fluorescent dots	 <p>Illustration 16 - Haemorrhage in angiography.</p>

Table 9 - Haemorrhages characteristics.



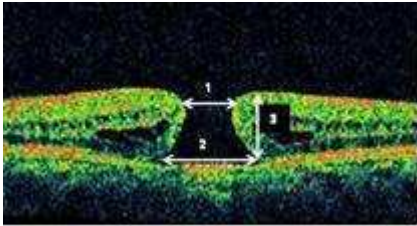
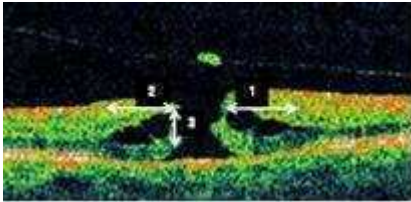
Designation	Cause	Examination Type	Characteristics	Image
Lamellar Hole	- Trauma - Age	OCT OCT-SLO	- Partial discontinuity in normal retinal thickness - Initial phase of macular hole	 <p>Illustration 17 - Lamellar Hole In OCT.</p>
Macular Hole		OCT OCT-SLO	- Total discontinuity in all retinal layers - Progression result of lamellar hole.	 <p>Illustration 18 - Macular Hole in OCT.</p>

Table 10 - Macular and Lamellar Holes characteristics.

IV.3. OCT-SLO Detectable Diseases

In images of OCT-SLO one can analyse and measure diverse characteristics that indicate the presence of several diseases. These characteristics are specified in the table below:

Designation	Characteristics	Measure characteristics
<p>MACULAR HOLE</p>  <p>Illustration 19 - Macular hole.</p>	<p><i>Primary:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Retina's full thickness interruption in the macula. - Aqueous humour contacts with RPE <p><i>Secondary:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Well defined lesion in the macula - Lesion with round or oval edges - Oedemas presence - Epi-retinian membrane 	<ul style="list-style-type: none"> 1 – Hole aperture's diameter in more narrower zone; 2 – Diameter in bottom zone; 3 – Retina thickness;
<p>OEDEMAS</p>  <p>Illustration 20 - Oedemas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Secondary characteristic of macular hole; - They appear around macular hole zone; 	<ul style="list-style-type: none"> 1 – Oedema width in macular hole's right side; 2 – Oedema width in macular hole's left side; 3 – Oedema height;

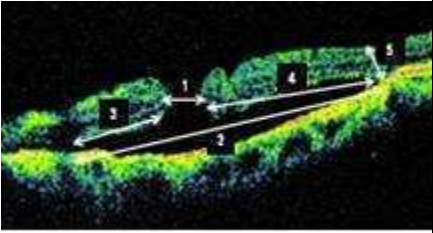
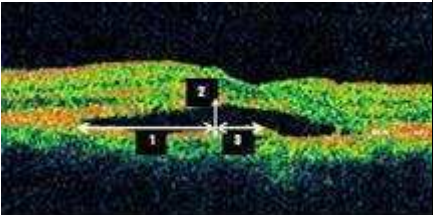
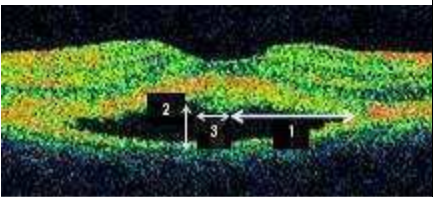
Designation	Characteristics	Measure characteristics
<p>RETINAL DETACHMENT</p>  <p>Illustration 21- Retinal detachment.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Secondary characteristic of macular hole; - Retina detachment around hole; 	<ul style="list-style-type: none"> 1 – Hole aperture’s diameter in narrower zone; 2 – Diameter in bottom zone; 3 – Width of left arm; 4 – Width of right arm; 5 – Retina thickness;
<p>SEROUS DETACHMENT</p>  <p>Illustration 22 - Serous detachment.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Detachment above RPE and behind retina - There isn't retina layers interruption in fovea area 	<ul style="list-style-type: none"> 1 – Detachment ray; 2 – Detachment maximum height; 3 – Fovea distance;
<p>RPE DETACHMENT</p>  <p>Illustration 23 - RPE detachment.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Detachment below RPE 	<ul style="list-style-type: none"> 1 – Detachment ray; 2 – Detachment maximum height; 3 – Fovea distance;

Table 11 - OCT-SLO detectable diseases and measurable characteristics.

IV.4. International Classification of Diseases (ICD 10)

In order to classify the diseases in a standard way accessible to all health professionals, it was necessary to opt for a standardized and international classification.

The International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (commonly known by ICD) provides codes to classify diseases and a large variety of symptoms, abnormal findings, complaints and external causes of injury or disease. Every health condition can be assigned to a unique category and given a code, up to six characters long. Each category includes a list of similar diseases.

The ICD is published by the WHO (World Health Organization). The first international classification of diseases was the International Classification of Causes of Death, created in 1900. Until today, there were made diverse versions and the current version is ICD 10. [11] [12]

This classification has twenty two categories, being category VII designated “Diseases of the eye and adnexa”. This category is divided into eleven subcategories as shown in the table below: [12]

Diseases of the eye and adnexa (H00-H59)	
H00-H06	Disorders of eyelid, lachrymal system and orbit
H10-H13	Disorders of conjunctiva
H15-H22	Disorders of sclera, cornea, iris and ciliary body
H25-H28	Disorders of lens
H30-H36	Disorders of choroid and retina
H40-H42	Glaucoma
H43-H45	Disorders of vitreous body and globe
H46-H48	Disorders of optic nerve and visual pathways
H49-H52	Disorders of ocular muscles, binocular movement, accommodation and refraction
H53-H54	Visual disturbances and blindness
H55-H59	Other disorders of eye and adnexa

Table 12 - Description of subcategories of "diseases of eye and adnexa". [11] [12]

The major advantage of this classification in categories and subcategories is the convenience of finding the numerical classification of a disease without having to search through a large number of diseases.

This classification is very helpful to organize diseases in a standard way, reachable to all physicians and other health professionals. It provides a basis for understanding between all health professionals who formulate diagnoses and makes this task more objective and accessible.

V. Software Development

After studying the clinic process and ocular diseases and defining which equipment to integrate in the software application (OCT-SLO), we entered the stage of software planning and development.

In this section there is a description of the software architecture, its advantages, its requirements, database access implementation and software tests.

V.1. Architecture

The developed software was divided into three parts with specific functionalities, represented in the diagram below:

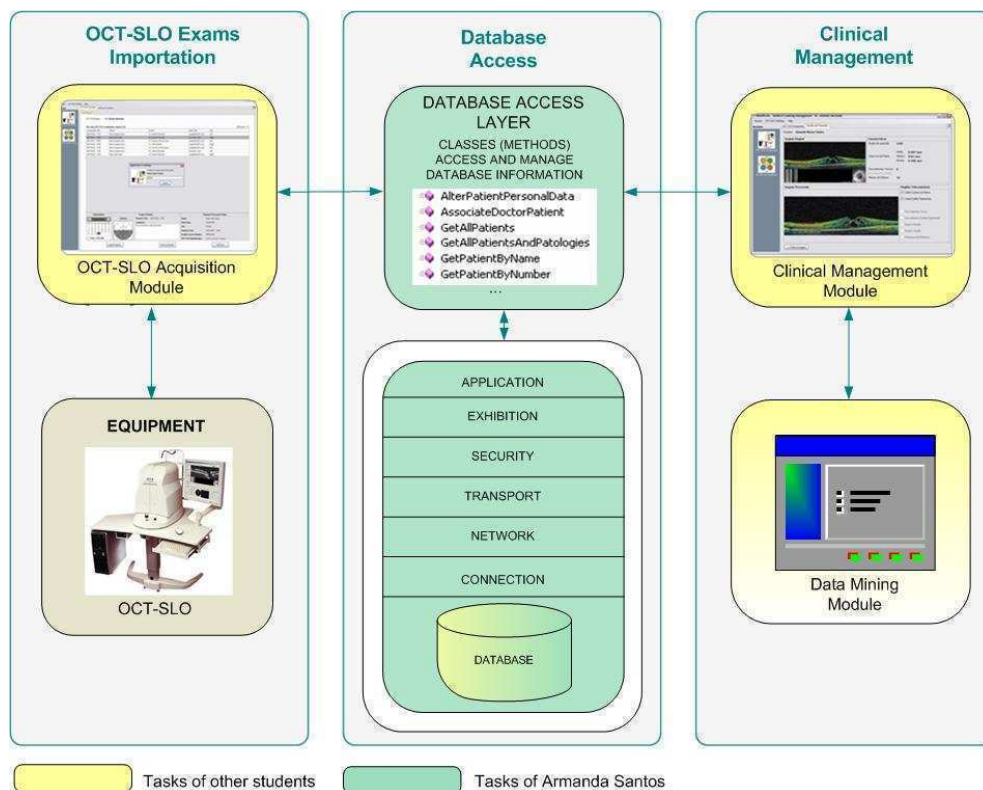


Illustration 24 - Implemented software architecture.

V.1.1. Clinical Management

This component of the software includes two modules: Clinical Management Module and Data Mining Module. Clinical Management Module allows to visualize and manage the patients' clinical data (personal data, examinations' results, clinical history, examination requests), saving all these contents in the database making them available to the acquisition module.

The Data Mining Module, through the use of neural networks, gives back a suggestion for a pre-diagnosis.

In the following pages there is a description of the Clinical Management Module's functionalities.

After a physician authenticates into the system, he can select the Clinical Management Module on the left side and the first window to appear is:

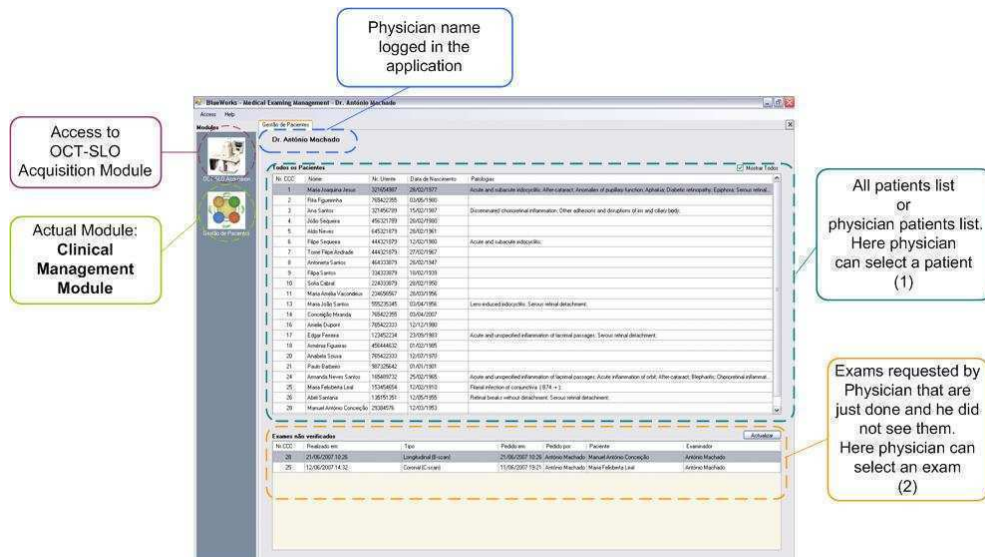


Illustration 25 - Clinical Management Module's initial window – description of functionalities.

When the physician selects one patient (1) or one examination (2), the window that appears is shown below.

At the top is the patient's and the physician's names.

On the left side is shown the Medical Consultations' data, with one button for each consultation. Here, the physician can select and see the patient's personal data as well as his clinical history. He can then add information to the patient's history.

On the right side, there are the examinations' results chronologically ordered, from most recent to older results. Each button stands for one examination and the red buttons represent the ones that have not been seen by the physician yet. After the physician sees the results and defines a prognosis, the buttons turn grey.

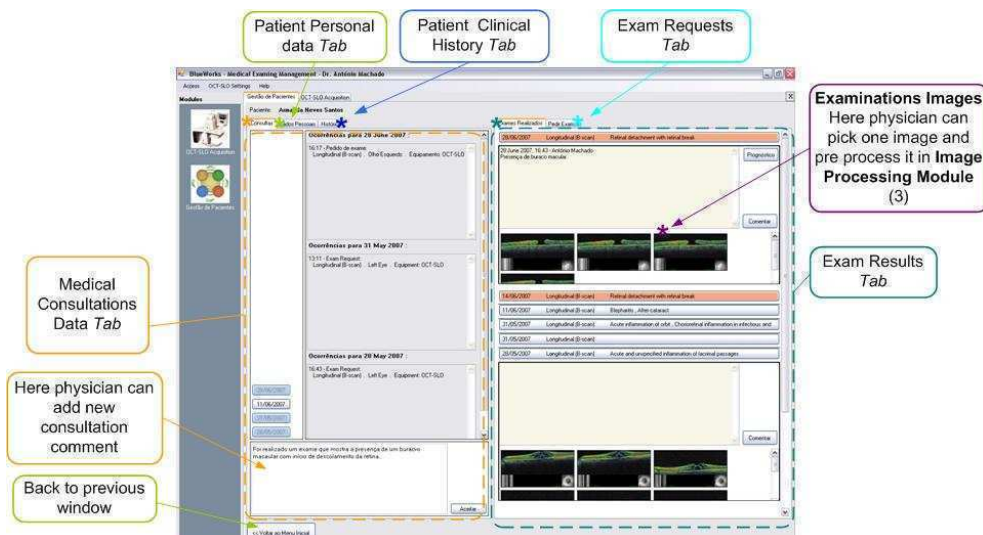


Illustration 26 - Clinical Management Module "Patient's Clinical Data" – description of functionalities.

If the physician selects an image from an examination result (3), he can see it in the original size, can process it and visualize the characteristics detected by image processing. The following window appears, where he can choose the characteristics that he wants to view highlighted in the image:

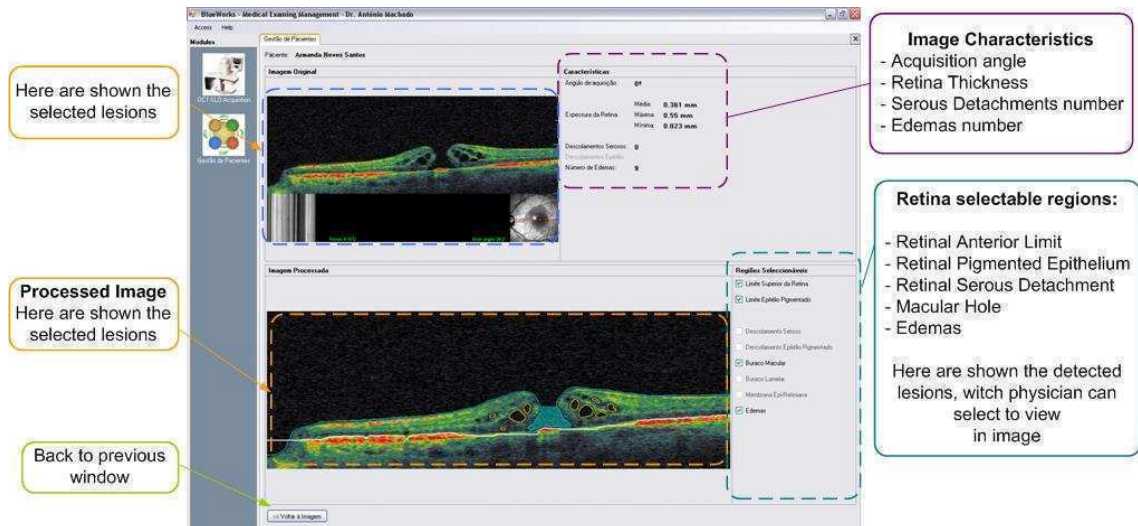


Illustration 27 - Clinical Management Module “Image Processing” – description of window’s functionalities.

If the Examination Requests tab is selected, the window below appears where the physician can select the examination types he needs and configure them (4).

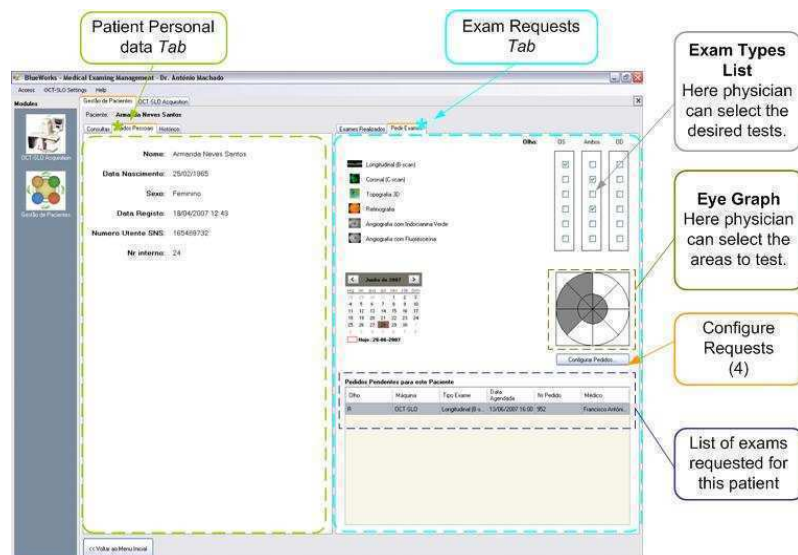


Illustration 28 - Clinical Management Module “Examination Requests tab” – description of functionalities.

In the “Configuration Window”, after each configuration the tab in question becomes green and when all examinations are configured, the physician can confirm all requests. On the timetable, the physician can select an hour to perform the test as long as it isn't in red, which means it isn't available.

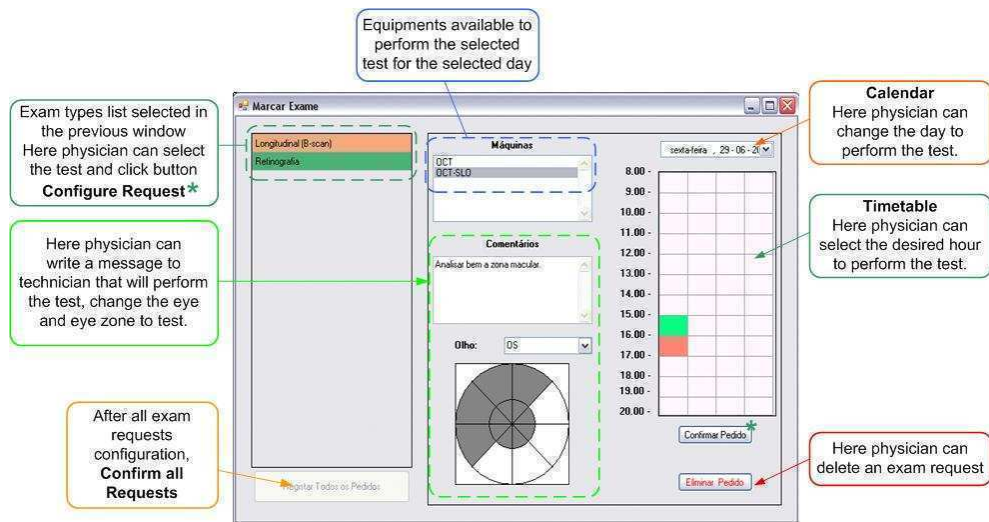


Illustration 29 - Clinical Management Module "Configure examinations requests" – description of functionalities.

V.1.2. OCT-SLO Examinations Importation

This component of the software matches the OCT-SLO Acquisition Module which provides the acquisition of OCT-SLO examinations and saves data in the central database. It enables to export examination results to one folder, in DICOM format, in which the information is interpreted and saved to the database. The information saved in this way becomes available to the clinical management module.

Below follows a description of the OCT-SLO Acquisition Module's functionalities.

After a technician authenticates, if he selects the OCT-SLO Acquisition Module on the left side, the first window to appear is this:

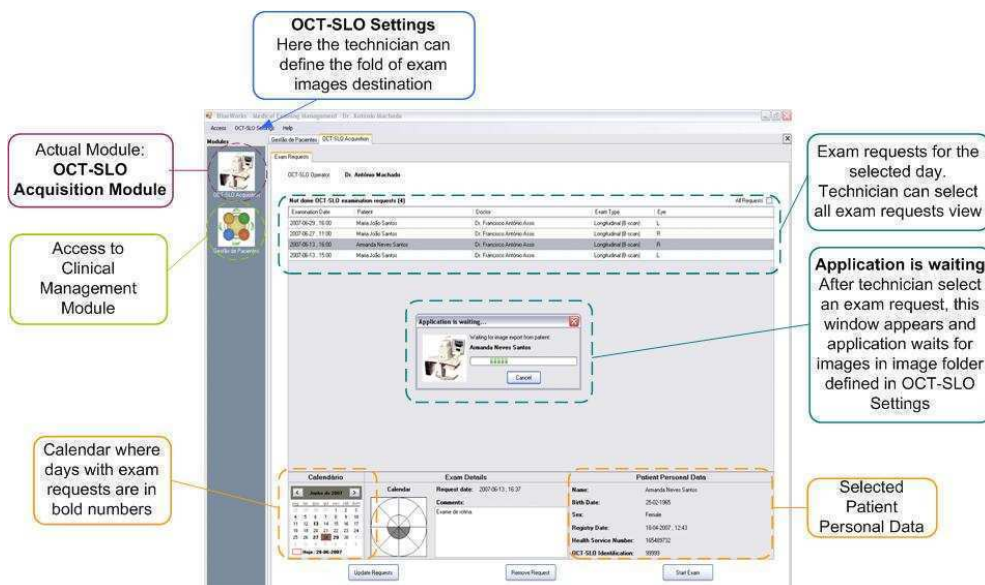


Illustration 30 - OCT-SLO Acquisition Module's first window – description of functionalities.

Here, the technician can choose an examination request, perform the examination and define the folder where the application is waiting for images to interpret and read. Afterwards, the window below appears:

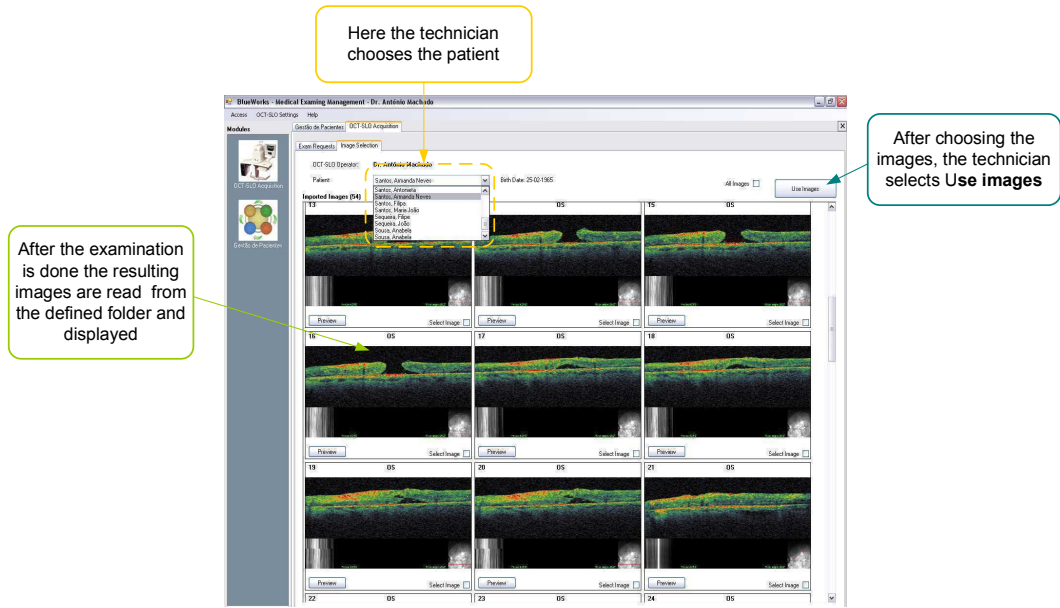


Illustration 31 - OCT-SLO Acquisition Module's second window – description of functionalities.

Here the technician can preview the images and choose the ones he wants to save, ignoring the ones with noise. Then he can move on to create the report for the selected results, as shown in the following window:

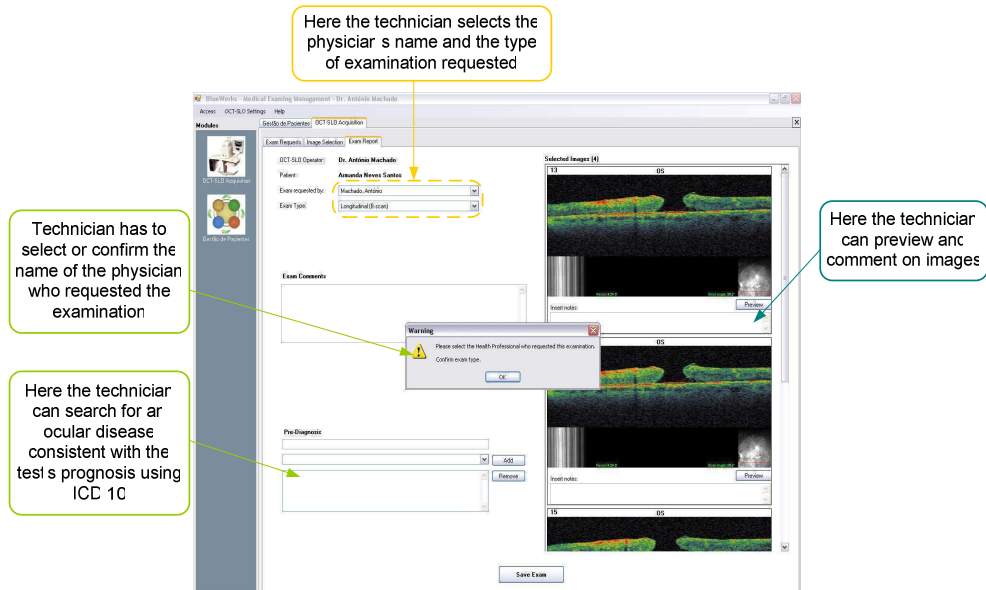


Illustration 32 - OCT-SLO Acquisition Module "Examination report" functionalities description.

In this window, the technician selects the information from the test and saves the results in the database.

V.1.3. Database Access Layer

This part of the software includes both database and database access layer. The database supports all the registered patients' clinical data saving. It provides data uniformity and categorization. The information in this module is available to both the acquisition and the clinical management modules.

This component was developed according to the implemented modules' functionalities and taking into account future functionalities. It was developed by the student Armanda Santos.

The software application has other functionalities that are also very important, like administrator functionalities, but describing them here would be pointless and uninteresting. It will suffice to say that it offers the options of adding new patients or users (physicians, technicians and administrators), altering patient's personal data, changing passwords or even the application language (portuguese or english).

According to the logged-in user, different modules are loaded. A technician only has access to the OCT-SLO Acquisition Module, while a physician has access to both modules. A physician can also have administrator privileges, giving him access to all functionalities.

V.1.4. Architecture Advantages

This software's architecture was conceived in such a way as to get the greatest possible advantages. It runs by plug-ins, each module being an autonomously developed plug-in. All plug-ins interact with the main application in which different modules become visible according to the existent plug-ins. In the present stage there are two modules interacting by plug-ins but if there were more modules, they could be easily integrated in the application to provide more services. Consequently, one can add new plug-ins to integrate several equipments (for example: angiographer, retinographer, etc.). Should this system become a product, the major advantage it will represent is that the clinic or hospital can have a personalized solution to its necessities: only the modules for the existent equipments need to be bought avoiding the acquisition of unnecessary services and, therefore, saving money.

Furthermore, the application can run both in Portuguese and in English which constitutes another great advantage.

In what concerns the CCC, this system provides two more advantages. Firstly, it avoids the flux of printed information and accelerates the process of requesting, getting and delivering examinations, making the results instantly available to physicians. Secondly, it avoids the duplication of clinical information because of the possibility of connection to the administrative application.

V.1.5. Requirements

Here follows a description of the software's requirements and functionalities for the three modules. Each module has particular needs and functionalities but they were arranged in a way to run all together as a single software application.

Clinical Management Module's Requirements and Functionalities
<ul style="list-style-type: none"> • Simple and intuitive use; • Easy and fast clinical data access; • Optional connection to other modules; • Shows list of physician's patients; • Shows list of all patients; • Shows patients' personal data; • Shows patients' clinical data and allows addition of information; • Shows all patients' consultations and allows addition of information; • Allows examination requests for a specific date, time, eye zone and equipment; • Shows information from patients' previous examinations: date, image results, prognosis, comments; • Allows confirmation of prognosis and addition of comments to images; • Shows image processing results: <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Acquisition angle; ⇒ Retina thickness; ⇒ Serous detachments number and illustration; ⇒ Oedemas number and illustration; ⇒ Macular hole presence and illustration.

Table 13 - Description of Clinical management module's requirements and functionalities.

OCT-SLO Acquisition Module Requirements and Functionalities
<ul style="list-style-type: none"> • Simple and intuitive use; • Easy and fast clinical data access; • Optional connection to other modules; • Shows examination requests' information: done, undone and deleted examinations; • Shows requests information by date; • Allows to update examination requests; • Allows to delete requests of undone examinations; • Allows starting a new examination and saving information: <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Selection of images; ⇒ Building of comments; ⇒ Confirmation or selection of the physician who requested the examination when there isn't a request; ⇒ Confirms or selects examination type; ⇒ Construction of a prognosis.

Table 14 – Description of OCT-SLO Acquisition module's requirements and functionalities.

Database Requirements and Functionalities
<p>Database</p> <ul style="list-style-type: none"> • Assures data safety; • Saves patients' personal data; • Saves health professionals' data: physicians, technicians and administrators; • Saves ocular diseases' information by ICD 10; • Saves available equipments' information; • Saves available examination types for all existing equipments; • Saves patients' clinical data: <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Consultations' information; ⇒ Examination requests; ⇒ Examination results. <p>Database Access</p> <ul style="list-style-type: none"> • Assures data safety; • Connects database to application; • Accesses database information: adds, removes and updates information.

Table 15 - Description of Database requirements and functionalities.

V.2. Database Access Layer

In this section there is a description of the clinical database model, database access layer implementation, data security and the technologies and tools used for these purposes.

V.2.1. Database Model

The database is adapted to save clinical data (images and text), providing tables to organize information. It is constituted by several entities with different attributes. Those signed with * are entities to use in future applications to the project. (See section VIII.4)

For a detailed description of each table content and other specific database parameters, like Stored Procedures (SP) and table valued functions, see attachment C.

The following table presents the entities:

Database Entities	
<i>patient</i>	Table that saves patients' personal data.
<i>health_professional</i>	Table that saves health professionals' personal data.
<i>healthprof_type</i>	Table that saves health professionals' types.
<i>event</i>	Table that saves events, generated by health professionals.
<i>equipment</i>	Table that saves equipments.
<i>exam_request</i>	Table that saves examination requests.
<i>exam</i>	Table that saves examination results.
<i>image</i>	Table that saves examination image results.
<i>exam_type</i>	Table that saves types of examination available in equipments.
<i>associated_pathology</i>	Table that saves correspondence between examinations and diseases.
<i>match_doctor_patient</i>	Table that saves correspondence between physicians and patients.
<i>match_equipment_exam_type</i>	Table that saves correspondence between equipments and examination types.
<i>match_equipment_patient</i>	Table that saves correspondence between equipments and patients.
<i>pathology</i>	Table that saves ocular diseases' list from ICD 10.
<i>icd10_vii_pathology_type</i>	Table that saves list of ocular diseases' categories from ICD 10.
<i>icd10_vii_pathology_subtype</i>	Table that saves ocular diseases sub categories list by ICD 10.
<i>angiography*</i>	Table that saves angiography examinations' data.
<i>retinography*</i>	Table that saves retinography examinations' data.
<i>oct_slo*</i>	Table that saves oct-slo examinations' data.
<i>angiography_image*</i>	Table that saves angiography images.
<i>retinography_image*</i>	Table that saves retinography images.
<i>oct_slo_image*</i>	Table that saves oct-slo images.
<i>parameter*</i>	Table that saves parameters extracted from images.
<i>measurement*</i>	Table that saves examinations' numerical results.
<i>surgery*</i>	Table that saves surgery events' data.
<i>consult*</i>	Table that saves consultation events' data.
<i>medication*</i>	Table that saves medication events' data.

Table 16- Database entities' description.

Stored procedures are used to manage database information. A stored procedure (SP) is a collection of structured query language (SQL) commands. It allows to encapsulate repetitive tasks, receiving input parameters and returning output parameters. It also returns a parameter that indicates success or failure of the task's performance. Using SP provides fastness to data access, improving performances. [20]

In table below there are described the used SP:

Stored Procedures (SP)	
<i>AddExamNote</i>	Add an examination note.
<i>AddGraphToExamRequest</i>	Add a graph of the eye zone to examine to a request.
<i>AddNewUser</i>	Add a new user to the database (physician, technician, administrator).
<i>AddReportText</i>	Add text to an event.
<i>AlterExamRequest</i>	Alter an examination request.
<i>AlterPatientPersonalData</i>	Alter patient's personal data (first name, date of birth,...).
<i>AssociateDoctorPatient</i>	Associate a physician to a patient.
<i>AssociatePathology</i>	Associate an examination to a disease.
<i>CreateExam</i>	Create an examination.
<i>CreateExamRequest</i>	Create an examination request.
<i>CreateExamRequestNow</i>	Create an examination request to perform immediately.
<i>CreateNewEvent</i>	Create an event.
<i>DeleteAssociatedPatologies</i>	Delete diseases that are associated with an examination.
<i>DeleteAssociatedPathology</i>	Delete a disease that is associated with an examination.
<i>DoctorName</i>	Return physician's name and gender.
<i>GetEquipmentMatchID</i>	Return a patient's ID in a specific equipment.

Stored Procedures (SP)	
<i>GetEquipmentMatchPatientID</i>	Return a patient's ID based on the equipment's patient ID and the equipment's ID.
<i>InsertEquipmentMatchID</i>	Associate a patient to an equipment.
<i>InsertImage</i>	Save an image in an examination result.
<i>InsertImageNote</i>	Save comments to an image.
<i>InvalidateExamRequest</i>	Invalidate an examination request.
<i>Login</i>	Do the user login.
<i>PatientHistory</i>	Return the clinical history of a patient.
<i>PatientName</i>	Return a patient's name.
<i>TodayEventId</i>	Search an event in that day (by physician or patient).
<i>UpdateHistory</i>	Update patient's clinical history.
<i>ValidateExam</i>	Validate diseases associated to an examination.
<i>ViewImage</i>	Return an image.

Table 17 - Stored procedures specification.

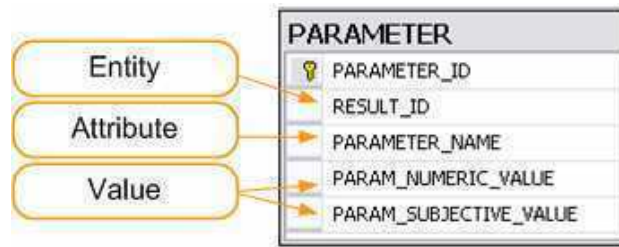
Table-valued functions are used to get database information. They can return a results' set of information and can also replace stored procedures that return a single result set.[22]

In table below there is a description of the table-valued functions that were used.

Table Valued Functions	
<i>AllExamRequests</i>	Return the list of examination requests of an equipment.
<i>AllExamTypes</i>	Return the list of available examination types.
<i>AllHealthProfs</i>	Return the database list of registered health professionals.
<i>AllPatients</i>	Return the list of patients.
<i>AllPatologies</i>	Return the list of ocular diseases.
<i>EquipmentsByExamType</i>	Return the list of available equipments by examination type.
<i>EquipmentsData</i>	Return the list of equipments.
<i>EventByPatientDoctor</i>	Return the list of events by physician and patient.
<i>EventNotesByPatient</i>	Return the list of event notes by patient.
<i>ExamDetailsByPatient</i>	Return the list of examination details by patient.
<i>ExamHours</i>	Return the examinations appointed for each hour of a specific day, examination type and equipment.
<i>ExamHoursByEquipment</i>	Return the examinations appointed for each hour of a specific day and for each equipment.
<i>ExamPatologies</i>	Return a list of diseases associated to an examination type.
<i>ExamRequestsData</i>	Return a list of examination requests.
<i>ExamResultsDetails</i>	Return a list of examination results.
<i>ExamsByHour</i>	Return the examinations appointed for each hour of a specific date, examination type and equipment.
<i>ExamsByHourByEquipment</i>	Return the examinations appointed for each hour of a specific date and equipment.
<i>ImageDetails</i>	Return an examination result image.
<i>ImageThumbnailsByExam</i>	Return an examination's image thumbnails list.

Table 18 - Table valued functions description.

Our database model follows the conventional model of classes and relationships (CR) and the Entity-Attribute-Value (EAV) database model. The Table - *Parameter* - presented below follows the EAV model which is adapted for use in the Electronic Patient Record (EPR). This table is used in order to save data resulting from image processing, that is, the several parameters that can be measured.


 Illustration 33 - Table *Parameter* with EAV model.

Since the number of parameters is unknown, the conventional model of classes and relationships is not appropriated. In our model the number of parameters can grow as the database evolves without schema redesign.

The next schema represents an example of the database model. (The entire diagram can be seen in attachment C.)

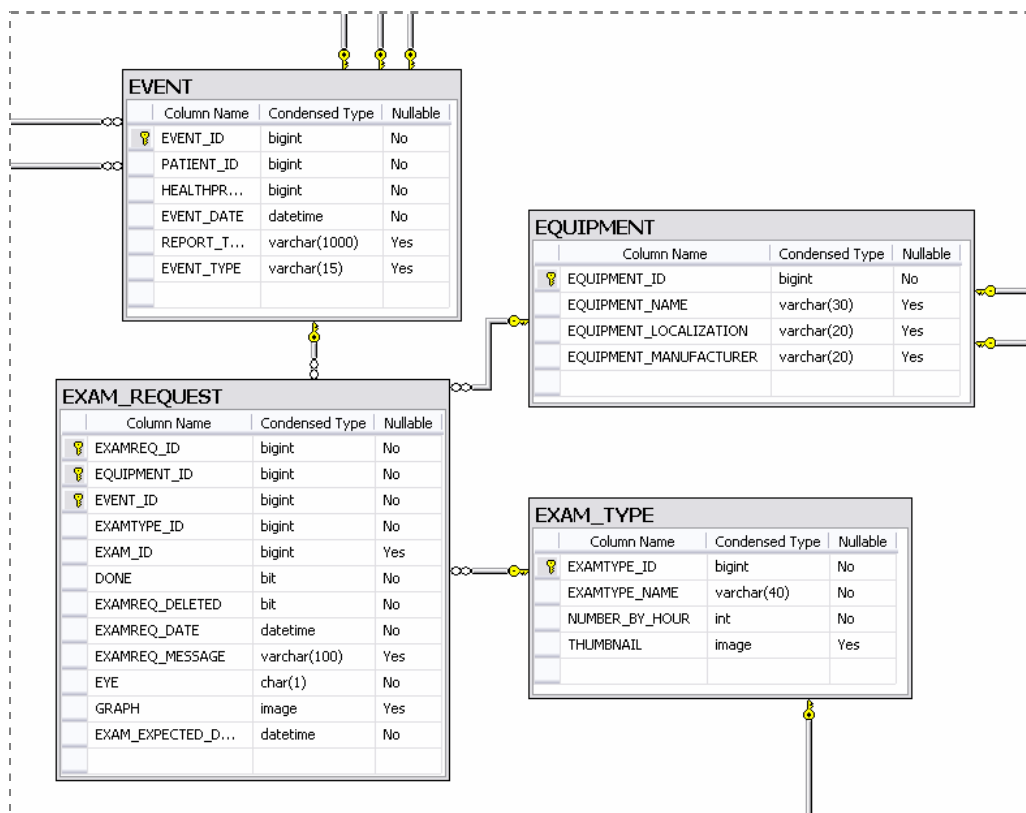


Illustration 34 - Database schema example.

V.2.2. Database Access Layer

The software application only works if there is access to the database. For that reason, it is necessary to configure and allow database access with visualization, addition, removal and updating of data.

Thus, we created users with different functions and permits to access data. The various functions were structured in several classes to make it possible and easy to access the database from the acquisition and clinical management modules.

Those classes of functions are:

- Health Professionals
- Patients
- Equipments
- Examinations

- Events
- Images
- Diseases
- Users

Each class has several functions that give database access (example: function *GetAllPatients* in *Patient* class). They all derive from the basic class *MarshalRefObject* which provides remote access to the database by using the application domain (.NET Remoting). Classes have the possibility of using information structures to organize data from the functions (for example: structure *Patient* in *Patient* class).

In the illustration below there is an example of a class diagram. (All of the classes' diagrams can be seen in document reference at VII.16.)

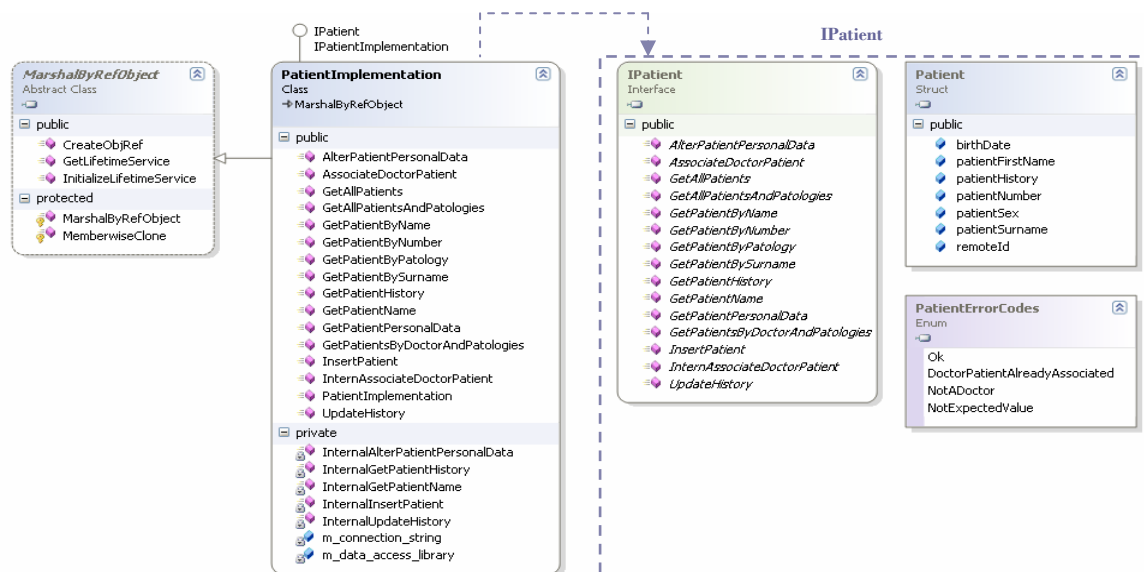


Illustration 35 - Patient class diagram.

V.2.3. Security

The database is used to save a lot of information which is important to keep confidential and integral, such as patients' clinical and personal data. Consequently, the security issue is extremely important.

The security mechanisms that were implemented are:

- **Transactions**

To ensure that the integrity of the database is maintained, it is necessary to control the changes made to it. All modifications to clinical data have to be fully completed in order to prevent clinical data loss. Thus, there are transactions that interact with the database management system to ensure this happens.

The transaction's way of procedure is:

1. Begin the transaction;
2. Execute several queries (reading/writing);
3. Commit the transaction if execution was successful;
4. Roll back the transaction if execution was not successful.

- **Password encryption**

The access to the program requires authentication with username and password. The encryption algorithm used is *SHA256*. This algorithm is very efficient in saving passwords because it doesn't allow decryption of passwords. It only allows to compare encrypted passwords.

In case a password is forgotten, the administrator creates a new password that can be changed afterwards by the user.

- **Database Access Control**

In the development phase, we worked with a user with unrestricted access to modifications of the database. When applying the software, the users should have access restrictions to prevent deleting essential information like tables, for example.

The develop environment, C# .NET, also ensures safety since database access is only allowed to properly accredited users.

In the phase of application, another mechanism that can be implemented in order to optimize security is the creation of database backup's, with certain time intervals. This can allow the recovery of data if any problem should occur.

V.2.4. Technologies and Tools

The developed software uses the following technologies: SQL, C# e Microsoft .NET Remoting.

- **SQL (Structured Query Language)**

Structured Query Language or SQL is a computer language designed for the management of data in relational database management systems (RDBMS), database schema creation and modification, and database object access control management.

The most common operation in SQL databases is the query, which is performed with the declarative **SELECT** keyword. **SELECT** retrieves data from a specified table, or multiple related tables, in a database. Other clauses used in queries is **WHERE**, **GROUP BY**, **HAVING**, **ORDER BY**. It also provides data manipulation like add (**INSERT**), update and delete data. [19]

This language was used in database management.

- **C# (C Sharp)**

C Sharp is an object-oriented programming language developed by Microsoft. C# has a syntax based on C++ that includes aspects of several other programming languages with a particular emphasis on simplification. [2]

- **Microsoft .NET Remoting**

Microsoft .NET Remoting is a Microsoft .NET Framework API that enables to call objects in the network. [3] [23]

These languages, .NET remoting using C# were used in the database access management.

The developed software uses the following tools: Sybase Power Designer 12 trial, Microsoft SQL Server 2005 and Microsoft Visual Studio.

- **Sybase Power Designer 12 trial**

Sybase Power Designer is a design solution that helps database architecture implementation. It provides powerful analyses and design techniques. [21]

It was used to create the first versions of the database's conceptual model, convert it to the physical model and generate the database creation scripts.

- **Microsoft SQL Server 2005**

Microsoft SQL server is a relational database management system (RDBMS) created by Microsoft. The language it uses is SQL-Transaction. [13]

It was used in the creation of the database from scripts generated in Power Designer, in the modification of the database's schema and in the database control management.

- **Microsoft Visual Studio 2005**

Microsoft Visual Studio is Microsoft's flagship software development product that provides creation of software applications. **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

It was used in the creation of the functions of database access, using c# language.

V.3. Software Tests

During the software development we performed several code tests in each module. After completing the software development and the integration of modules, several tests were performed to validate the correct running of the application and all functionalities and detect failures that might cause the breaking of the application running.

V.3.1. Unitary Tests

The unitary tests were performed by each developer in his own module. Each developer performed the tests which he considered significant. In these tests we studied normal, limit and illegal situations. When they detected warnings, exceptions or failures, these situations were treated in a way as to avoid application break. The tests weren't registered.

V.3.2. System Tests

These tests were performed after the integration of all modules took place to certificate the correct application running. They were used to test the correct running of all application functionalities, based on the modules' requirements.

We tested about a hundred normal situations, but the illegal and critical situations weren't forgotten. All tests were registered and specified. The applied tests were able to verify the good running of the application, without breaks. Only a few details needed to be optimized.

The tests are presented in tables in attachment B. Here follows the columns description:

- Date – Identifies the date when test was done.
- ID Test – Test unique identifier number.
- Test Description – Description of performed tests.
- Message returned – In case the test origins a message, shows the returned message.
- Message Type – In case the test origins a message, identifies the message type (warning, error, information).
- Option – In case the test origins a message, identifies the selected option.
- Comment – Explanation of test result.
- Result – Test result: indicates if there was a problem with the test
- Corrected – Indicates if the problem was corrected.

VI. Image Processing

In this section there is a description of the algorithms implemented for image processing. These are algorithms to detect serous detachment, oedema and macular hole and the respective tests, applied to validate their performance.

We chose to analyse OCT-SLO image type b-scan (longitudinal scan) because it appeared to be easier to analyse.

VI.1. Overview

VI.1.1. Normal B-scan Description

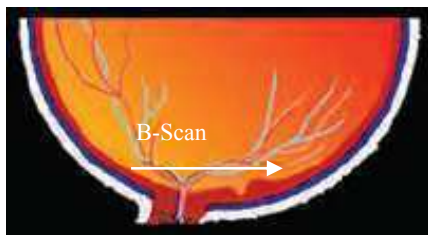


Illustration 36 - Eye diagram with b-scan indication. [16]

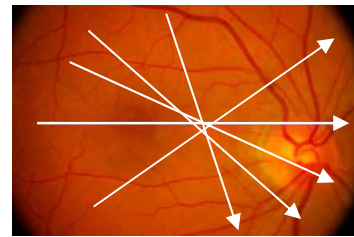


Illustration 37 - Diagram with indication of b-scan through various angles. [18]

B-scan image matches a retina longitudinal slice that could be done through various angles, with the measurement of retina layers' reflectance.

Each b-scan image is acquired by a 500 t-scan (transversal scan) linear sequence of 4 μm of distance between each one, producing a 2 mm longitudinal b-scan section. The transversal t-scan 8 mm section is formed by a 500 a-scan sequence of 16 μm distance between each one.

As a result, one pixel matches a height of 7,8 μm and a width of 5,8 μm , producing an area of 45,7 μm^2 . [17]

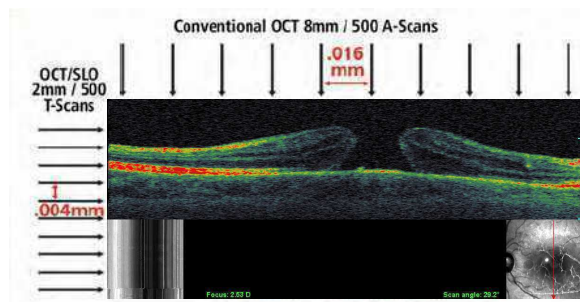


Illustration 38 - OCT-SLO resolution diagram. [17]

The b-scan image has extra information about eye movements during the exam acquisition and an image of the retina, with indication of the acquisition angle.

In a b-scan image one can recognize various characteristics according to higher or lower reflectance of layers. The vitreous humour anterior to the retina is non-reflective and is seen as a dark space. The retinal nerve fibre layer is highly reflective and increases in thickness as it approaches the optic nerve. The posterior limit of the retina is marked by a hyper-reflective layer that represents the retinal pigmented epithelium and choriocapillaries. The posterior structures of RPE, choroid and sclera, are not distinctly seen as the signal attenuates with time and doesn't reach these layers. The central depression identifies the fovea, easily detected by the decrease in retinal thickness.[10]

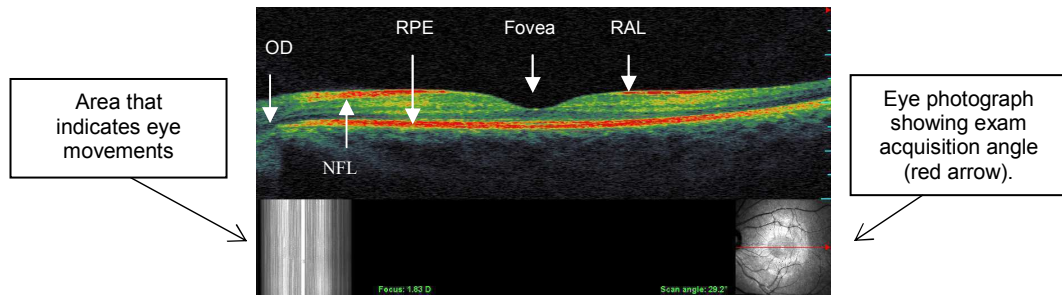


Illustration 39 - Normal b-scan image.

Above the RPE layer and immediately anterior to the RPE-choriocapillaries complex there is a minimally reflective layer that represents photoreceptors. Above this layer there are alternating layers of moderate reflectivity that represent different layers of neurosensory retina.

Between these layers can appear retinal lesions such as serous detachment or oedema, with different reflectivity degrees.

VI.1.2. Description of B-scan with Pathology

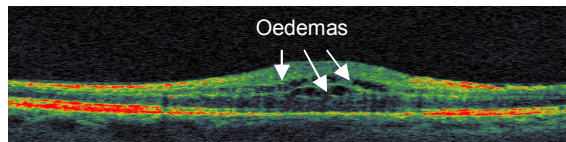


Illustration 40 - B-scan image with oedemas.

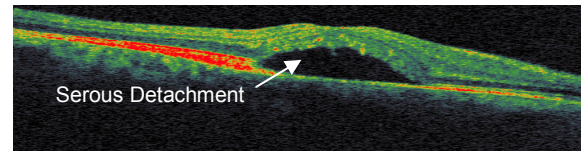


Illustration 41 - B-scan image with serous detachment.

If there are lesions between the retinal layers, oedemas or retinal serous detachment, they are identified by non-reflective spaces and they are seen in the images as dark regions.

If there is a macular hole, it is identified by a large depression in the foveal area, filled with vitreous humour. As it is non-reflective, a dark space appears in the depression zone.

For detection of the described lesions in the retinal layers we used data from RPE and RAL boundaries coming from algorithms RPE and RAL detection.

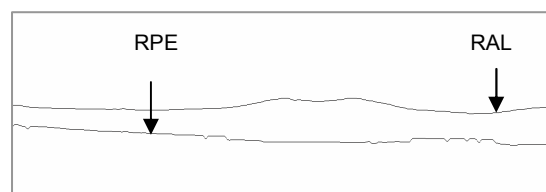


Illustration 42 - RPE and RAL boundaries representation.

- Several parameters are computed for each lesion that is detected:
- Maximum height (in millimetres)
- Maximum width (in millimetres)
- Area (in square millimetres)
- EPR distance (in millimetres)
- Lesion boundaries points' coordinates
- Lesion area points' coordinates

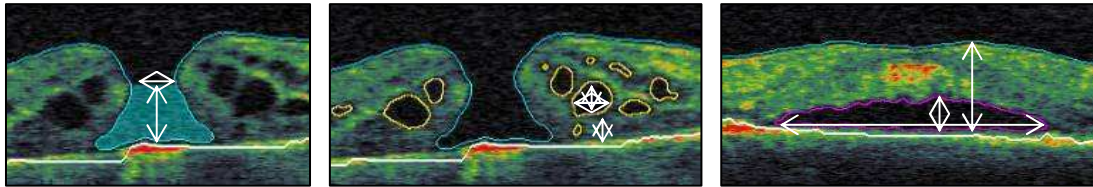


Illustration 43 - Computed parameters diagram.

VI.2. Requirements

This section is to describe the several algorithms' requirements and functionalities.

To perform the image processing we used the programming language Matlab. It is a very intuitive language and allows the integration of a free runtime in the application developed in c#.

VI.2.1. Image Pre-Processing

The B-scan image, in spite of representing measurements of reflection intensity of the retina layers in response to the projection of a LASER beam into the eye, it is represented by a three-dimensional matrix. In this matrix, two of the dimensions represent the x and y coordinates of the image and the third dimension is the layer of colour. This layer can be either red (R), green (G) or blue (B) and, therefore, these images are said to be of the RGB type.

At this stage, several filters are consecutively applied to enhance the intended characteristics. A spatial filtering is applied with the use of masks which are inserted through a scanning of the whole image that enables to calculate the filtered image. They are used to enhance the outlines and eliminate noises.

VI.2.2. Connected Pixels Labelling

After enhancing the intended characteristics and obtaining a two-coloured image with the areas that show great probability of representing lesions highlighted from the background, it is necessary to label those areas of interconnected pixels.

In order to do that, we use an algorithm based on the pixels' neighbour relationships to find the connected component. It starts by finding a foreground pixel that represents a possible retinal lesion and then it iteratively searches that pixel's neighbours to find the connected component, using 8-connected neighbours. This technique is sometimes called the flood fill approach. [4] For a detailed description of this algorithm, see attachment D.



Illustration 44 - Connected pixels labelling algorithm working representation.

VI.2.3. Extract the required Lesions

Once the non-reflective regions between the retina layers are labelled they can represent several types of lesions, such as oedemas, serous detachments, photoreceptors' areas and macular hole, depending on the pre-processing that took place.

After the regions that show great probability of representing lesions are identified and labelled, it is necessary to verify which ones actually are lesions.

To do that, certain parameters are determined in which variability of the values they take allows the identification of the intended lesions. They are:

- ⇒ Epithelium distance average: from lesion underside to RPE
- ⇒ LAR closeness
- ⇒ Retina thickness
- ⇒ Fovea closeness
- ⇒ Width/height relation

Algorithms Requirements	
<i>Serous Detachment Detection</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Image pre-processing • Connected pixels labelling • Extraction of lesions that are likely to be serous detachments: <ul style="list-style-type: none"> ○ Recognition of serous detachment area and boundaries in retina layers ○ Distinction of serous detachment from oedemas ○ Distinction of serous detachment from macular hole ○ Distinction of serous detachment from photoreceptors layer ○ Distinction of serous detachment from EPR detachment ○ Distinction of serous detachment from blood vessels
<i>Oedema Detection</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Image pre-processing • Connected pixels labelling • Extraction of lesions most likely to be oedemas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Recognition of oedemas' area and boundaries in retina layers ○ Distinction of oedemas from serous detachment ○ Distinction of oedemas from macular hole ○ Distinction of oedemas from blood vessels
<i>Macular Hole Detection</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Image pre-processing • Localization of hole limits' coordinates • Connected pixels labelling • Extraction of lesion most likely to be macular hole: <ul style="list-style-type: none"> ○ Localization of macular hole in retina macular zone ○ Recognition of macular hole area and boundaries

Table 19 - Algorithms requirements specification.

VI.3. Image Processing Implementation

VI.3.1. Serous Detachment Detection

For serous detachment detection, it is necessary to follow several phases that prepare the image for extraction and labelling of information from the required areas. The image is pre-processed according to the following steps:

➤ Image Pre Processing

1) Get interest zone of image

In this stage the image is cropped. The part of the image with no interest is removed. This part gives additional information about the eye and possible eye movements during the examination.

2) Convert image to grey scale

In this stage the image is converted to a grey scale with emphasis on green and red components ($0.4R + 0.8G + 0.1B$). Since most of the blue component represents noise, only a minimal part of it is used while the green component is the most important one to keep.

3) Convert image to binary image

In this stage the previous image is converted to a binary image - black and white - to simplify the analysis that follows. For this conversion a threshold value is used to define which values to convert to white or black. The value used is 0.2.

4) Noise Filter I: Median Filter

In this stage, a spatial filtering is applied: a median filter with a square window of seven pixels. This contributes to remove noise, to make the image more homogeneous smoothing it and preserving the limits.

5) Serous Detachment Filter

In this stage the retina layers external zones are removed above RAL and behind RPE, leaving only lesion zones that might be serous detachment.

6) Noise Filter II

Here, an artefact that may appear on the left side of the image during the examination is removed from it.. Sometimes it appears as a left stripe on the left side of the image.

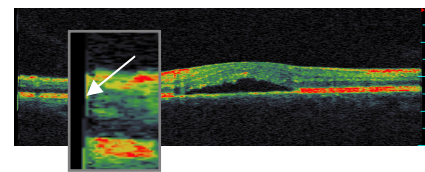


Illustration 45 - Image with an artefact resulting from examination acquisition.

7) Noise Filter III: Median Filter

As a result of the two previous operations, there might appear some small pixel aggregations that have to be removed. In order to do that, one applies a median filter with a square window of five pixels.

8) Pre-processing steps illustration

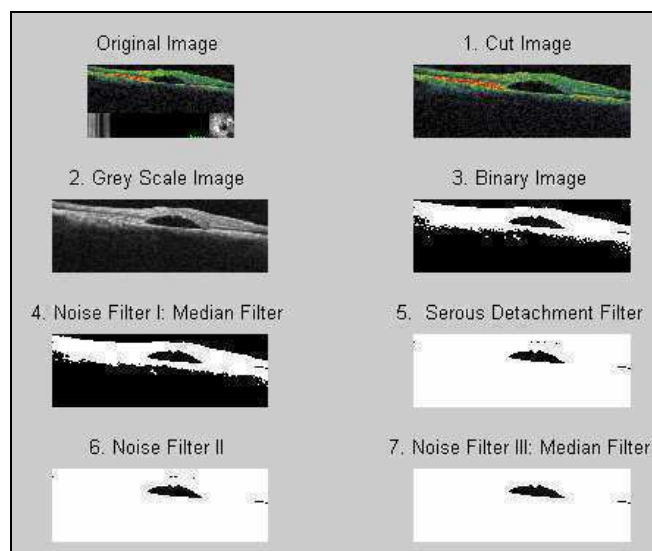


Illustration 46 - Detection of serous detachment: pre-processing steps.

➤ Connected Pixels Labelling

After the image's pre-process is performed, it is necessary to classify and label the existing areas and select the ones that actually are serous detachments.

This classification is processed in the following steps:

1) Classification of Serous detachment areas

As a result of image pre-processing, there is a white image with black areas that might be serous detachments. In this phase there is a search of connected pixel groups using 8 connected neighbours which are then labelled. Each label could be a serous detachment. [4]

➤ Extract the Required Lesions : Serous Detachments

1) Filter serous detachment by minimal area

Some labelled areas have a smaller area that may be noise. It is necessary remove these noise blemishes. Removed areas can be smaller than 30 pixels.

2) Get serous detachments size

At this point, serous detachments maximum width, maximum height and area are computed. The coordinates of the serous detachments' pixels are determined.

3) Determination of serous detachments' distance to EPR

In this phase, the mean distance mean from the serous detachments' base to the EPR is computed.

4) Filter serous detachment by minimal width

Some labelled areas have a smaller width that may be noise. It is necessary remove these noise pixels. The minimal width allowed is 10 pixels.

5) Oedemas and macular hole filter

At this point, if there is macular hole or oedemas in serous detachments, they are removed. All areas satisfy the following conditions are removed:

- Distance to EPR > 12 pixels
- Width > 1.7* Height

6) Get retinal thickness around serous detachment

At this point, for each serous detachment the retinal thickness before, after and on the detachment area are computed.

7) Filter serous detachment by retinal thickness

As is usual in serous detachment areas, there is an increment of retinal thickness so, in this phase, they are filtered according to retinal thickness.

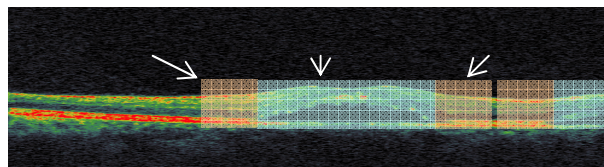


Illustration 47 - Filter serous detachment by retinal thickness - thickness measurements exemplification.

8) Get serous detachment boundaries

After all selections are done, one calculates the coordinates of serous detachment boundaries' points with the aim of illustrating them.

9) Dimensions results conversion

As the dimensions and distances are computed with pixel values and the OCT-SLO's resolution is known, in this phase we convert these values to millimetres. The pixel dimensions are: width 7,8 μm and height 5,8 μm .

10) Illustration of steps classification

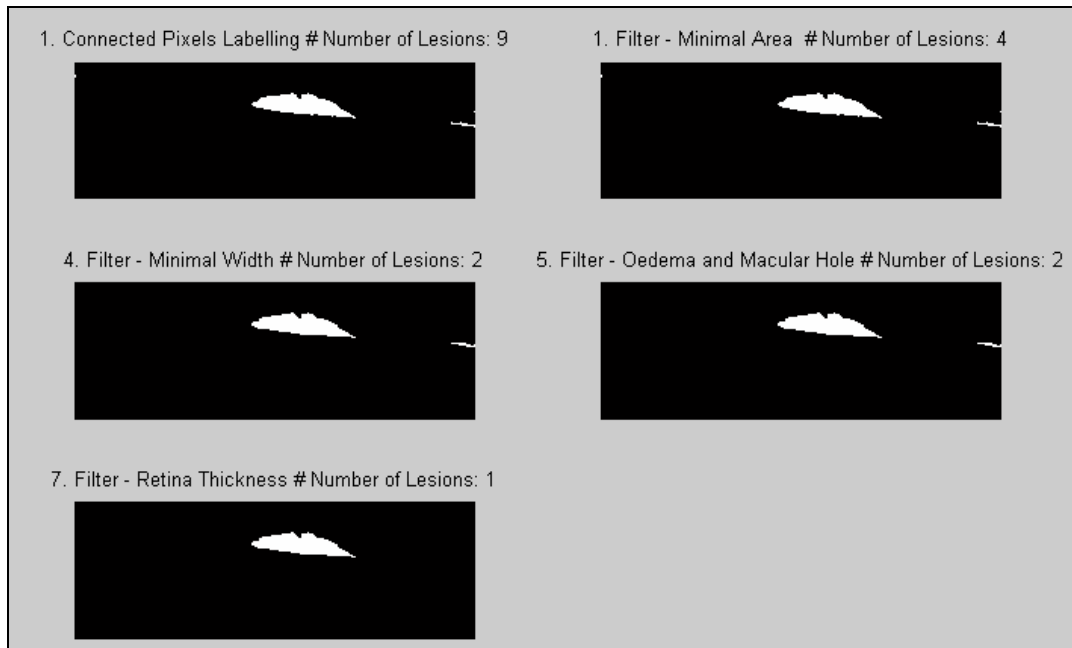


Illustration 48 - Serous Detachment classification of steps.

11) Serous detachment areas illustration

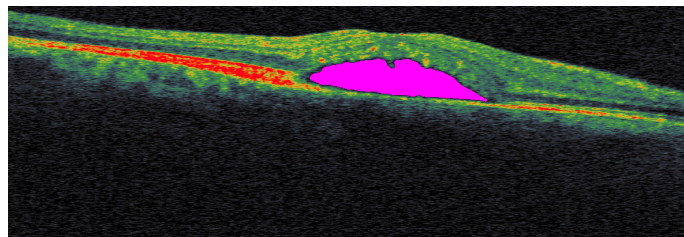


Illustration 49 - Serous detachment area.

12) Illustration of serous detachment boundaries

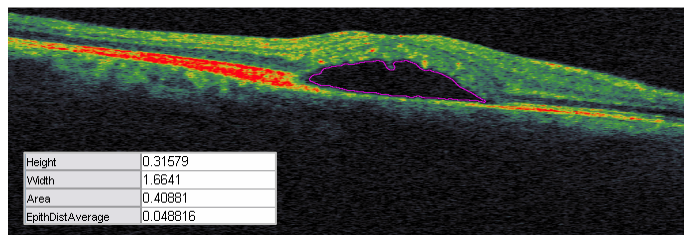


Illustration 50 - Serous detachment boundary and measurements.

VI.3.2. Oedema Detection

For the detection of oedemas it is also necessary to follow several phases that prepare the image to extract the required areas of information. The pre-processing steps are the same as for the serous detachment detection algorithm:

➤ Image Pre Processing

- 1) Get interest zone of image
- 2) Convert image to grey scale
- 3) Convert image to binary image
- 4) Noise Filter I: Median Filter
- 5) Serous Detachment Filter
- 6) Noise Filter II
- 7) Noise Filter III: Median Filter
- 8) Pre-processing steps illustration

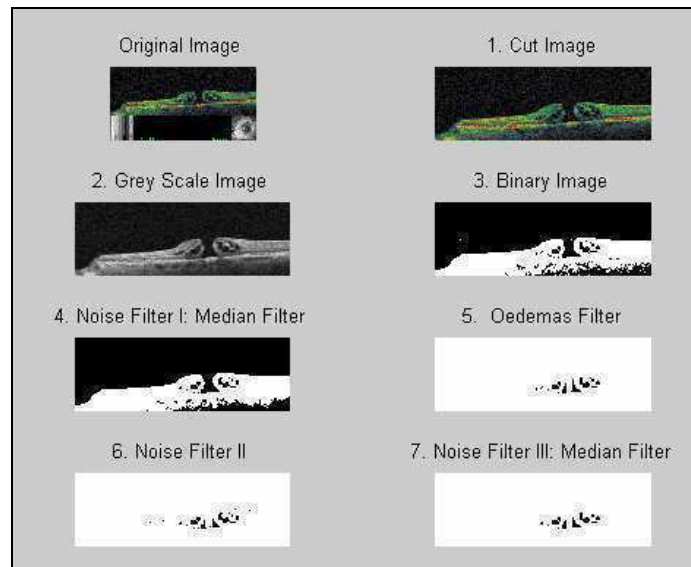


Illustration 51 - Oedema detection pre-processing steps.

➤ Connected Pixels Labelling

After image pre process performed, it is necessary, classifying existent areas and select areas that are really oedemas.

This classification is processed in the following steps:

1) Classify oedema areas

As a result of the image's pre-processing we obtain a white image with black areas that may be oedemas. In this phase there is a search for connected pixel groups using their 8 connected neighbours, and then they are labelled. Each label can be an oedema. [4]

➤ Extract the Required Lesions : Oedemas

1) Filter oedemas by minimal area

Some labelled areas have a smaller area and might be noise. It is necessary to remove these noise blemishes. Areas that are smaller than 10 pixels are removed.

2) Get oedemas size

In this point, it is computed serous detachments maximum width, maximum height and area. At this point, one computes serous detachments' maximum width, maximum height and area. Also the oedemas's points coordinates are determined.

3) Get serous detachment's distance to EPR

In this phase, the mean distance between oedema's base and EPR is computed.

4) Filter oedemas by minimal width

Some labelled areas have a smaller width and could be noise. It is necessary to remove these noise pixels. The minimal width allowed is 10 pixels.

5) Filter oedemas by localization

Usually, oedemas are placed in the macular area but when there is a macular hole they are placed around it. In this phase, oedemas are eliminated according to their position relatively to the macular zone. In this way, the oedemas that are placed in a peripheric area of the image are eliminated.

6) Serous detachment filter

In this phase, if there are serous detachments in the lesions so far selected, they are removed. If EPR distance is smaller than 12 pixels, lesions are removed.

7) Macular hole filter

At this point, if there is macular hole in the lesions selected so far, it is removed. Thus, if there is a lesion close to RAL, this lesion is removed.

8) Get oedemas boundaries

After all the selections, the oedemas boundaries' points coordinates are determined with the aim of illustrating them.

9) Convert dimension results

As the dimensions and distances are computed with pixels values the OCT-SLO's resolution is known, in this phase these values are converted to millimetres. The pixel dimensions are: width 7,8 μm and heigth 5,8 μm .

10) Illustration of classification steps



Illustration 52 - Oedemas classification steps.

11) Oedemas areas illustration

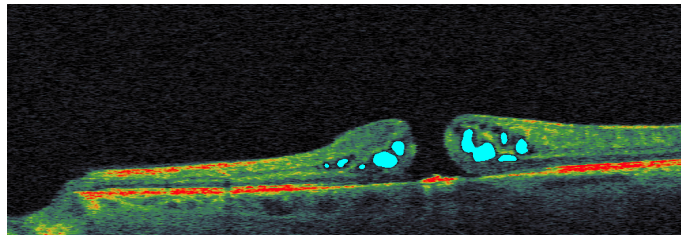


Illustration 53 - Oedemas areas.

12) Illustration of oedemas boundaries

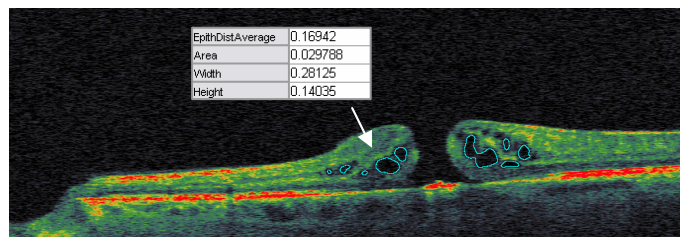


Illustration 54 - Oedemas boundaries and an oedema oedema's measurements.

VI.3.3. Macular Hole Detection

Since RAL detection also detects macular hole and returns its column values that characterize and approximately localize the macular hole, one uses a pre-processed binary image from this algorithm and the approached localization.

Thus, to prepare the image for extraction of macular hole it is only necessary to make a few changes. These changes are explained below:

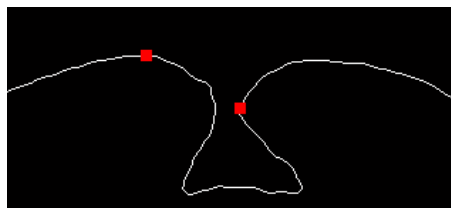


Illustration 55 - RAL detection: Hole column values illustration.

➤ Image Pre Processing

1) Macular holes filter

Retina layers' external zones are removed in this stage – above RAL and behind RPE – leaving only lesion zones that can be macular hole.

2) Noise Filter I

In this stage, an artefact that may appear on the left side of the image while performing the examination is removed. Sometimes, it appears as a left stripe on the left side of the image.

3) Noise Filter II: Median Filter

As a result of the previous operation, some small pixel aggregations might appear in the image that need to be removed.

4) Illustration of pre-processing steps

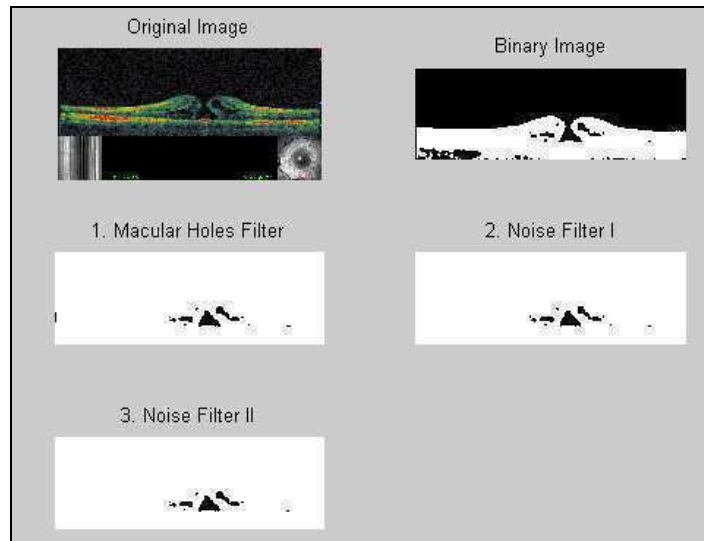


Illustration 56 - Oedemas detection pre-processing steps.

➤ **Connected Pixels Labelling**

After the image's pre-process is performed, it is necessary to classify the existing areas and select those that are macular hole.

This classification is processed in the following steps:

1) **Classification of Macular holes**

As a result of image pre-processing we obtain a white image with black areas that may be macular holes. In this phase there is a search for connected pixel groups, using 8 connected neighbours which are then labelled. Each label can be a macular hole. [4]

➤ **Extract the Required Lesion : Macular Hole**

1) **Filter oedemas by minimal area**

Some labelled areas have a smaller area that can be noise. It is necessary to remove these noise blemishes. The areas that are smaller than 30 pixels are removed.

2) **Macular holes filter I**

At this point, lesions that are far from RAL are removed. These may be either oedemas or serous detachments.

3) **Get macular holes size**

In this point, macular holes' maximum width, maximum height and area are determined. The macular holes' points coordinates are also computed.

4) **Macular holes filter II**

In this phase, if there is more than one lesion, the smallest one is removed.

5) **Get serous detachment's distance to EPR**

In this phase, the mean distance between the macular hole's base and the EPR is computed. This feature can distinguish a lamellar from a macular hole.

6) Get macular hole boundaries

After all the selections, the macular hole boundaries' points coordinates are computed with the aim of illustrating them.

7) Convert dimension results

As the dimensions and distances are computed with pixels values and the OCT-SLO's resolution is known, in this phase these values are converted to millimetres. The pixel dimensions are: width 7,8 μm and heigth 5,8 μm .

8) Illustration of steps classification

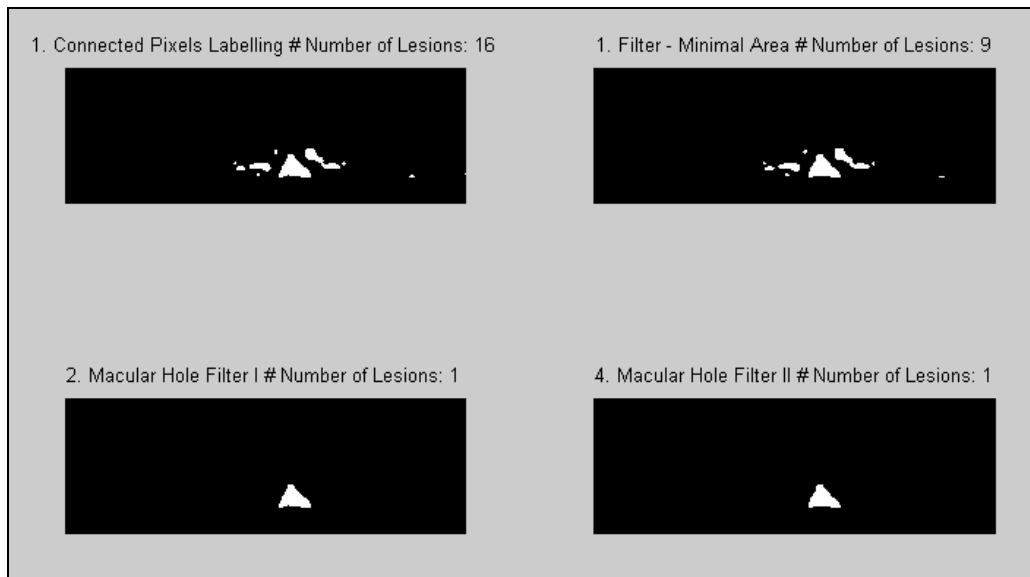


Illustration 57 - Macular hole's classification steps.

9) Macular hole area illustration

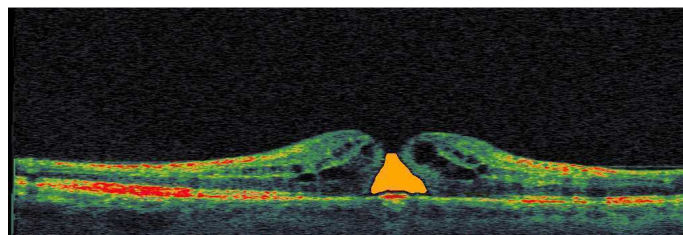


Illustration 58 - Macular hole area.

10) Macular hole boundaries illustration

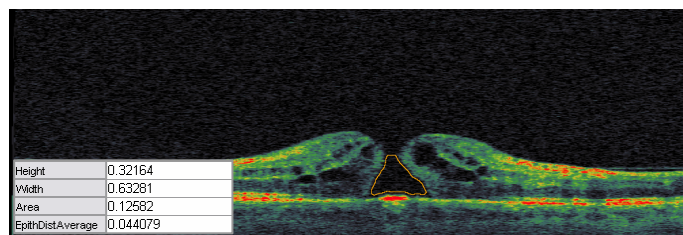


Illustration 59 - Macular hole boundaries and measures.

VI.4. Algorithm Tests

Tests were performed in order to verify the image processing time and generalization capacity, so we tested algorithms' performance and efficiency.

Related to the processing time, the duration of image processing can vary between one to two seconds. Since they use information from other algorithms, when that information doesn't exist it is necessary to compute it, extending the time of process.

Algorithms processing time (s)	
Serous detachment detection	0.98 – 2.30
Oedema detection	0.99 – 2.40
Macular hole detection	1.72 – 2.90

Table 20 - Algorithms processing time.

During the development of algorithms we performed tests to verify its right function and corrected the failures we found.

To test their generalization capacity in a large number of images, we performed tests in 557 valid images. From the total number of images (637) we removed 80 images that had no quality showing noise acquisition. This number of images is the result of 39 different exams.

Macular hole detection has the greatest generalization efficiency, since it is easier to localize. Oedemas and serous detachments are not so easy to accurately detect because in some images there might appear some black regions (blood vessels, photoreceptors) that can be mistaken for the searched lesions.

Algorithms Generalization Efficiency (%)	
Serous detachment detection	81,87 %
Oedema detection	91,92 %
Macular hole detection	99 %

Table 21 - Algorithms generalization efficiency.

VII. Document References

During the project's development some documents were created to give support to it. Their main purpose was to organize information and to make simpler the understanding of project's goals.

VII.1. Timetable I

[Attachment A]

This document, WIA-DM_Cronograma_06Fev-28Fev_v0.2, describes in detail the tasks planned for the time period from February 6th to February 28th. It was created in February, 2007.

VII.2. Timetable II

[Attachment A]

This document, WIA-DM_Cronograma_01Mar-31Mar_v0.2, describes in detail the tasks planned for the time period between Mars 1st to Mars 31st. It was created in February, 2007.

VII.3. Timetable III

[Attachment A]

This document, WIA-DM_Cronograma_01Abr-31Abr_v0.2, describes in detail the tasks planned for the time period between April 1st to April 31st. It was created in April, 2007.

VII.4. Timetable IV

[Attachment A]

This document, WIA-DM_Cronograma_01Mai-31Mai_v0.2, describes in detail the tasks planned for the time period from May 1st to May 31st. It was created in April, 2007.

VII.5. Timetable V

[Attachment A]

This document, WIA-DM_Cronograma_01Jun-02Jul_v0.3, describes in detail the tasks planned for the time period from June 1st to July 2nd. It was created in April, 2007.

VII.6. CCC Clinical Process Specification

This document, WIA-DM_EspecificaçãoProcessoClínicoCCC_v02, describes in detail the clinical process at CCC: on the one hand, the information flux and on the other, the interfering entities with resource to workflow diagrams. It also focused the way in which the examination results are managed and transmitted. In this document there is a collection of the clinic's forms. It was created in September, 2006.

VII.7. Project Specification

This document, WIA-DM_EspecificaçãoProjectoCCC_v01, describes the project's goals, some ideas of methodologies to follow, tools and technologies as well as the activities' timetable. It was created in September, 2006.

VII.8. Project Presentation at CCC

This document, WIA-DM_ApresentacaoProjectoCCC_v02, is a presentation of the issues from the previous document, WIA-DM_EspecificaçãoProjectoCCC_v01, presented at the CCC. Its creation took place in September, 2006.

VII.9. Diagnosis Phases Specification

This document, WIA-DM_FasesDiagnosticoCCC_v01, describes in detail the several stages of the diagnoses plannification . It introduces the ocular globe's anatomy, describes the main cases of study, with the steps followed to reach a diagnosis. In the end it specifies in detail the diseases detected by each equipment. It was created in September, 2006.

VII.10. Retina Characteristics Specification in images of OCT

This document, WIA-DM_EspecificaçãoCaracterísticasImagensOCTRetinaCCC_v01, introduces the diseases to learn and specifies the main and auxiliary features to extract from images. Its creation took place in October, 2006.

VII.11. Retinopathies Characteristics Specification

This document, WIA-DM_EspecificaçãoCaracterísticasRetinopatologiasCCC_v02, specifies and demonstrates the features to extract from the images of some medical examinations. It also explains the physiologic bases to understanding the appearance of retinopathies. It was created in December, 2006.

VII.12. First Curricular Presentation

This document, WIA-DM_1aApresentacaoIntercalar_v3, is a project overview specifying the project's mission, main goals and planning. It was created in February, 2007.

VII.13. Methods for Extraction characteristics in OCT Image

This document, WIA-DM_ProgramacaoTarefasAnaliseImagensOct_v0.1, specifies some methods to extract parameters from OCT images in the image processing. It was created in June, 2007.

VII.14. Final Curricular Presentation

This document, WIA-DM_2aApresentacaoIntercalar_v1, is a final project's overview explaining the project's mission, reached goals and future purposes. Its creation took place in May, 2007.

VII.15. Software Tests Specification

[Attachment B]

This document, WIA-DM_EspecificacaoSoftware.BD_v01, describes the software tests made in the application after all functionalities were integrated with the purpose of confirming the correct running of the application and indentifying possible problems. It was created in April, 2007.

VII.16. Software Specification: Database Access Layer

[Attachment C]

This document, WIA-DM_EspecificaçãoTestesSoftware_v01, describes the software and explains in detail the database and access to data. It explains also the database's and the application's security issues. It was created in June, 2007.

VII.17. Retina Characteristics Detection in OCT-SLO Images: Serous Detachment, Oedema and Macular Hole

[Attachment D]

This document, WIA-DM_DetecçãoCaracterísticasRetinaImagensOCT.SLO-DS.E.BM_v01, begins with a description of the image types that are analysed: normal and pathologic. It explains the algorithms created to extract characteristic from the images. It is also described how the algorithms acted, the processing time and generalization capacity. It was created in June, 2007.

VIII. Conclusions and Future Purposes

By the end of the project's development, it was necessary to make an evaluation of work that had been done, the challenges that were found and how they were overcome, the acquired formation and the prediction of future developments.

VIII.1. Conclusions

In the beginning of the project's development, there was only an abstract idea of what its content would be. The idea had to be developed and the project's purposes defined. These goals were continuously restructured along time according to the needs that were found.

First, we made thorough studies of the clinical workflow and the availability of equipments at CCC. At this point, we concluded that there is a lot of information in paper as well as distributed between two software applications that do not share information among them. Both have one and the same patient registered which constitutes a disadvantage.

Since the available software applications (CMOC and HIGIA) have closed software solutions - do not share data - and the equipment that seemed easier to integrate has also got a closed software solution, we proposed to create an integrated solution that could be able to import OCT-SLO's examination results. These have a medical standard format (DICOM) and support the electronic patient record (EPR) with an administrative software connection option.

After the study of retinopathies, we realised there are numerous retinal diseases that result mostly from the lack of oxygen in retinal cells which are characterized by several parameters. In OCT-SLO equipment one can perform several examination types.

In the B-scan examination type, several macular diseases can be detected (like macular hole, for example, that reflects in specific images). In the beginning we defined certain parameters to measure in the b-scan image that, with the algorithms development, were adapted in order to detect the intended retinal lesions.

The image processing phase provided retrieval of information of some macular diseases' pre-diagnosis (such as retinal serous detachment) as well as the presence of macular hole and oedema, with detailed information on it (such as area, width and height of retinal lesions).

The developed algorithms have different sensitivity degrees when applied to a large number of images.

The macular hole detection revealed good results, with a success rate of 99%. Because in normal situations there is only one hole and its localization is in macular zone, it becomes easier to detect and localize it. One of the disadvantages of macular hole detection is that it detects also the retinal detachment when it is attached to the macular hole.

In what concerns the detection of retinal serous detachment and oedemas, their success rate was lower (80% and 90%, respectively) This was due to the fact that they can appear in a larger number and disperse by the retina layers. One of the disadvantages of these two algorithms is the detection of some photoreceptors' layer areas since they are also non-reflective.

These algorithms were tested in a large amount of images coming from the CCC - about five hundred - some of which were removed from the tests due to their poor quality, sometimes originated during the examination acquisition.

In order to apply data mining techniques to the characteristics that were extracted from the examination images, we initially thought of manually cataloguing the images' characteristics and saving those parameters in the database. However, that would be a rather exhausting process. Therefore, we opted for concentrating all our efforts in the automatic image processing module which

turned out to contribute a great deal to the project's worth. In this way, the data mining module was left in a less developed stage since the amount of analysable data was scarce. Nevertheless, we realised its potentialities in case it is applied to a larger data amount.

In general, we may conclude that the project's principal objectives were successfully achieved.

VIII.2. Challenges

During the project's development there were several challenges that needed to be overcome.

The first difficulty was the project objectives' definition and all the updates during the project's length.

After that, the challenge was to correctly perceive the clinical workflow processes and the involved entities, as well as the removal of the processes' subjectivity - namely, in the diagnosis phases workflow.

In the development of the software, adapting the `c#` programming language and realising the weak programming basis represented an obstacle that was, nevertheless, overcome with the team and the coordinators' help.

Another challenge was met in image processing. It had to do with finding the appropriate definition of strategies to extract the necessary image parameters, especially algorithms to detect and classify the connected pixels in a binary image.

The final challenge was to write the project's report in English.

VIII.3. Formation

While developing this project we acquired an important amount of knowledge: on the one hand, through the contact we had with medical persons (physicians, technicians, nurses) and, on the other hand, through learning the technologies and tools used in it.

Consequently, we acquired considerable abilities to proceed studies in this domain.

VIII.4. Future Purposes

Our major purpose to the future is to obtain an intelligent system that helps physicians to get an exact diagnosis, to control the evolution of diseases evolution and their treatment and to plan surgeries, both in the clinical and administrative fields.

Besides providing computer assisted diagnosis, this system will allow estimation of treatments' cost and duration, connection to other medical specialities' data (ex: endocrinology), prediction of the appearance of diseases, as well as their evolution and treatment expenses.

To reach these goals, the work to carry out is:

- To improve software functionalities according to medical needs, including access to information concerning other clinical specialities like endocrinology or neurology, for example.
- To integrate new ocular testing equipments in new modules, like angiography or retinography, for example.
- To improve the efficiency of the developed image processing algorithms. For instance, the algorithm to detect macular hole can have its success rate bettered if one can make sure that it doesn't detect a retinal detachment that may be associated to the macular hole. The same applies to the algorithm for serous detachment and oedema identification that can detect regions of photoreceptors and would be improved if it didn't. One way of preventing the former is to compare the algorithm results from LAR and macular hole detection since the LAR detection can identify the presence of macular hole without retinal

detachment. To improve the serious detachments algorithms, one can compare the b-scan image to the retina image from the B-scan and check for detachments presence. Another purpose to improve in the algorithms' efficiency is the possibility of comparing the existing results with results from the analysis of other examination types.

- To develop strategies and algorithms to remove automatically noised images of OCT-SLO examinations, keeping only the ones with good quality. In the present, this task is performed by the technician who performs the examination.
- To develop new algorithms and new strategies to detect other characteristics in these and other OCT-SLO image types and save them in database table Parameters.
- To apply data mining to the extraction of pre-diagnoses and other useful informations from image processing algorithms.
- To integrate administrative information from the administrative software and to unify all information through the application of data mining to these data.
- In the long term, to create a similar solution on-line, in order to allow connection between distant physicians (to make consultations, discuss examination analyses, reports, etc.).

In conclusion, this model can transform the way in which the ocular diseases diagnoses are done and physicians see treatment possibilities.

The picture below exhibits the general architecture of the software with future work proposals distinguished.

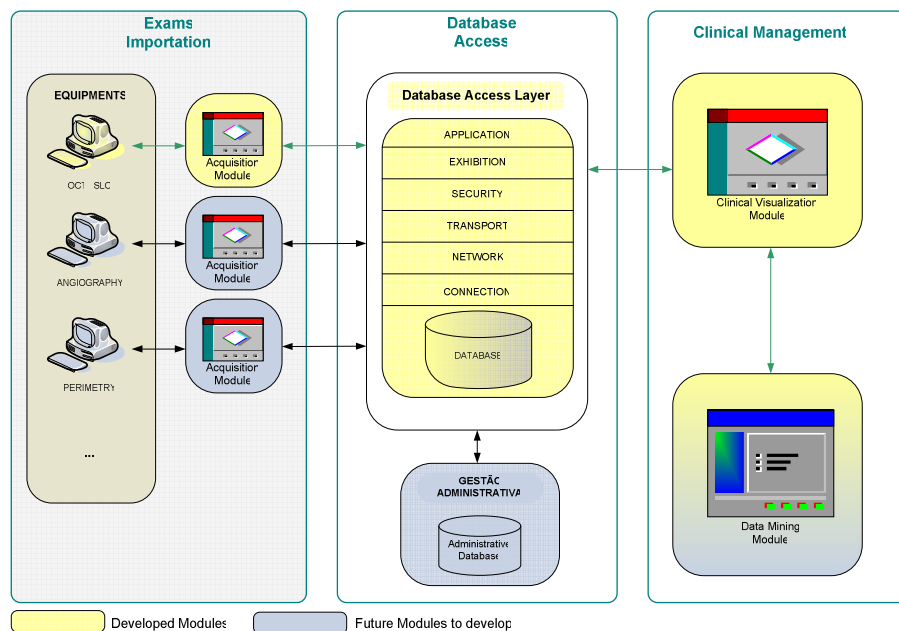


Illustration 60 - General architecture with future purposes.

IX. References

- [1] – Blood Aqueous Barrier – <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/blood-aqueous+barrier/>
- [2] – C# – http://en.wikipedia.org/wiki/C_sharp
- [3] – C# .NET Remoting – <http://www.csharpshelp.com/archives2/archive460.html>
- [4] – Connected component labelling - <http://blogs.mathworks.com/steve/2007/04/15/connected-component-labeling-part-4/>
- [5] – Data Mining – http://en.wikipedia.org/wiki/Data_mining
- [6] – Diagnosis Support System Ophthalmology – http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V03-4GTVV3-8&_user=10&_coverDate=02%2F28%2F2006&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=7ced863e8334a325aebf85354191d9a2/
- [7] – Diagnosis Support System Ophthalmology – http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V15-4DF4C1Y-1&_user=10&_coverDate=03%2F01%2F2005&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=bb494a0b83ab5f868e17c747966993cc/
- [8] – Eye – <http://en.wikipedia.org/wiki/Eye>
- [9] – Fernández, D. C.; Salinas, H. M.; Puliafito, C. A. (2005), “Automated detection of retinal layer structures on optical coherence tomography images”, Bascom Palmer Eye Institute, University of Miami Miller School of Medicine, 1638 NW. 10th Ave, Miami, FL, 33136; USA
- [10] – Gupta, Vishali; Gupta, Amod; Dogra, Mangat R.; *ATLAS - Optical Coherence Tomography of macular diseases*, Taylor & Francis, London, ISBN 1 84184 468 3, 2004
- [11] – ICD 10 – <http://en.wikipedia.org/wiki/ICD#ICD-10>
- [12] – ICD 10 Online – <http://www.who.int/classifications/apps/icd/icd10online>
- [13] – Microsoft SQL Server – http://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_SQL_Server
- [14] – Microsoft Visual Studio – http://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio
- [15] – Neto, António Valério; “Image Processing and Analysis for measuring Ocular Refraction Errors”, Institute of Mathematics and Computer Science, University of São Paulo, São Carlos, 2003
- [16] – OCT-SLO – <http://www.oti-canada.com/documents/oct.pdf>
- [17] – Pierro, Luisa; *Atlanti de OCT/SLO: Una diversa chiave di lettura delle patologie retiniche*, Fabiano editore, Canelli, Italy, ISBN 88 89629 19 3, 2006
- [18] – Retinography – <http://www.eyetec.net/group5/M23S1.htm>
- [19] – SQL – <http://en.wikipedia.org/wiki/SQL>
- [20] – Stored Procedure – http://pt.wikipedia.org/wiki/Stored_procedure
- [21] – Sybase Power Designer – <http://www.sybase.com/products/modelingmetadata/powerdesigner/>
- [22] – Table-valued Function – [http://msdn2.microsoft.com/en/library/ms191165\(SQL.90\).aspx](http://msdn2.microsoft.com/en/library/ms191165(SQL.90).aspx)
- [23] – .NET Remoting – http://en.wikipedia.org/wiki/.NET_Remoting

X. Attachments

Attachment A

- Timetable I
- Timetable II
- Timetable III
- Timetable IV
- Timetable V

Attachment B

- Software Tests Specification

Attachment C

- Software Specification: Database Access Layer

Attachment D

- Retina Characteristics Detection in OCT-SLO Images: Serous Detachment, Oedema and Macular Hole

Attachment A

- Timetables I, II, III, IV and IV -

WIA-DM - Cronograma de Tarefas de 06/02/07 a 28/02/07

	Tarefa	06-Fev	07-Fev	08-Fev	09-Fev	10-Fev	11-Fev	12-Fev	13-Fev	14-Fev	15-Fev	16-Fev	17-Fev	18-Fev	19-Fev	20-Fev	21-Fev	22-Fev	23-Fev	24-Fev	25-Fev	26-Fev	27-Fev	28-Fev	
Todos	Definir das estruturas de dados da BD necessários																								
	Familiarização com sintaxe e configurações do SQL Server 2005																								
Armanda	Criação de BD em SQL Server																								
	Implementação da ligação à BD																								
	Definição de queries, métodos, funções necessárias de ligação à BD																								
	Preparação da 1a Apresentação Intercalar																								
	Implementação de queries, métodos, funções necessárias de ligação à BD																								
	Constante actualização das passos anteriores conforme as necessidades																								

WIA-DM - Cronograma de Tarefas de 01/04/07 a 30/04/07

	Tarefa	01-Abr	02-Abr	03-Abr	04-Abr	05-Abr	06-Abr	07-Abr	08-Abr	09-Abr	10-Abr	11-Abr	12-Abr	13-Abr	14-Abr	15-Abr	16-Abr	17-Abr	18-Abr	19-Abr	20-Abr	21-Abr	22-Abr	23-Abr	24-Abr	25-Abr	26-Abr	27-Abr	28-Abr	29-Abr	30-Abr			
Armanda	Optimização da lista de pacientes por médico e respectivas doenças.																																	
	Actualizações da BD. Adição de tabelas necessárias. (Correspondência de médicos-pacientes e equipamentos-tipos de exame.)																																	
	Stored procedures, funções e métodos para administrador.																																	
	Stored procedures, funções e métodos para integração de calendário.																																	
	Optimização de queries, métodos e funções. Comentários, testes.																																	
	Testes à aplicação - Módulo de Aquisição.																																	
	Testes à aplicação - Módulo de Gestão Clínica																																	
	Conclusão e documentação dos testes de sistema efectuados.																																	
	Instalação e configuração do Matlab.																																	
	Pesquisa de técnicas de análise de imagens.																																	

WIA-DM - Cronograma de Tarefas de 01/05/07 a 02/06/07

Tarefa	Armanda			
	2a Apresentação Intercalar	Documentação do processamento de Imagem	Documentação do Software - Camada de Acesso à Base de Dados	Elaboração do relatório final.
	01-Jun			
	02-Jun			
03-Jun				
04-Jun				
05-Jun				
06-Jun				
07-Jun				
08-Jun				
09-Jun				
10-Jun				
11-Jun				
12-Jun				
13-Jun				
14-Jun				
15-Jun				
16-Jun				
17-Jun				
18-Jun				
19-Jun				
20-Jun				
21-Jun				
22-Jun				
23-Jun				
24-Jun				
25-Jun				
26-Jun				
27-Jun				
28-Jun				
29-Jun				
30-Jun				
01-Jul				
Entrega do Relatório Final	02-Jul			

Attachment B

- Software Tests Specification -

Data	ID Teste	Módulo	Descrição do Teste	Mensagem obtida	Tipo de mensagem	Opção	Comentário	Resultado	Corrigido?	
26-04-07	1	Antes de entrar na aplicação	Login	Login só com username.	Nome de utilizador incorrecto	Erro	-	-	OK	-
	2			Login só com password.	-	-	-	O botão de login não fica activado.	OK	-
	3			Login com username em maiúsculas.	-	-	-	O botão de login não fica activado.	OK	-
	4			Cancelar o login.	Tem a certeza de que pretende sair da aplicação?	Alerta	Não	Volta ao login.	OK	-
	5			Cancelar o login.	Tem a certeza de que pretende sair da aplicação?	Alerta	Sim	Fecha a aplicação.	OK	-
	6			Login com username válido e password inválida.	Login inválido	Erro	-	-	OK	-
	7			Login com username válido e password com Caps Lock ligado.	Caps Lock está ligado.	Aviso	-	-	OK	-
	8			Login com username e password válidos.	A carregar definições pessoais...	Informativa	-	Demora alguns segundos a carregar (~14)	OK	-
	9			Fechar a aplicação.	Tem a certeza de que pretende sair da aplicação?	Alerta	Não	Volta atrás.	OK	-
	10			Fechar a aplicação.	Tem a certeza de que pretende sair da aplicação?	Alerta	Sim	Fecha a aplicação.	OK	-
	11	Dentro da Aplicação	Acesso Logout	Logout / Ctrl + L	Tem a certeza de que pretende concluir a sua sessão? Todas as alterações não guardadas serão perdidas.	Alerta	Não	Volta atrás.	OK	-
	12			Logout / Ctrl + L	Tem a certeza de que pretende concluir a sua sessão? Todas as alterações não guardadas serão perdidas.	Alerta	Sim	Volta ao login.	OK	-

Tabela 1 – Testes de autenticação e depois da autenticação (1 a 12).

Data	ID Teste	Módulo	Descrição do Teste	Mensagem obtida	Tipo de mensagem	Opção	Comentário	Resultado	Corrigido?				
26-04-07	13	Dentro da Aplicação	Sair	Sair / Ctrl + S	Tem a certeza de que pretende sair da aplicação?	Alerta	Não	Volta atrás.	OK	-			
	14			Sair / Ctrl + S	Tem a certeza de que pretende sair da aplicação?	Alerta	Sim	Fecha a aplicação.	OK	-			
	15		Acesso	Alterar Palavra-Passe / Ctrl + P	Preencher só um dos campos.	Erro ao alterar palavra-passe Todos os campos são obrigatórios.	Erro	-	-	OK	-		
	16				Preencher só dois dos campos.	Erro ao alterar palavra-passe Todos os campos são obrigatórios.	Erro	-	-	OK	-		
	17				Nova palavra passe e repetição da palavra-passe diferentes.	Erro ao alterar palavra-passe Por favor escreva a mesma palavra-passe nas caixas de confirmação.	Erro	-	-	OK	-		
	18				Palavra passe antiga inválida e nova palavra passe e repetição da palavra-passe válidas.	A palavra-passe não foi alterada.	Erro	-	-	OK	-		
	19				Palavra-passe antiga válida e nova palavra-passe igual à antiga.	A palavra-passe não foi alterada.	Erro	-	-	OK	-		
	20				Palavra-passe antiga válida e nova palavra passe válida.	Palavra passe alterada com sucesso	Informativa	-	-	OK	-		
	21				Gestão de Pacientes	Os meus Pacientes	Activar opção mostrar todos os pacientes.	-	-	-	Mostra todos os pacientes existentes na BD.	OK	-
	22						Desactivar opção mostrar todos os pacientes.	-	-	-	Volta a mostrar só os pacientes daquele médico.	OK	-
23	Ordenar pacientes por ID, clicando no cabeçalho da lista. (asc)	-	-	-			-	OK	-				

Tabela 2 - Testes depois da autenticação e ao Módulo Gestão de Pacientes (13 a 23).

Data	ID Teste	Módulo	Descrição do Teste	Mensagem obtida	Tipo de mensagem	Opção	Comentário	Resultado	Corrigido?	
26-04-07	24	Gestão de Pacientes	Ordenar pacientes por ID, clicando no cabeçalho da lista. (desc)	-	-	-	-	OK	-	
	25		Os meus Pacientes Exames não verificados	Ordenar colunas por ordem asc ou desc.	-	-	-	-	OK	-
	26			Duplo clique num dos cabeçalhos da lista.	"O índice estava fora do intervalo. Tem de ser não negativo e inferior ao tamanho da coleção.Nome do parâmetro: index"	Excepção	-	-	NOT OK	Sim ✓
	27			Mudar a ordem das colunas, arrastando os cabeçalhos.	-	-	-	-	OK	-
	28			Clique e duplo clique fora da área dos pacientes/exames.	-	-	-	Não faz nada.	OK	-
	29			Clique e duplo clique fora da área da tabela.	-	-	-	Não faz nada.	OK	-
	30	Os meus Pacientes		Duplo clique num paciente	-	-	-	Carrega as informações pessoais e clínicas desse doente.	OK	-
	31		Clicar na cruz, em cima e à direita, para fechar o módulo.	Tem a certeza de que pretende fechar o módulo Gestão de Pacientes? Todas as alterações não guardadas serão perdidas.	Alerta	Não	Volta atrás.	OK	-	
	32		Clicar na cruz, em cima e à direita, para fechar o módulo.	Tem a certeza de que pretende fechar o módulo Gestão de Pacientes? Todas as alterações não guardadas serão perdidas.	Alerta	Sim	Fecha o módulo.	OK	-	

Tabela 3 - Testes ao Módulo Gestão de Pacientes (24 a 32).

Data	ID Teste	Módulo		Descrição do Teste	Mensagem obtida	Tipo de mensagem	Opção	Comentário	Resultado	Corrigido	
26-04-07	33	Gestão de Pacientes	Paciente	Histórico	Clicar em 'Voltar ao menu inicial'	-	-	-	Volta ao menu inicial com a lista de pacientes e exames.	OK	-
	34				Clicar na tab histórico.	-	-	-	Mostra o histórico do doente.	OK	-
	35			Tab Histórico	Adicionar notas ao histórico.	-	-	-	As notas são adicionadas com a identificação de quem as escreveu, data e hora.	OK	-
	36			Tab Dados Pessoais	Clicar na tab 'Dados Pessoais'	-	-	-	Mostra os dados pessoais.	OK	-
	37			Tab Consultas	Clicar na tab 'Consultas'	-	-	-	Mostra as consultas daquele médico com aquele paciente.	OK	-
	38				Clicar num dos botões de uma consulta e activá-lo.	-	-	-	Mostra uma janela com as ocorrências para esse dia, identificadas pela hora.	OK	-
	39				Clicar num botão de uma consulta activado e desactivá-lo.	-	-	-	Retira a janela com as ocorrências desse dia.	OK	-
	40				Clicar em vários botões de consulta, activando-os.	-	-	-	Aparecem as janelas com os dados dessas consultas, pela ordem que foram escolhidos.	OK	-
	41			Tab Pedir Exames	Não fazer nada.	-	-	-	O botão configurar pedidos não fica activado enquanto não se escolhe um tipo de exame	OK	-
	42				Escolher um pedido de exame e uma data	-	-	-	Não deixa escolher uma data anterior a actual.	OK	-

Tabela 4 - Testes ao Módulo Gestão de Pacientes (33 a 42).

Data	ID Teste	Módulo		Descrição do Teste	Mensag em obtida	Tipo de mensag em	Opção	Comentário	Resultado	Corrigido				
27-04-07	43	Tab Pedir Exames		Escolher pedidos e clicar em Configurar pedidos	-	-	-	Aparecem os exames escolhidos atrás a vermelho, porque ainda não foram configurados.	OK	-				
	44	Gestão de Pacientes	Tab Pedir Exames	Janela Marcar Exames				O pedido escolhido fica assinalado a uma cor mais clara, na lista 'Máquinas' aparecem as que estão disponíveis para esse exame, e no calendário as horas disponíveis para o dia escolhido atrás (por defeito aparece para o dia actual). Aparece também o esquema das zonas do olho, se no pedido foi escolhida uma zona do olho a examinar.	OK	-				
	45							Escolher um pedido e clicar nas várias máquinas disponíveis.	-	-	-	Aparecem as horas disponíveis por cada máquina, para aquele tipo de exame, para aquele dia.	OK	-
	46							Fechar a janela.	-	-	-	Volta atrás e o pedido não é feito.	OK	-
	47							Escolher um pedido, uma máquina, escrever uma mensagem, alterar a zona do olho pretendida, escolher uma hora e clicar 'Confirmar Pedido'.	-	-	-	O pedido torna-se verde, sinalizando que já foi configurado. (Verde claro quando (ainda) seleccionado, verde escuro, quando for seleccionado outro.	OK	-
	48							Escolher um pedido ainda não configurado (marcado a vermelho) e clicar 'Eliminar pedido'	-	-	-	O pedido é eliminado da lista de pedidos.	OK	-
	49							Escolher um pedido já confirmado (marcado a verde).	-	-	-	É possível ver para quando foi marcado, mas não é possível alterá-lo de imediato. Ficam activados os botões 'Alterar Pedido' e 'Eliminar Pedido'.	OK	-

Tabela 5 - Testes ao Módulo Gestão de Pacientes (43 a 49).

Data	ID Teste	Módulo	Descrição do Teste	Mensagem obtida	Tipo de mensagem	Opção	Comentário	Resultado	Corrigido
26-04-07	50	Gestão de Pacientes Tab Pedir Exames: Janela Marcar Exames	Escolher um pedido já confirmado (marcado a verde) e voltar a editá-lo clicando em 'Alterar Pedido'	-	-	-	Ficam activadas as opções desse pedido e podem ser novamente editadas.	OK	-
	51		Com um pedido seleccionado, escolher outra data para o exame.	-	-	-	Mostra a disponibilidade, consoante o dia escolhido.	OK	-
	52		Clicar em 'Registar todos os Pedidos', enquanto não estão todos os pedidos confirmados. (a verde)	-	-	-	O botão 'Registar todos os Pedidos' não está activado enquanto não estiverem todos os pedidos confirmados. (a verde)	OK	-
	53		Clicar em 'Registar todos os Pedidos', quando estão todos os pedidos confirmados. (a verde)	-	-	-	Voltamos à tab 'Pedir Exames', onde os pedidos ficam registados na tabela 'Pedidos Pendentes para este Paciente'	OK	-
	54		Clique ou duplo clique em qualquer pedido que apareça na tabela 'Pedidos Pendentes para este Paciente'	-	-	-	Não faz nada.	OK	-
	55		Clique e duplo clique em áreas fora de botões.	-	-	-	Não faz nada.	OK	-
	56		Clique no cabeçalho da tabela 'Pedidos Pendentes para este Paciente', em qualquer das colunas.	-	-	-	Ordena os dados por ordem ascendente e descendente se voltar a clicar.	OK	-
	57		Duplo clique no cabeçalho da tabela 'Pedidos Pendentes para este Paciente', em qualquer das colunas.	-	-	-	Não faz nada.	OK	-
	58		Escolher um pedido de exame para ambos os olhos na tab 'Pedir Exames' e clicar em 'Configurar Pedidos'	-	-	-	Aparecem dois pedidos de exame na janela 'Marcar Exame', um para o olho esquerdo, outro para o olho direito.	OK	-
	59		Maximizar a janela 'Marcar Exame'	-	-	-	Os conteúdos são redimensionados excepto a agenda das horas, e as 19 e 20 horas ficam desalinhas. O botão 'Registar Pedidos' aumenta e os outros não.	NOT OK	Sim ✓

Tabela 6 - Testes ao Módulo Gestão de Pacientes (50 a 59).

Data	ID Teste	Módulo		Descrição do Teste	Mensagem obtida	Tipo de mensagem	Opção	Comentário	Resultado	Corrigido	
27-04-07	60	Gestão de Pacientes	Tab Pedir Exames	Janela Marcar Exames	Redimensionar as <i>tabs</i> - Diminuir a largura da <i>tab</i> 'Consultas'	-	-	-	A <i>tab</i> Consultas redimensiona-se e se tiver consultas abertas fica com barras de deslocamento horizontal.	OK	-
	61				Fechar e voltar a abrir consultas com a <i>tab</i> Consultas com largura diminuída.	-	-	-	As novas consultas abertas ajustam-se ao novo tamanho da <i>tab</i> , sendo o título 'Ocorrências para [data]' truncado.	NOT OK	Não x
	62				Aumentar de novo a largura da <i>tab</i> 'Consultas'	-	-	-	As janelas das consultas mantém-se no mesmo tamanho e no caso de texto truncado, ele não volta a aparecer.	NOT OK	Não x
	63				Diminuir a largura da parte dos botões das consultas.	-	-	-	Surge uma barra de deslocamento horizontal para os botões.	OK	-
	64				Diminuir a largura da <i>tab</i> Dados Pessoais.	-	-	-	O texto é truncado, mas volta a aparecer se for aumentada a largura à <i>tab</i> .	OK	-
	65				Aumentar a largura da <i>tab</i> Dados Pessoais.	-	-	-	Surge uma 'barra cinzenta estranha' vertical.	NOT OK	-
	66				Diminuir a largura da <i>tab</i> Histórico.	-	-	-	Os dados são redimensionados.	OK	-
	67				Aumentar a largura da <i>tab</i> Histórico.	-	-	-	Os dados são redimensionados.	OK	-
	68				Diminuir a largura da <i>tab</i> Pedir Exame.	-	-	-	Os nomes dos exames ficam sobrepostos pelas caixas de escolha do olho, o gráfico do olho fica sobreposto pelo calendário.	NOT OK	Sim ✓
	69		Aumentar a largura da <i>tab</i> Pedir Exames.		-	-	-	Os dados são redimensionados.	OK	-	
70		Tab Exames Realizados		Aumentar a largura da <i>tab</i> Exames Realizados.	-	-	-	Os dados são redimensionados.	OK	-	

Tabela 7 - Testes ao Módulo Gestão de Pacientes (60 a 70).

Data	ID Teste	Módulo	Descrição do Teste	Mensagem obtida	Tipo de mensagem	Opção	Comentário	Resultado	Corrigido
27-04-07	71	Tab Exames Realizados	Diminuir a largura da tab Exames Realizados.	-	-	-	Os dados são redimensionados.	OK	-
	72		Clicar na tab Exames Realizados.	-	-	-	Aparece a vermelho os exames ainda não vistos pelo médico e os já vistos não estão marcados.	OK	-
	73		Clicar em cada um dos botões correspondentes a cada exame.	-	-	-	O botão expande-se e aparecem os detalhes desse exame.	OK	-
	74		Clicar em 'Prognóstico'	-	-	-	Mostra a janela 'Confirmação de Diagnósticos'	OK	-
	75	Janela 'Confirmação de Diagnósticos'	Pesquisar um diagnóstico começando a escrever a palavra pretendida.	-	-	-	Mostra na lista de patologias as patologias com essa palavra ou parte de palavra.	OK	-
	76		Adicionar uma das patologias pesquisada ou escolhida directamente da lista.	-	-	-	A patologia é adicionada à lista 'Diagnósticos atribuídos'	OK	-
	77		Escolher uma patologia e clicar em 'Remover'	-	-	-	A patologia é removida da lista 'Diagnósticos atribuídos'	OK	-
	78		Clicar em Aceitar.	-	-	-	A janela é fechada e o botão deixa de estar vermelho, mostrando as patologias que o médico escolheu. O botão do prognóstico desaparece. O nome da patologia aparece truncado.	NOT OK	Sim ✓
	79		Fechar a janela.	-	-	-	A janela é fechada e o diagnóstico não é confirmado, continuando o botão a vermelho.	OK	-
	80	Tab Exames Realizados	Clicar em Comentar	-	-	-	Abre a janela comentar exame.	OK	-
	81	Janela "Comentar Exame"	Escrever um comentário ao exame e fechar a janela, antes de aceitar o comentário.	-	-	-	A janela é fechada e o comentário não é guardado.	OK	-

Tabela 8 - Testes ao Módulo Gestão de Pacientes (61 a 81).

Data	ID Teste	Módulo	Descrição do Teste	Mensagem obtida	Tipo de mensagem	Opção	Comentário	Resultado	Corrigido
27-04-07	82	Janela "Comentar Exame"	Escrever um comentário ao exame e aceitar o comentário e fechar a janela.	-	-	-	A janela é fechada e o comentário é guardado.	OK	-
	83		Escrever um comentário ao exame e aceitar o comentário e clicar em "Guardar Alteração"	-	-	-	A janela é fechada e o comentário é guardado.	OK	-
	84	Tab Exames Realizados	Duplo clique numa imagem do exame.	-	-	-	Abre uma tab com essa imagem maximizada.	OK	-
	85	Janela com a imagem Maximizada	Escrever um comentário, clicar em "Voltar ao exame" e clicar novamente na imagem	-	-	-	O comentário não foi guardado.	OK	-
	86		Escrever um comentário clicar em "Aceitar", "Voltar ao exame" e clicar novamente na imagem.	-	-	-	O comentário é adicionado aos comentários da imagem, identificado por quem o escreveu.	OK	-
	87		Escrever um comentário, clicar em "Aceitar" e "Undo"	-	-	-	O comentário é adicionado e removido de seguida.	OK	-
	88		Clicar no canto superior direito, na cruz para fechar a janela.	Tem a certeza de que pretende fechar o módulo Gestão de Pacientes? Todas as alterações não guardadas serão perdidas.	Alerta	Não	Volta atrás.	OK	-
89	Menu Inicial	Clicar num exame ainda não verificado.	-	-	-	Entra nesse paciente e mostra os exames não verificados.	OK	-	

Tabela 9 - Testes ao Módulo Aquisição de Imagens Equipamento OST-SLO (82 a 89).

Data	ID Teste	Módulo	Descrição do Teste	Mensagem obtida	Tipo de mensagem	Opção	Comentário	Resultado	Corrigido
27-04-07	90	Menu Inicial	Clicar no módulo "Aquisição de Imagens Equipamento OST-SLO"	-	-	-	Aparecem 2 botões iguais em cima com Definições OCT-SLO.	NOT OK	Não x
	91	Aquisição de Imagens Equipamento OST-SLO	Duplo clique nos cabeçalhos da lista de pedidos.	-	-	-	Não faz nada.	OK	-
	92		Clique no cabeçalho da tabela "Lista de pedidos"	-	-	-	Ordena os dados por ordem ascendente e descendente se voltar a clicar.	OK	-
	93		Seleccionar um pedido.	-	-	-	Aparecem os detalhes do pedido em baixo.	OK	-
	94		Duplo clique no espaço em cinzento.	-	-	-	Não faz nada.	OK	-
	95		Clicar em "Ver Todos"	-	-	-	Aparecem todos os pedidos de exame, identificados a verde os que já foram feitos e a vermelho, os que foram apagados.	OK	-
	96		No calendário escolher um dia com pedidos (marcado a negrito).	-	-	-	Aparecem os pedidos agendados para esse dia.	OK	-
	97		No calendário escolher um dia sem pedidos.	-	-	-	São mostrados todos os pedidos válidos, ainda por realizar.	OK	-
	98		Clicar em Actualizar Pedidos.	-	-	-	Os pedidos são actualizados	OK	-
	99		Escolher um pedido de um dia e clicar em Excluir Exame.	Tem a certeza de que pretende eliminar o pedido para [nome]?	Alerta	Não	Volta atrás.	OK	-

Tabela 10 - Testes ao Módulo Aquisição de Imagens Equipamento OST-SLO (90 a 99).

Data	ID Teste	Módulo	Descrição do Teste	Mensagem obtida	Tipo de mensagem	Opção	Comentário	Resultado	Corrigido
27-04-2007	100	Aquisição de Imagens Equipamento OST-SLO	Escolher um pedido da lista de todos os pedidos e clicar em Excluir Exame.	-	-	Sim	O pedido é eliminado e desaparece da lista. No caso da lista de todos os pedidos aparece marcado a vermelho.	OK	-
	101		Escolher um pedido marcado a verde ou vermelho da lista de todos os pedidos e clicar em Excluir Exame.	-	-	-	O botão não fica activado, não sendo permitido excluir um pedido já excluído ou realizado.	OK	-
	102		Na lista de todos os pedidos, duplo clique num exame já realizado.	O exame seleccionado já foi efectuado.	Aviso	-	-	OK	-
	103		Na lista de todos os pedidos, duplo clique num exame marcado como eliminado.	O pedido de exame seleccionado encontra-se excluído.	Aviso	-	-	OK	-
	104		Duplo clique num pedido de exame válido ou clique em Efectuar Exame.	Aplicação em Espera à espera da exportação de imagens do paciente [nome do paciente].	Informativa	-	-	OK	-
	105		Cancelar a janela da aplicação em espera.	-	-	-	A janela fecha	OK	-
	106	Definições OCT-SLO Pasta de imagens	Criar nova pasta	Procurar pasta Selecione a pasta para a qual vai exportar as imagens OCT-SLO da aplicação proprietária	-	-	A pasta é criada.	OK	-
	107		Escolher uma pasta e clicar OK	-	-	-	A pasta é escolhida, a janela fechada e volta atrás.	OK	-
	108		Clicar em cancelar ou na cruz.	-	-	-	A janela é fechada, a pasta não é escolhida e volta atrás.	OK	-

Tabela 11 - Testes ao Módulo Aquisição de Imagens Equipamento OST-SLO (100 a 108).

Data	ID Teste	Módulo	Descrição do Teste	Mensagem obtida	Tipo de mensagem	Opção	Comentário	Resultado	Corrigido	
27-04-2007	109	Aquisição de Imagens Equipamento OST-SLO	Copiar uma pasta com imagens DICOM para a pasta pré-definida.	Por favor seleccione o paciente para o exame actual.	Aviso	Ok	Abre uma nova tab Selecção das Imagens Abre a janela Pedidos de Exame, com os pedidos para um paciente. É necessário cancelar se não for este o paciente correspondente.	NOT OK	Não x	
	110		Clicar em "Pré-Visualizar" ou fazer duplo clique numa imagem.	-	-	-	Abre uma nova janela "Pré-Visualização da Imagem" com a imagem ampliada	OK	-	
	111		Janela "Pré-Visualização da Imagem"	Fechar a janela na cruz ou Ficheiro->Sair ou Ctrl+E	-	-	-	A janela fecha e volta atrás.	OK	-
	112			Ficheiro->Guardar a imagem ou Ctrl+s	-	-	-	Abre uma janela "Guardar a imagem como" e pode-se guardar a imagem.	OK	-
	113			Clicar em "Zoom Original"	-	-	-	Mostra a imagem no zoom original.	OK	-
	114		Janela "Guardar a Imagem Como"	Fechar a janela ou cancelar.	-	-	-	Não guarda a imagem e volta à janela anterior "Pré-Visualização da Imagem".	OK	-
	115			Guardar a imagem escolhendo um nome que ainda não exista.	-	-	-	A imagem é guardada.	OK	-
	116			Clicar em 'Todas' ou seleccionar algumas imagens e clicar em "Utilizar Imagens"	Por favor seleccione o Profissional de saúde que pediu este exame. Confirme o tipo de exame efectuado.	Aviso	-	Abre uma nova tab Relatório de Exame.	OK	-

Tabela 12 - Testes ao Módulo Aquisição de Imagens Equipamento OST-SLO (109 a 116).

Attachment C

- Software Specification: Database Access Layer -

Especificação do Software: Base de Dados e Gestão de Acesso a Dados

WIA-DM

**Sistema de Apoio à Decisão para a especialidade de Oftalmologia
baseado em técnicas de Workflow e Data Mining aplicadas em
dados obtidos em ambiente clínico**

Versão 0.2

Coimbra, 02 Julho 2007



Tipo do Documento	Draft
Título	Especificação de Software: Base de Dados e Acesso À Base de Dados
Data de criação	18/06/2007
Produzido por	Armanda Santos
Compilado por	-
Fontes de informação	ISA, CCC
E-mail	asantos@isa.pt
Para	-
Distribuição	Restrita
Lista de distribuição	ISA, CCC, BlueWorks
Distribuído por	Mail Ficheiro Word Ficheiro Pdf

Revisões

Versão	Autores	Descrição	Data
v0.1	Armanda Santos	Versão inicial	18/06/2007
v0.2	Armanda Santos	Versão adaptada para anexar no relatório final de projecto.	02/07/2007

Índice

ABREVIATURAS	3
1. INTRODUÇÃO.....	4
2. ARQUITECTURA DO SOFTWARE.....	4
3. FERRAMENTAS E TECNOLOGIAS	5
4. BASE DE DADOS	6
4.1. REQUISITOS.....	6
4.2. ENTIDADES E ATRIBUTOS	6
4.3. STORED PROCEDURES.....	14
4.4. FUNÇÕES.....	18
4.5. DIAGRAMA FÍSICO	22
5. GESTÃO DE ACESSO A DADOS	24
5.1. DIAGRAMA DE CLASSES.....	25
5.2. ESPECIFICAÇÃO DE CLASSES.....	26
5.3. DATASETS.....	30
5.4. TESTE DE FUNCIONALIDADES.....	31
6. SEGURANÇA	32
7. CONCLUSÃO	33
8. REFERÊNCIAS.....	34

Abreviaturas

Abreviatura	Definição
ICD 10	<i>Internacional Classification of Diseases 10</i>
PK	<i>Primary Key</i>
SNS	Serviço Nacional de Saúde
BD	Base de Dados
L	Left
R	Right
SQL	Structured Query Language
SHA	Secure Hash Algorithm
API	Interface de Programação de Aplicativos

1. Introdução

Este documento tem como objectivo a especificação do software, incidindo sobre a parte da base de dados e gestão de acesso aos mesmos.

São especificadas a arquitectura geral do software, as ferramentas e tecnologias utilizadas bem como o tema da segurança que é de extrema importância no desenvolvimento de software.

São também referidas as optimizações e actualizações a implementar futuramente.

2. Arquitectura do Software

O software desenvolvido pode ser dividido em três módulos:

- Módulo de Gestão Clínica – Módulo de gestão do processo clínico, onde se podem visualizar e gerir os dados clínicos dos pacientes (dados pessoais, exames, história clínica), em que toda esta informação é guardada e gerida pela BD central, ficando acessível ao módulo de aquisição.
- Módulo de Base de Dados – Base de dados central onde são armazenados todos os dados clínicos dos pacientes, bem como dos utilizadores do sistema (profissionais de saúde, administradores). Permite a uniformidade de informação. De futuro, este módulo terá uma ligação ao software administrativo, a ser instalado no CCC, de forma a integrar a informação administrativa dos utentes.
- Módulo de Aquisição – Módulo de aquisição de exames do equipamento OCT-SLO, onde é permitido exportar os resultados dos exames do OCT-SLO para a BD central, ficando acessíveis ao módulo de gestão clínica.

De futuro, irá também ser desenvolvido um módulo de Data Mining que funcionará sobre os módulos existentes, juntamente com a informação administrativa, de forma a extrair informação útil, como padrões de informação repetidos, hipóteses e conclusões úteis a nível de pré-diagnóstico, protocolos de tratamento, relação tratamento-tempo-custo.

3. Ferramentas e Tecnologias

O software desenvolvido utiliza tecnologias como SQL, C# e Microsoft .NET Remoting.

- **SQL (Structured Query Language)**
Structured Query Language ou SQL é uma linguagem orientada para sistemas de gestão de base de dados relacional (SGBD), criação, modificação e gestão de controlo de acessos à base de dados. [8]
- **C# (C Sharp)**
C Sharp é uma linguagem de programação orientada a objectos como parte da Microsoft .NET. Baseia-se nas linguagens C++ e java, utilizando aspectos de outras linguagens de programação, visando a simplificação. [9]
- **Microsoft .NET Remoting**
Microsoft .NET Remoting é uma API que faz parte do Microsoft .NET Framework que permite chamar objectos através de rede.
Framework .Net é uma iniciativa da Microsoft que visa uma única plataforma para desenvolvimento de sistemas e aplicações. Todo o código gerado passa a ser gerado para a plataforma .NET (.NET Framework). [4] [3] [5]

As ferramentas utilizadas são Sybase Power Designer, Microsoft SQL Server 2005 e Microsoft Visual Studio.

- **Sybase Power Designer**
É um software de gestão e mobilização de informação, permitindo modelação e desenho de base de dados. Funciona com todos os SGBD mais recentes. [10]
- **Microsoft SQL Server 2005 Express**
Microsoft SQL server é um sistema de gestão de base de dados relacional (SGBD) produzido pela Microsoft. A linguagem utilizada é SQL-Transaction. [12]
- **Microsoft Visual Studio**
É um software de desenvolvimento que permite criar aplicações que correm em plataformas suportadas por .NET Framework. [11]

4. Base de Dados

4.1. Requisitos

De seguida são apresentados os requisitos funcionais que a base de dados implementa para o software de gestão do processo clínico.

Requisito	Descrição
R1	Guardar informações dos dados pessoais dos pacientes.
R2	Guardar informações dos dados clínicos dos pacientes.
R3	Guardar informações dos dados dos profissionais de saúde.
R4	Guardar informações dos dados relativos aos pedidos de exames.
R5	Guardar informações dos dados aos resultados dos exames.
R6	Guardar informações das consultas dos pacientes.
R7	Guardar informações dos tipos de exames disponíveis.
R8	Guardar informações dos equipamentos disponíveis para exame.
R9	Guardar informações dos equipamentos disponíveis para exame.
R10	Guardar informações das patologias em oftalmologia segundo o ICD10.

4.2. Entidades e Atributos

De seguida são apresentadas as várias entidades que existem na BD e especificados os atributos de cada uma. As entidades marcadas com * ainda não estão a ser utilizadas nesta fase, no entanto existem para guardar informação proveniente do módulo de data mining a implementar no futuro, bem como informação de outros exames, como retinografia ou angiografia, ou ainda outros resultados que possam não ser imagens (ex: perimetria).

<i>PATIENT</i> – Tabela que guarda as informações pessoais dos pacientes					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
patient_id	N	-	bigint	Y	Número identificador do paciente no sistema. Tem de ser único pois é PK da tabela.
patient_number	N	-	bigint	N	Número identificador do paciente no SNS.
registry_date	N	-	datetime	-	Data de registo do paciente no sistema.
patient_history	Y	500	varchar	-	Historial clínico do paciente.
patient_surname	N	30	varchar	-	Sobrenome do paciente.
patient_first_name	N	20	varchar	-	Nome do paciente.
remote_bd_id	N	-	bigint	N	Número identificador do paciente na BD remota (<i>2Soft</i>)*
patient_birth_date	Y	-	datetime	-	Data de nascimento do paciente.
patient_sex	Y	1	char	-	Sexo/género do paciente.
done_exam_number	Y	-	int	N	Número de exames realizados pelo paciente antes de registado no sistema.

HEALTH PROFESSIONAL – Tabela que guarda os dados dos Profissionais de Saúde					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
healthprof_id	N	-	bigint	Y	Número identificador do profissional de saúde no sistema. Tem de ser único pois é PK da tabela.
healthproftype_id	N	-	int	N	Número identificador do tipo de profissional de saúde
healthprof_remote_id	Y	-	bigint	N	Número identificador do paciente na BD remota (<i>2Soft</i>)*
healthprof_first_name	N	30	varchar	-	Nome do profissional de saúde.
healthprof_surname	N	20	varchar	-	Sobrenome do profissional de saúde.
healthprof_sex	Y	1	char	-	Sexo/género do profissional de saúde.
healthprof_username	N	10	varchar	-	Username do profissional de saúde para acesso ao sistema.
healthprof_password	N	100	varchar	-	Password do profissional de saúde para acesso ao sistema.

* Funcionalidade ainda não implementada, devido a inexistência de BD da *2Soft*.

HEALTHPROF_TYPE – Tabela que guarda os tipos de profissional de saúde.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
healthproftype_id	N	-	int	Y	Número identificador do tipo de profissional de saúde no sistema. Tem de ser único pois é PK da tabela.
healthproftype_name	N	20	varchar	N	Nome do tipo de profissional de saúde no sistema.

EVENT – Tabela que guarda os eventos (consultas, pedidos de exame) gerados pelos Profissionais de Saúde.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
event_id	N	-	bigint	Y	Número identificador do evento. Tem de ser único pois é PK da tabela.
patient_id	N	-	bigint	N	Número identificador do paciente.
healthprof_id	N	-	bigint	N	Número identificador do tipo de profissional de saúde.
event_date	N	-	datetime	-	Data de geração do evento.
report_text	Y	1000	varchar	-	Texto das consultas.
event_type	Y	15	varchar	-	Tipo de evento.

EQUIPMENT – Tabela que guarda os equipamentos disponíveis para realizar exames.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
equipment_id	N	-	bigint	Y	Número identificador do equipamento. Tem de ser

EQUIPMENT – Tabela que guarda os equipamentos disponíveis para realizar exames.					
					único pois é PK da tabela.
equipment_name	N	30	varchar	-	Nome do equipamento.
equipment_localization	Y	20	varchar	-	Localização/sala do equipamento.
equipment_manufacturer	Y	20	varchar	-	Fabricante do equipamento.

EXAM_REQUEST – Tabela que guarda os dados dos pedidos de exame.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
examreq_id	N	-	bigint	Y	Número identificador do pedido de exame. Tem de ser único pois é PK da tabela.
equipment_id	N	-	bigint	N	Número identificador do equipamento.
event_id	N	-	bigint	N	Número identificador do evento.
examtype_id	N	-	bigint	N	Número identificador do tipo de exame.
exam_id	Y	-	bigint	N	Número identificador do exame.
done	N	-	bit	-	Indica se o exame foi realizado ou não.
examreq_deleted	N	-	bit	-	Indica se o pedido de exame foi apagado ou não.
examreq_date	N	-	datetime	-	Data do pedido de exame.
examreq_message	Y	100	varchar	-	Mensagem que o médico envia junto com o pedido de exame.
eye	N	1	char	-	Olho a ser examinado (L/R).
graph	Y	-	image	-	Gráfico que ilustra a zona do olho a ser examinada.
exam_expected_date	N	-	datetime	-	Data marcada para realização do exame.

EXAM – Tabela que guarda os dados dos exames que são realizados.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
exam_id	N	-	bigint	Y	Número identificador do exame. Tem de ser único pois é PK da tabela.
equipment_id	N	-	bigint	N	Número identificador do equipamento.
event_id	N	-	bigint	N	Número identificador do tipo do evento.
examreq_id	N	-	bigint	N	Número identificador do pedido de exame.
patient_id	Y	-	bigint	N	Número identificador do paciente.
exam_date	Y	-	datetime	-	Data de realização do exame.
exam_notes		200	varchar	-	Notas do exame.
cam_angle		(5,2)	numeric	-	Ângulo de aquisição do exame.
healthprof_id		-	bigint	N	Número identificador do tipo de profissional de saúde.
confirmed		-	bit	-	Indica se o resultado do exame foi confirmado pelo médico ou não.

IMAGE – Tabela que guarda as imagens resultantes dos exames realizados.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
result_id	N	-	bigint	Y	Número identificador do resultado do exame. Tem de ser único pois é PK da tabela.
image	N	30	image	-	Imagem do exame.
img_thumbnail	N	20	image	-	Miniatura da imagem do exame.
img_type	Y	20	varchar	-	Tipo de imagem.
img_notes	Y	200	varchar	-	Notas da imagem.
img_commented	Y	-	bit	-	Indica se a imagem está ou não comentada.

EXAM_TYPE – Tabela que guarda os tipos de exame possíveis nos equipamentos existentes.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
examtype_id	N	-	bigint	Y	Número identificador do tipo de exame. Tem de ser único pois é PK da tabela.
examtype_name	N	40	varchar	-	Nome do tipo de exame.
number_by_hour	N	-	int	-	Número de exames que podem ser realizados numa hora.
thumbnail	Y	-	image	-	Miniatura identificadora do tipo de exame.

ASSOCIATED_PATHOLOGY – Tabela que guarda as associações entre patologias a exames.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
exam_id	N	-	bigint	-	Número identificador do exame associado. Juntamente com ID da patologia origina PK composta da tabela.
pathology_id	N	-	bigint	-	Número identificador da patologia associada. Juntamente com ID do exame origina PK composta da tabela.
association_date	Y	-	datetime	-	Data de associação da patologia com o exame.
healthprof_id	Y	-	bigint	-	Id de identificação do profissional de saúde que fez a associação.

MATCH_DOCTOR_PATIENT – Tabela que guarda as correspondências entre médicos e pacientes.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
PATIENT_ID	N	-	bigint	-	Número identificador do paciente associado. Juntamente com ID do médico origina PK composta da tabela.

MATCH DOCTOR PATIENT – Tabela que guarda as correspondências entre médicos e pacientes.					
HEALTHPROF_ID	N	-	bigint	-	Número identificador da médico associado. Juntamente com ID do paciente origina PK composta da tabela.
MATCH_DATE	Y	-	datetime	-	Data de associação do paciente com o médico.
MATCH_USER_ID	Y	-	bigint	-	Id de identificação do profissional de saúde que fez a associação.

MATCH EQUIPMENT_EXAM_TYPE – Tabela que guarda as correspondências entre equipamentos e tipos de exame.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
EXAMTYPE_ID	N	-	bigint	N	Número identificador do tipo de exame associado. Juntamente com ID do equipamento origina PK composta da tabela.
EQUIPMENT_ID	N	-	bigint	N	Número identificador do equipamento associado. Juntamente com ID do tipo de exame origina PK composta da tabela.

MATCH EQUIPMENT PATIENT – Tabela que guarda as correspondências entre equipamentos e doentes.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
equipment_id	N	-	bigint	N	Número identificador do equipamento associado. Juntamente com ID do paciente origina PK composta da tabela.
patient_id	N	-	bigint	N	Número identificador do paciente associado. Juntamente com ID do equipamento origina PK composta da tabela.
patient_equipment_id	Y	-	bigint	N	Número identificador do paciente num determinado equipamento.

PATHOLOGY – Tabela que guarda todas as patologias segundo a classificação internacional ICD 10.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
pathology_id	N	-	bigint	N	Número identificador da patologia. Tem de ser único pois é PK da tabela.
icd10_code	N	10	varchar	-	Código identificador da patologia na classificação ICD10.
icd10_name	N	100	varchar	-	Nome identificador da patologia na classificação ICD10.

<i>PATHOLOGY</i> – Tabela que guarda todas as patologias segundo a classificação internacional ICD 10.					
icd10_description	Y	1000	varchar	-	Descrição identificadora da patologia na classificação ICD10.
icd10_vii_type	N	-	bigint	-	Número identificador do tipo de patologia na classificação ICD10.
icd10_vii_subtype	N	-	bigint	-	Número identificador do sub tipo de patologia na classificação ICD10.

<i>ICD10_VII_PATHOLOGY_TYPE</i> – Tabela que guarda os tipos de patologias segundo a classificação internacional ICD 10.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
pathology_type_id	N	-	bigint	N	Número identificador do tipo de patologia.
icd10_type_code	N	15	varchar	-	Código identificador do tipo de patologia na classificação ICD10.
icd10_type_description	N	100	varchar	-	Descrição identificadora do tipo de patologia na classificação ICD 10.
icd10_type_exceptions	Y	200	varchar	-	Descrição identificadora das exceções do tipo de patologia na classificação ICD 10.

<i>ICD10_VII_PATHOLOGY_SUBTYPE</i> – Tabela que guarda os sub tipos de Patologias segundo a classificação internacional ICD 10.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
pathology_subtype_id	N	-	bigint	N	Número identificador do sub tipo de patologia.
icd10_subtype_code	N	15	varchar	-	Código identificador do sub tipo de patologia na classificação ICD10.
icd10_subtype_description	N	100	varchar	-	Descrição identificadora do sub tipo de patologia na classificação ICD 10.
icd10_subtype_exceptions	Y	200	varchar	-	Descrição identificadora das exceções do sub tipo de patologia na classificação ICD 10.
icd10_vii_type	N	-	bigint	N	Número identificador do tipo de patologia na classificação ICD10.

<i>ANGIOGRAPHY*</i> – Tabela que guarda informação clínica da aquisição do exame de angiografia.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
exam_id	N	-	bigint	Y	Número identificador do exame.
corant	N	20	varchar	-	Nome do corante utilizado para realização do exame.
injection_datetime	N	-	datetime	-	Data e hora da injeção de corante.

systolic_pressure	Y	(3, 0)	numeric	-	Pressão sistólica.
diastolic_pressure	Y	(3, 0)	numeric		Pressão diastólica.
cardiac_rhythm	Y	(3, 0)	numeric		Ritmo cardíaco.

RETINOGRAPHY* – Tabela que guarda informação da aquisição do exame de retinografia.

Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
exam_id	N	-	bigint	N	Número identificador do exame.

OCT_SLO* – Tabela que guarda informação da aquisição do exame de OCT-SLO.

Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
exam_id	N	-	bigint	N	Número identificador do exame.

ANGIOGRAPHY_IMAGE* – Tabela que guarda informação da aquisição da imagem de angiografia.

Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
result_id	N	-	bigint	N	Número identificador do resultado de exame.
ang_datetime	N	-	datetime	-	Data e hora da aquisição da imagem.

RETINOGRAPHY_IMAGE* – Tabela que guarda informação da aquisição da imagem de retinografia.

Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
result_id	N	-	bigint	N	Número identificador do resultado de exame.

OCT_SLO_IMAGE* – Tabela que guarda informação da aquisição da imagem de OCT-SLO.

Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
result_id	N	-	bigint	N	Número identificador do resultado de exame.

PARAMETER* – Tabela que guarda informação de parâmetros medidos nas imagens.

Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
parameter_id	N	-	bigint	Y	Número identificador do parâmetro medido na imagem.
result_id	N	-	bigint	N	Número identificador do resultado de exame.
parameter_name	N	30	varchar	-	Nome identificador do parâmetro medido na imagem.
param_numeric_value	Y	(5,2)	numeric	N	Valor numérico correspondente ao parâmetro medido na imagem.
param_subjective_value	Y	20	varchar	-	Valor subjectivo correspondente ao parâmetro medido na imagem.

MEASUREMENT* – Tabela que guarda informação dos resultados de uma exame apenas com resultados numéricos.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
result_id	N	-	bigint	N	Número identificador do resultado de exame.
measurement_name	N	20	varchar	N	Nome identificador do parâmetro medido na imagem.
measurement_value	N	(9,0)	numeric	N	Valor numérico correspondente ao parâmetro medido na imagem.
measurement_units	Y	10	varchar	N	Unidades correspondentes ao parâmetro medido na imagem.

SURGERY* – Tabela que guarda informação sobre eventos do tipo cirurgia.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
event_id	N	-	bigint	N	Número identificador do evento.
surgery_protocol	N	200	varchar	N	Texto que especifica o protocolo de cirurgia.

CONSULT* – Tabela que guarda informação sobre eventos do tipo consulta.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
event_id	N	-	bigint	N	Número identificador do evento.

MEDICATION* – Tabela que guarda informação sobre eventos do tipo medicação.					
Nome do Atributo	Allow Null	Max Length	Tipo	Auto Increment	Descrição
event_id	N	-	bigint	N	Número identificador do evento.
medication_protocol	N	200	varchar	N	Texto que especifica o protocolo de medicação.

4.3. Stored Procedures

De seguida são apresentados as *stored procedures* utilizadas para gerir a informação da BD.

Uma *stored procedure* é um conjunto de comandos em SQL para gestão de informação em base de dados. Permite encapsular tarefas repetitivas, aceitando parâmetros de entrada e devolvendo parâmetros de saída. Devolve também um valor de *status*, que indica o sucesso ou falha de execução. A sua utilização pode aumentar a rapidez de acesso aos dados, melhorando a performance. [7]

AddExamNote	
Descrição	Adiciona uma nota ao exame.
Parâmetros de Entrada	EXAM_ID – ID do exame. EXAM_NOTES – Notas do exame.
Parâmetros de Saída	-

AddGraphToExamRequest	
Descrição	Adiciona gráfico do olho a um pedido de exame.
Parâmetros de Entrada	EXAMREQ_ID – ID do pedido de exame. GRAPH – Imagem correspondente ao gráfico do olho.
Parâmetros de Saída	-

AddNewUser	
Descrição	Adiciona um novo utilizador (médico, técnico ou administrador) à BD.
Parâmetros de Entrada	HEALTHPROF_FIRST_NAME – Nome do utilizador. HEALTHPROF_SURNAME – Sobrenome do utilizador. HEALTHPROF_SEX – Género/sexo do utilizador. HEALTHPROF_TYPE_ID – ID do tipo de utilizador. HEALTHPROF_USERNAME – Username do utilizador. HEALTHPROF_PASSWORD – Password do utilizador. HEALTHPROF_REMOTE_ID – ID do utilizador na BD remota.
Parâmetros de Saída	HEALTHPROF_ID – ID do utilizador.

AddReportText	
Descrição	Adiciona texto a um evento.
Parâmetros de Entrada	EVENT_ID – ID do evento. REPORT_TEXT – Texto a adicionar.
Parâmetros de Saída	-

AlterExamRequest	
Descrição	Adiciona texto a um evento.
Parâmetros de Entrada	EXAMREQ_ID – ID do pedido de exame. EQUIPMENT_ID – ID do equipamento. EXAMTYPE_ID – ID do tipo de exame. EXAMREQ_MESSAGE – Mensagem do pedido de exame. EYE – Olho a examinar. GRAPH – Imagem do gráfico do olho a examinar. EXAM_EXPECTED_DATE – Data para a qual foi marcado o exame.
Parâmetros de Saída	0 – ID do pedido de exame existe. 1 – ID do pedido de exame não existe.

AlterPatientPersonalData	
Descrição	Altera os dados pessoais do paciente.
Parâmetros de Entrada	PATIENT_ID – ID do paciente.

AlterPatientPersonalData	
	PATIENT_NUMBER – Número do paciente no SNS. PATIENT_HISTORY – Historial clínico do paciente. PATIENT_SURNAME – Sobrenome do paciente. PATIENT_SURNAME – Nome do paciente. REMOTE_BD_ID – ID do paciente na BD remota. PATIENT_BIRTH_DATE – Data de nascimento do paciente. PATIENT_SEX – Género/sexo do paciente.
Parâmetros de Saida	0 – ID do paciente existe. 1 – ID do paciente não existe.

AssociateDoctorPatient	
Descrição	Associa um médico a um paciente.
Parâmetros de Entrada	PATIENT_ID – ID do paciente. HEALTHPROF_ID – ID do médico.
Parâmetros de Saida	0 – Correspondência realizada. 1 – Correspondência entre médico e doente já existente. 2 – Profissional de saúde não é um médico.

AssociatePathology	
Descrição	Associa uma patologia a um exame de um paciente.
Parâmetros de Entrada	PATHOLOGY_ID – ID da patologia. EXAM_ID – ID do exame. HEALTHPROF_ID – ID do profissional de saúde que faz a associação. CONFIRMED – Indica se a associação exame-patologia está ou não confirmada pelo médico.
Parâmetros de Saida	0 – Correspondência realizada. 1 – Correspondência não realizada.

CreateExam	
Descrição	Cria um exame.
Parâmetros de Entrada	EXAMREQ_ID – ID do pedido de exame. HEALTHPROF_ID – ID do profissional de saúde. EXAM_NOTES – Notas do exame. CAM_ANGLE – Ângulo de aquisição do exame.
Parâmetros de Saida	EXAM_ID – ID do exame.

CreateExamRequest	
Descrição	Cria um pedido de exame.
Parâmetros de Entrada	EVENT_ID – ID do evento correspondente ao pedido de exame. EQUIPMENT_ID – ID do equipamento de realização do exame. EXAMTYPE_ID – ID do tipo de exame a realizar. EXAMREQ_MESSAGE – Mensagem do pedido de exame. EYE – Olho a examinar. EXAM_EXPECTED_DATE – Data para a qual foi marcado o exame.
Parâmetros de Saida	EXAMREQ_ID – ID do pedido de exame.

CreateExamRequestNow	
Descrição	Cria um pedido de exame para realizar exame no momento.
Parâmetros de Entrada	EVENT_ID – ID do evento correspondente ao pedido de exame. EQUIPMENT_ID – ID do equipamento de realização do exame. EXAMTYPE_ID – ID do tipo de exame a realizar. EXAMREQ_MESSAGE – Mensagem do pedido de exame. EYE – Olho a examinar.
Parâmetros de Saida	EXAMREQ_ID – ID do pedido de exame.

CreateNewEvent	
Descrição	Cria um evento.
Parâmetros de Entrada	PATIENT_ID – ID do paciente. HEALTHPROF_ID – ID do profissional de saúde. REPORT_TEXT – Texto do evento.
Parâmetros de Saida	EVENT_ID – ID do evento.

DeleteAssociatedPatologies	
Descrição	Apaga patologias associadas a um determinado exame.
Parâmetros de Entrada	EXAM_ID – ID do paciente.
Parâmetros de Saida	-

DeleteAssociatedPathology	
Descrição	Apaga uma patologia associada a um determinado exame.
Parâmetros de Entrada	EXAM_ID – ID do paciente. PATHOLOGY_ID – ID da patologia.
Parâmetros de Saida	-

DoctorName	
Descrição	Devolve o nome e género de um profissional de saúde.
Parâmetros de Entrada	HEALTHPROF_ID – ID do pedido de exame.
Parâmetros de Saida	HEALTHPROF_FIRST_NAME – Nome do profissional de saúde. HEALTHPROF_SURNAME – Sobrenome do profissional de saúde. HEALTHPROF_SEX – Género do profissional de saúde.

GetEquipmentMatchID	
Descrição	Devolve o ID de um paciente num determiando equipamento.
Parâmetros de Entrada	EQUIPMENT_ID – ID do equipamento. PATIENT_ID – ID do paciente.
Parâmetros de Saida	PATIENT_EQUIPMENT_ID – ID do paciente no equipamento.

GetEquipmentMatchPatientID	
Descrição	Devolve ID do paciente pelo ID do paciente no equipamento e ID do equipamento.
Parâmetros de Entrada	EQUIPMENT_ID – ID do equipamento. PATIENT_EQUIPMENT_ID – ID do paciente no equipamento.
Parâmetros de Saida	PATIENT_ID – ID do paciente.

InsertEquipmentMatchID	
Descrição	Associa um paciente a um equipamento.
Parâmetros de Entrada	EQUIPMENT_ID – ID do equipamento. PATIENT_ID – ID do paciente. PATIENT_EQUIPMENT_ID – ID do paciente no equipamento.
Parâmetros de Saida	0 – ID inserido. 1 – O paciente já está associado a este equipamento. 2 – O ID de paciente no equipamento já existe para o equipamento.

InsertImage	
Descrição	Insere uma imagem no resultado de um exame.
Parâmetros de Entrada	EXAM_ID – ID do exame. EYE – Olho ao qual corresponde a imagem. IMAGE – Imagem. IMG_THUMBNAIL – Miniatura da imagem. IMG_TYPE – Tipo de imagem. IMG_NOTES – Notas da imagem. IMG_COMMENTED – Indica se a imagem está ou não comentada.
Parâmetros de Saida	-

InsertImageNote	
Descrição	Inserir notas numa imagem.
Parâmetros de Entrada	RESULT_ID – ID do resultado do exame. IMG_NOTES – Notas a adicionar à imagem.
Parâmetros de Saída	-

InvalidateExamRequest	
Descrição	Invalida um pedido de exame.
Parâmetros de Entrada	EXAMREQ_ID – ID do pedido de exame.
Parâmetros de Saída	-

Login	
Descrição	Invalida um pedido de exame.
Parâmetros de Entrada	USERNAME – ID do utilizador. PASSWORD – Password do utilizador. ID – ID do utilizador.
Parâmetros de Saída	0 – Login efectuado com sucesso. 1 – Utilizador não existe. 2 – Password errada.

PatientHistory	
Descrição	Devolve o historial clínico de um paciente.
Parâmetros de Entrada	PATIENT_ID – ID do paciente. PATIENT_HISTORY – Historial clínico do doente.
Parâmetros de Saída	-

PatientName	
Descrição	Devolve o nome de um paciente.
Parâmetros de Entrada	PATIENT_ID – ID do utilizador.
Parâmetros de Saída	PATIENT_FIRST_NAME – Nome do paciente. PATIENT_SURNAME – Sobrenome do paciente.

TodayEventId	
Descrição	Verifica se existe um evento para o dia actual de uma determinada correspondência paciente-profissional de saúde.
Parâmetros de Entrada	PATIENT_ID – ID do paciente. HEALTHPROF_ID – ID do profissional de saúde.
Parâmetros de Saída	EVENT_ID – ID do evento.

UpdateHistory	
Descrição	Verifica se existe um evento para o dia actual de uma determinada correspondência paciente-profissional de saúde.
Parâmetros de Entrada	PATIENT_ID – ID do paciente. PATIENT_HISTORY – Texto a substituir no historial clínico do paciente.
Parâmetros de Saída	-

ValidateExam	
Descrição	Valida as patologias de um exame.
Parâmetros de Entrada	EXAM_ID – ID do exame.
Parâmetros de Saída	-

ViewImage	
Descrição	Devolve uma imagem.
Parâmetros de Entrada	RESULT_ID – ID do resultado do exame.
Parâmetros de Saída	IMAGE – Imagem.

4.4. Funções

De seguida são apresentados as funções utilizadas para gerir a informação da BD.

Uma função é um conjunto de comandos em SQL para gestão de informação em base de dados que mediante parâmetros de entrada, devolve uma lista de informação como parâmetro de saída.

AllExamRequests	
Descrição	Devolve lista de pedidos de exame para um determinado equipamento.
Parâmetros de Entrada	EQUIPMENT_ID – ID do equipamento.
Parâmetros de Saída	Tabela com uma listagem de pedidos de exame: EXAMREQ_DATE – Data em que foi feito o pedido de exame. EXAMTYPE_NAME – Nome do tipo de exame. EXAMREQ_MESSAGE – Mensagem do pedido de exame. EYE – Olho a ser examinado. EXAMREQ_ID – ID do pedido de exame. DONE – Indica se o exame está ou não realizado. EXAMREQ_DELETED – Indica se o pedido de exame foi invalidado ou não. PATIENT_FIRST_NAME – Nome do paciente. PATIENT_SURNAME – Sobrenome do paciente. PATIENT_ID – ID do paciente. HEALTHPROF_FIRST_NAME – Nome do profissional de saúde que fez o pedido. HEALTHPROF_SURNAME – Sobrenome do profissional de saúde que fez o pedido. HEALTHPROF_SEX – Género do profissional de saúde que fez o pedido. HEALTHPROF_ID – ID do profissional de saúde que fez o pedido. GRAPH – Gráfico da zona do olho a examinar. EXAM_EXPECTED_DATE – Data para a qual foi marcado o exame.

AllExamTypes	
Descrição	Devolve lista de todos os tipos de exames existentes na BD.
Parâmetros de Entrada	-
Parâmetros de Saída	Tabela com uma listagem de tipos de exames: EXAMTYPE_ID – ID do tipo de exame. THUMBNAIL – Miniatura que representa o tipo de exame. EXAMTYPE_NAME – Nome do tipo de exame. NUMBER_BY_HOUR – Número de exames que podem ser realizados por hora, por cada tipo de exame.

AllHealthProfs	
Descrição	Devolve lista de todos os profissionais de saúde registados na BD.
Parâmetros de Entrada	-
Parâmetros de Saída	Tabela com uma listagem de tipos de exames: HEALTHPROF_ID – ID do profissional de saúde. HEALTHPROF_FIRST_NAME – Nome do profissional de saúde. HEALTHPROF_SURNAME – Sobrenome do profissional de saúde. HEALTHPROF_SEX – Género do profissional de saúde. HEALTHPROFTYPE_NAME – Nome do tipo de profissional de saúde. HEALTHPROF_USERNAME – Username do profissional de saúde. HEALTHPROF_REMOTE_ID – ID remoto do profissional de saúde.

AllPatients	
Descrição	Devolve lista de todos os pacientes existentes na BD.
Parâmetros de Entrada	-
Parâmetros de Saida	Tabela com uma listagem de pacientes: PATIENT_FIRST_NAME – Nome do paciente. PATIENT_SURNAME – Sobrenome do paciente. PATIENT_NUMBER – Número do paciente no SNS. PATIENT_BIRTH_DATE – Data de nascimento do paciente. PATIENT_ID – ID do paciente.

AllPatologies	
Descrição	Devolve lista de todas as patologias existentes na BD.
Parâmetros de Entrada	-
Parâmetros de Saida	Tabela com uma listagem de patologias: PATHOLOGY_ID – ID da patologia. PATHOLOGY_NAME – Nome da patologia.

EquipmentsByExamType	
Descrição	Devolve lista de equipamentos disponíveis por tipo de exame.
Parâmetros de Entrada	EXAMTYPE_ID – ID do tipo de exame.
Parâmetros de Saida	Tabela com uma listagem de equipamentos: EQUIPMENT_ID – ID do equipamento. EQUIPMENT_NAME – Nome do equipamento.

EquipmentsData	
Descrição	Devolve lista de equipamentos existentes na DB.
Parâmetros de Entrada	-
Parâmetros de Saida	Tabela com uma listagem de equipamentos: EQUIPMENT_ID – ID do equipamento. EQUIPMENT_NAME – Nome do equipamento.

EventByPatientDoctor	
Descrição	Devolve lista de eventos por médico e paciente.
Parâmetros de Entrada	PATIENT_ID – ID do paciente. HEALTHPROF_ID – ID do profissional de saúde.
Parâmetros de Saida	Tabela com uma listagem de eventos: EVENT_ID – ID do evento. PATIENT_ID – ID do paciente. HEALTHPROF_ID – ID do profissional de saúde. EVENT_DATE – Data do evento. REPORT_TEXT – Texto do evento. EVENT_TYPE – Tipo do evento.

EventNotesByPatient	
Descrição	Devolve lista de eventos por médico e paciente.
Parâmetros de Entrada	PATIENT_ID – ID do paciente.
Parâmetros de Saida	Tabela com uma listagem de notas de evento: EXAM_DATE – Data do evento. REPORT_TEXT – Texto do evento. EVENT_ID – ID do evento.

ExamDetailsByPatient	
-----------------------------	--

Descrição	Devolve lista de eventos por médico e paciente.
Parâmetros de Entrada	PATIENT_ID – ID do paciente.
Parâmetros de Saida	Tabela com uma listagem de dados de exames: EXAM_ID – ID do exame. EXAM_DATE – Data de realização do exame. EXAMTYPE_NAME – Nome do tipo de exame. EXAM_NOTES – Notas do exame. PATHOLOGY_NAME – Nome da patologia CONFIRMED – Indica se as patologias associadas ao exame estão ou não confirmadas pelo médico. PATHOLOGY_ID – ID da patologia.

ExamHours	
Descrição	Devolve lista de exames marcados a cada hora útil num determinado dia para um determinado tipo de exame e num determinado equipamento.
Parâmetros de Entrada	EQUIPMENT_ID – ID do equipamento. EXAMTYPE_ID – ID do tipo de exame. DAY – Dia da data para a qual se pretende a pesquisa. YEAR – Ano da data para a qual se pretende a pesquisa. MONTH – Mês da data para a qual se pretende a pesquisa.
Parâmetros de Saida	Tabela com uma listagem de exames por hora: EXAM_HOUR – Hora do exame. EXAM_NUMBER_BY_HOUR – Número de exames marcados para uma determinada hora.

ExamHoursByEquipment	
Descrição	Devolve lista de exames marcados a cada hora útil num determinado dia para um determinado equipamento.
Parâmetros de Entrada	EQUIPMENT_ID – ID do equipamento. DAY – Dia da data para a qual se pretende a pesquisa. YEAR – Ano da data para a qual se pretende a pesquisa. MONTH – Mês da data para a qual se pretende a pesquisa.
Parâmetros de Saida	Tabela com uma listagem de exames por hora: EXAM_HOUR – Hora do exame. EXAM_NUMBER_BY_HOUR – Número de exames marcados para uma determinada hora.

ExamPatologies	
Descrição	Devolve lista de patologias associadas a um exame.
Parâmetros de Entrada	EXAM_ID – ID do exame.
Parâmetros de Saida	Tabela como uma listagem de patologias: PATHOLOGY_NAME – Nome da patologia.

ExamRequestsData	
Descrição	Devolve lista de informação de um determinado pedido de exame.
Parâmetros de Entrada	EXAMREQ_ID – ID do pedido de exame.
Parâmetros de Saida	Tabela com uma listagem de informação de um pedido de exame: EXAMREQ_DATE – Data do pedido de exame. EYE – Olho a examinar. EQUIPMENT_NAME – Nome do equipamento. EXAMTYPE_NAME – Nome do tipo de exame a realizar. EXAM_EXPECTED_DATE – Data para a qual foi marcado o exame. HEALTHPROF_FIRST_NAME – Nome do médico que pediu o exame. HEALTHPROF_SURNAME – Sobrenome do médico que pediu o exame. EXAMREQ_ID – ID do pedido de exame.

ExamResultsDetails	
Descrição	Devolve lista de informação de resultados de um determinado exame.
Parâmetros de Entrada	EXAM_ID – ID do exame.
Parâmetros de Saida	Tabela com uma listagem de resultados de um exame: IMAGE – Imagem. IMG_TYPE – Tipo de imagem. IMG_COMMENTED – Indica se a imagem está comentada. RESULT_ID – ID do resultados do exame. EXAM_DATE – Data de realização do exame.

ExamsByHour	
Descrição	Devolve lista de informação de exames marcados, por hora, para um determinado tipo de exame, equipamento e data.
Parâmetros de Entrada	EXAMTYPE_ID – ID do tipo de exame. EQUIPMENT_ID – ID do equipamento. DAY – Dia da data para a qual se pretende a pesquisa. MONTH – Mês da data para a qual se pretende a pesquisa. YEAR – Ano da data para a qual se pretende a pesquisa.
Parâmetros de Saida	Tabela com uma listagem de resultados de um exame: EQUIPMENT_ID – ID do equipamento. EQUIPMENT_NAME – Nome do equipamento. EXAM_HOUR – Hora. EXAM_NUMBER_BY_HOUR – Número de exames marcados.

ExamsByHourByEquipment	
Descrição	Devolve lista de informação de exames marcados, por hora, para um determinado tipo de equipamento e data.
Parâmetros de Entrada	EQUIPMENT_ID – ID do equipamento. DAY – Dia da data para a qual se pretende a pesquisa. MONTH – Mês da data para a qual se pretende a pesquisa. YEAR – Ano da data para a qual se pretende a pesquisa.
Parâmetros de Saida	Tabela com uma listagem de resultados de um exame: EQUIPMENT_ID – ID do equipamento. EQUIPMENT_NAME – Nome do equipamento. EXAM_HOUR – Hora. EXAM_NUMBER_BY_HOUR – Número de exames marcados.

ImageDetails	
Descrição	Devolve imagem para um determinado resultado de exame.
Parâmetros de Entrada	RESULT_ID – ID do resultado.
Parâmetros de Saida	Tabela como uma listagem de resultados de um exame: IMAGE – Imagem. IMG_NOTES – Notas de uma imagem.

ImageThumbnailsByExam	
Descrição	Devolve imagem para um determinado resultado de exame.
Parâmetros de Entrada	RESULT_ID – ID do resultado.
Parâmetros de Saida	Tabela com imagem e notas IMAGE – Imagem. IMG_NOTES – Notas de uma imagem.

4.5. Diagrama Físico

A primeira versão da base de dados foi projectada utilizando o Sybase Power Designer, num diagrama conceptual, extraindo daí o diagrama físico.

Foram feitas várias actualizações, consoante as necessidades que se verificaram. Posteriormente, foi criada em SQL Server 2005, a primeira versão da BD. Com o desenvolvimento foram surgindo novas alterações a fazer, as quais foram realizadas já no SQL Server e que se reflectem na segunda versão.

Nas página seguinte, podemos visualizar a última versão do diagrama físico da BD.

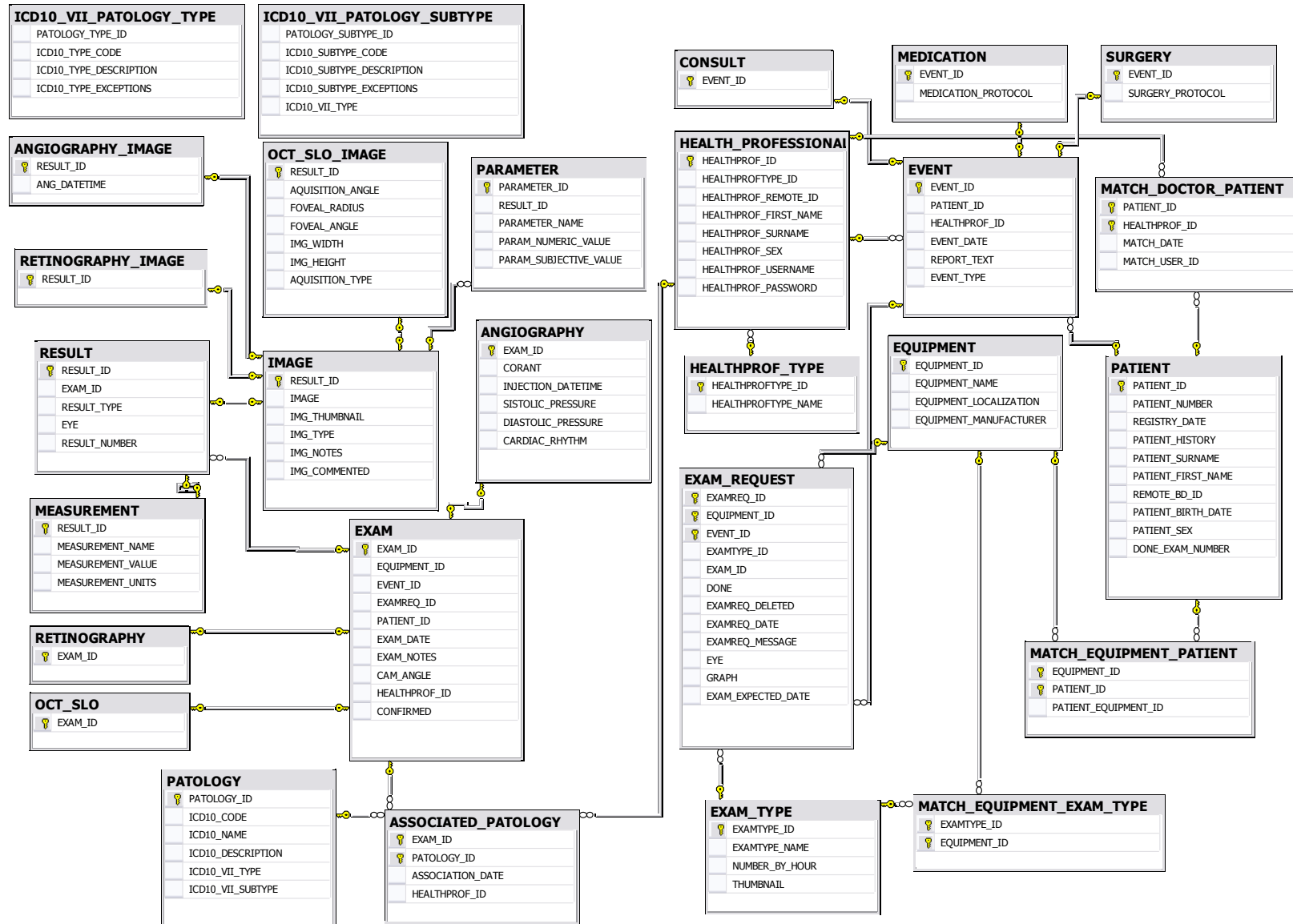


Figura 1 – Diagrama físico da segunda versão da base de dados.

5. Gestão de Acesso a Dados

A aplicação só funciona se existir acesso aos dados da BD. Para tal, é necessário configurar e permitir o acesso aos dados que lá existem, permitindo visualizar, adicionar, remover ou actualizar dados.

Na página seguinte é mostrado o diagrama de classes implementadas para acesso aos dados. As classes foram agrupadas por tipos de dados, de forma a facilitar o acesso aos dados por parte dos módulos de aquisição e gestão.

Os diferentes tipos de dados são:

- dados dos profissionais de saúde
- dados dos pacientes
- dados dos equipamentos
- dados dos exames
- dados dos eventos
- dados das imagens
- dados das patologias
- dados dos utilizadores

Cada classe deriva da classe base *MarshalRefObject* que fornece o acesso remoto aos dados através do domínio da aplicação (.NET Remoting). É esta classe que permite a chamada remota de objectos.

Cada classe estende a um interface, onde são definidos os métodos de cada uma, bem como estruturas de informação e enumerações utilizadas nos métodos.

As estruturas de informação permitem agrupar um conjunto de dados do mesmo tipo, de forma organizada, que será parâmetro de entrada de um determinado método, como por exemplo, dados de um pedido de exame.

5.1. Diagrama de Classes



Figura 2 - Diagrama de classes.

5.2. Especificação de Classes

- *Classe Patient*

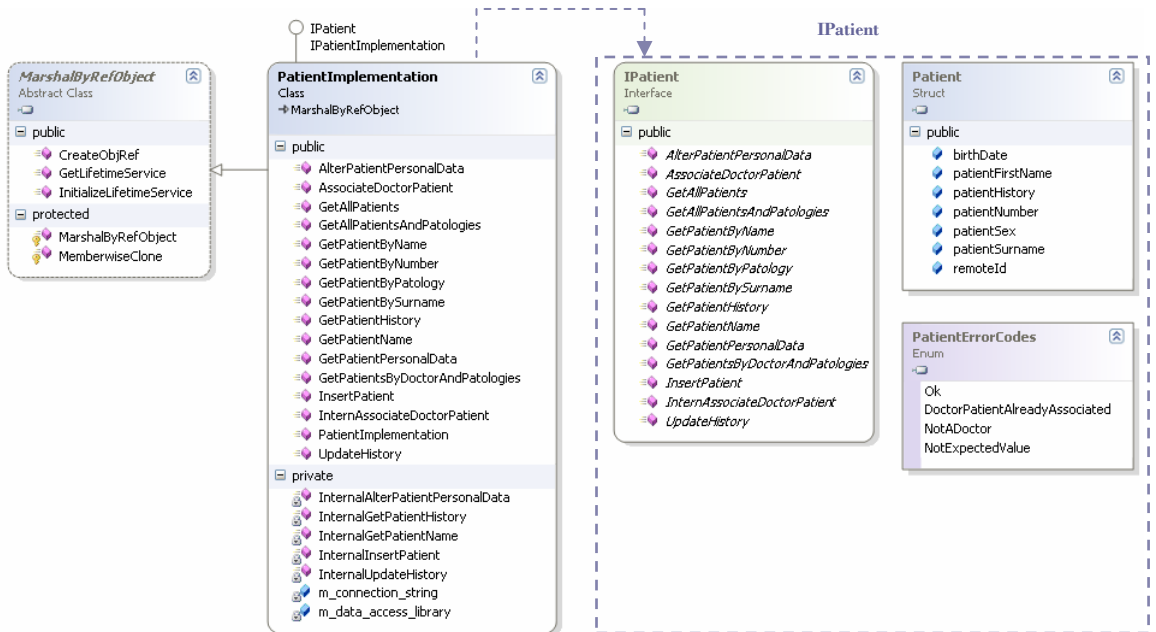


Figura 3 - Diagrama da classe Patient.

- *Classe Equipment*

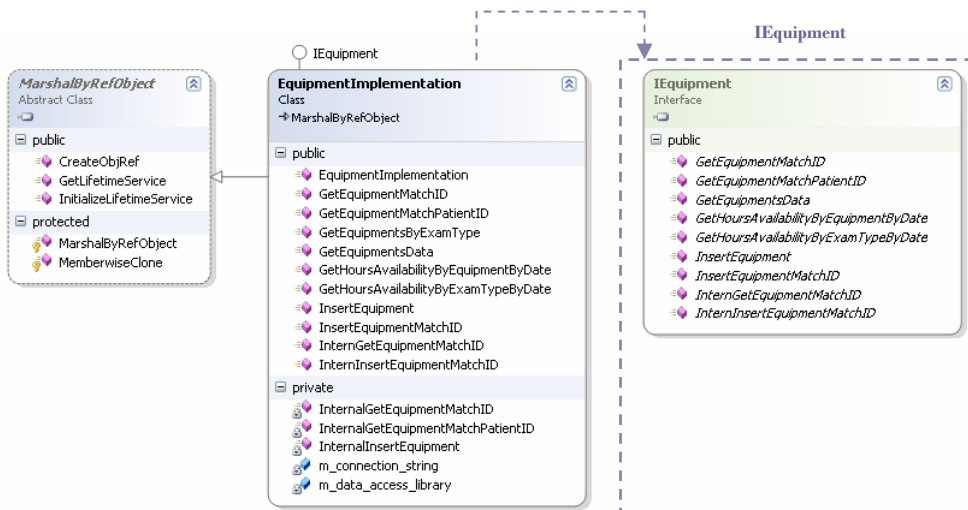
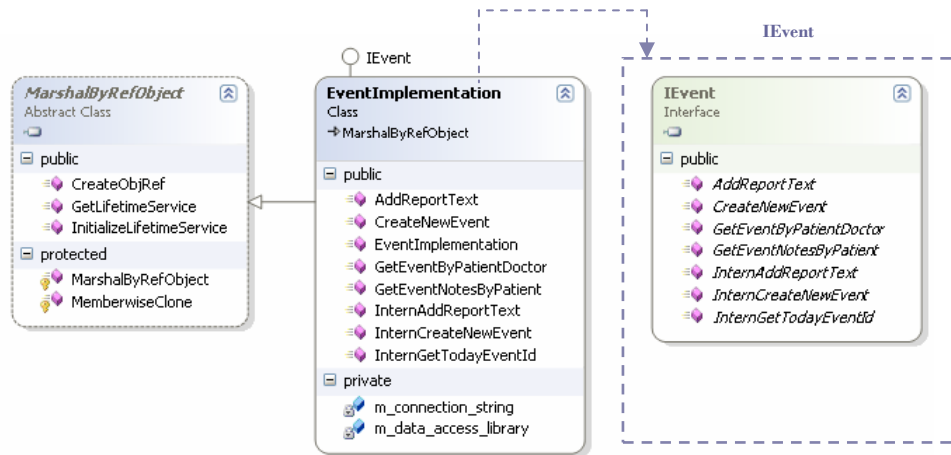
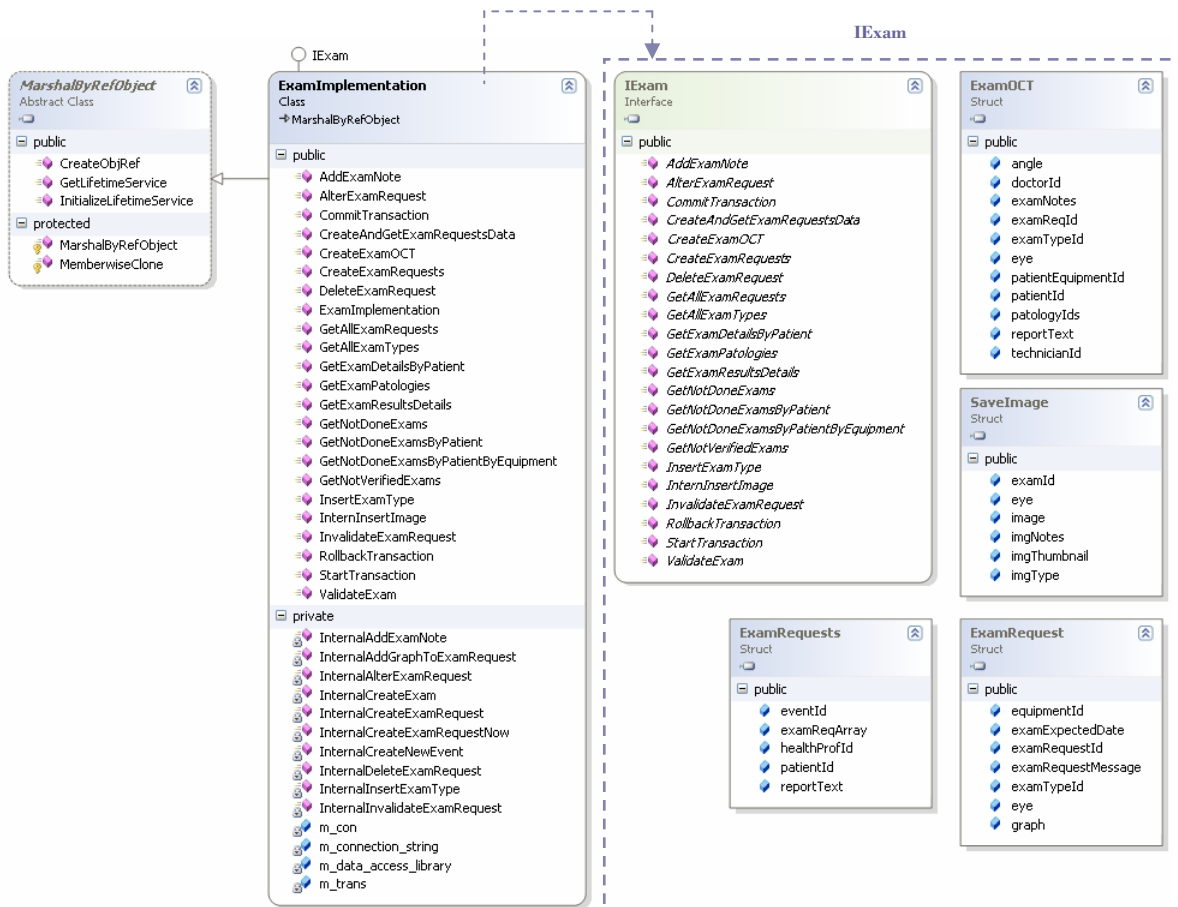


Figura 4 - Diagrama da classe Equipment.

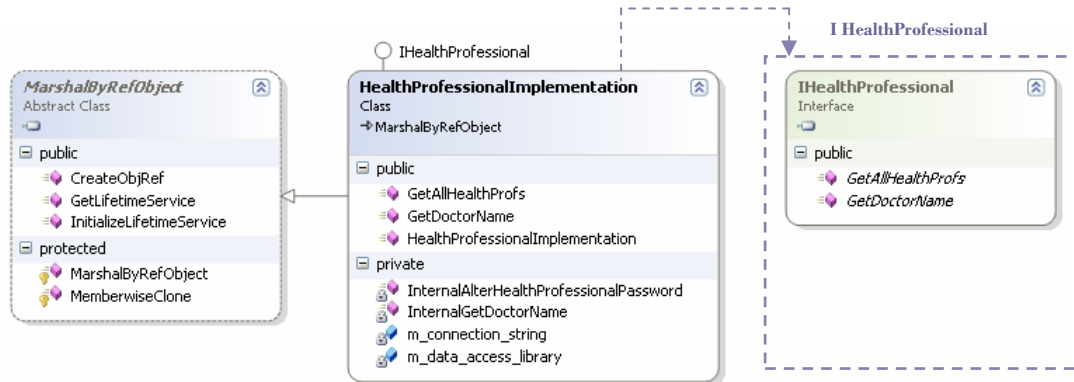
• *Classe Event*



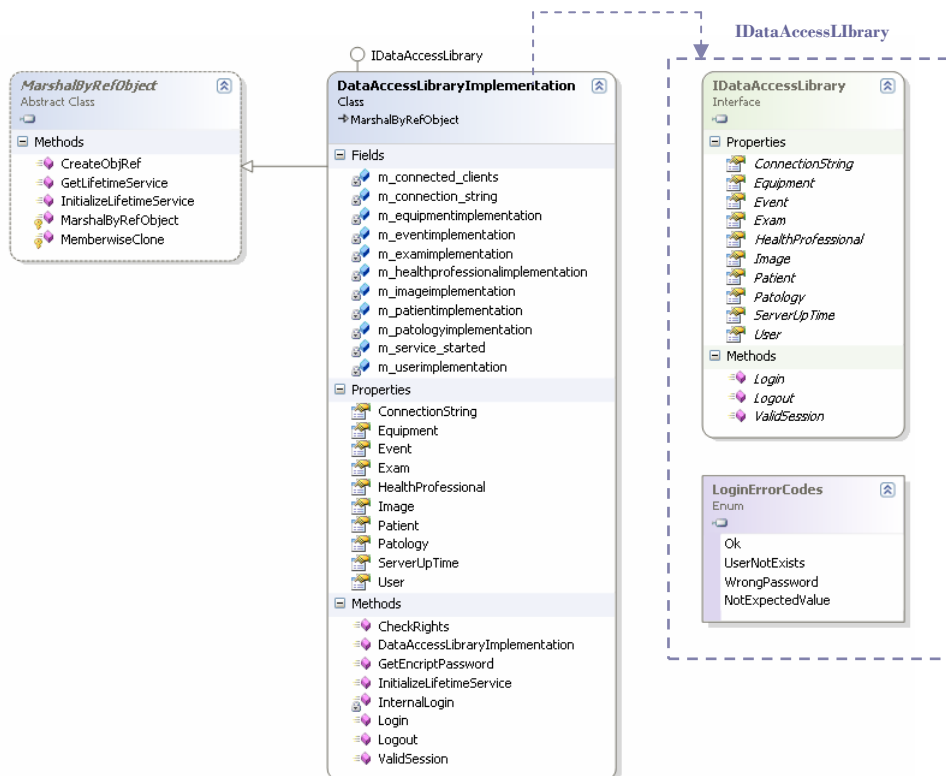
• *Classe Exam*



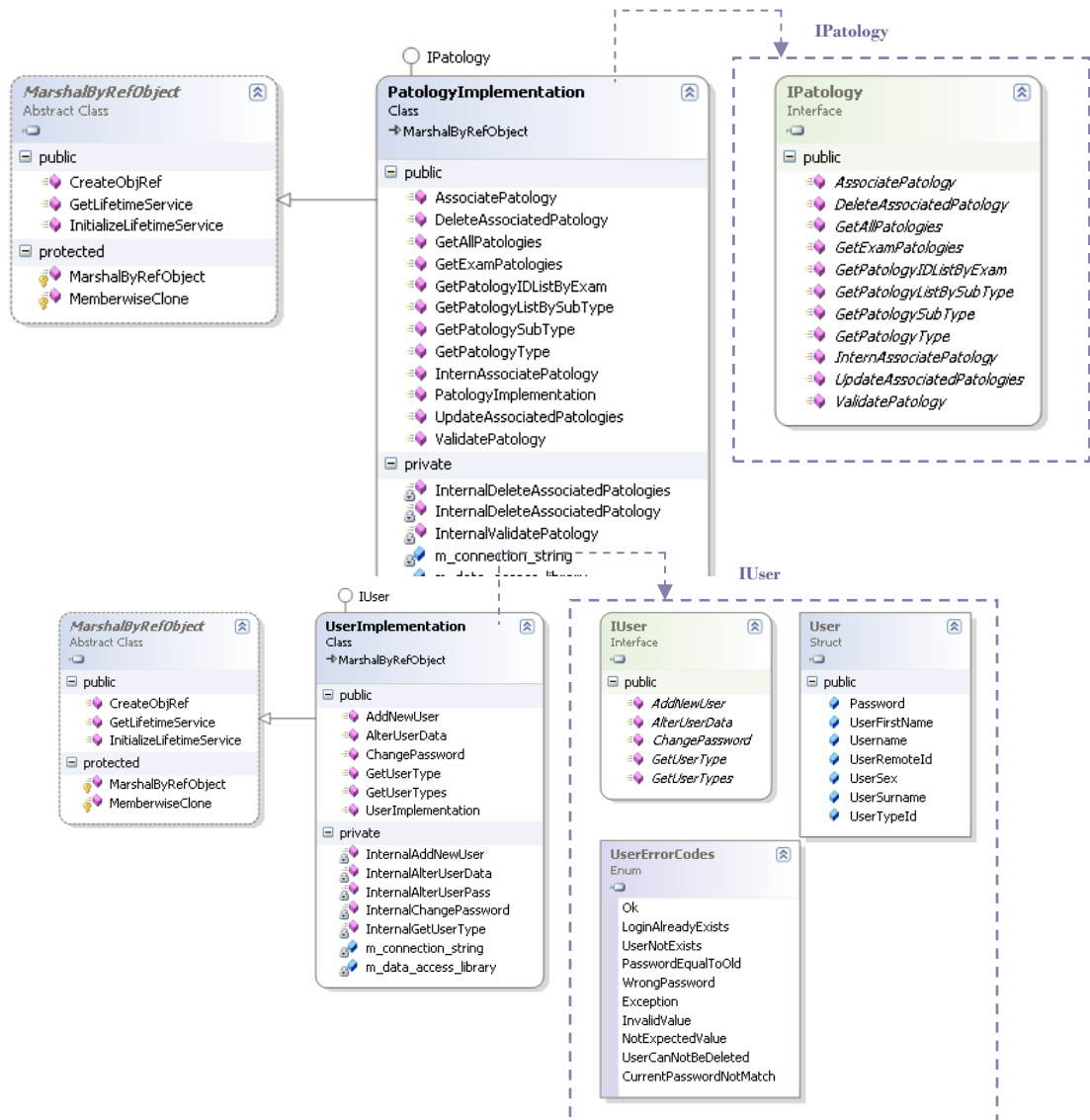
- *Classe HealthProfessional*



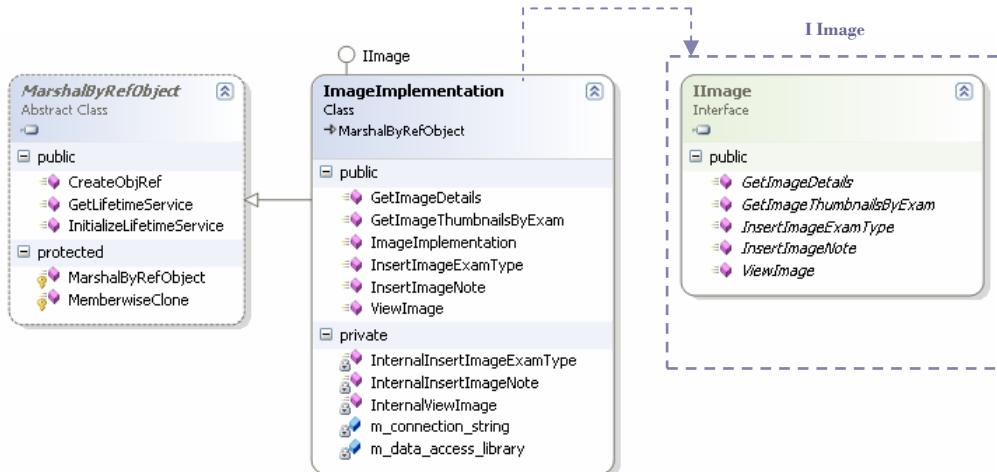
- *Classe DataAccessLibrary*



- *Classe Patology*

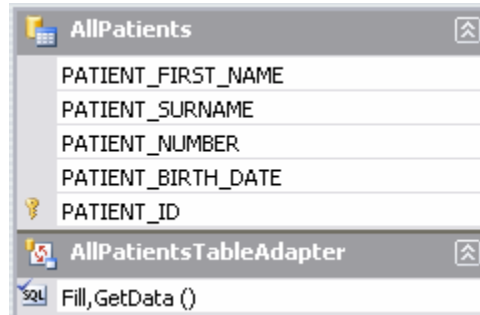


- *Classe Image*



5.3. Datasets

Uma das grandes vantagens introduzidas pela microsoft no .NET é o *dataset*. O *dataset* permite guardar o resultado de uma ou mais *queries* de SQL. Abaixo podemos ver um exemplo de um *dataset*, preenchido pela função *AllPatients* que devolve uma lista com informação de todos os pacientes.



Os *datasets* utilizados são:

- *AllPatientsRequestsDS*
- *AllExamTypesDS*
- *AllHealthProfsDS*
- *AllPatientsDS*
- *AllPatologiesDS*
- *EquipmentsByExamTypeDS*
- *EquipmentsDataDS*
- *EventByPatientDoctorDS*
- *EventNotesByPatientDS*
- *ExamDetailsByPatientDS*
- *ExamPatologiesDS*
- *ExamRequestsDataDS*
- *ExamResultsDetailsDS*
- *ExamsByHourByEquipmentDS*
- *ExamsByHourDS*
- *ImageDetailsDS*
- *ImageThumbnailsByExamDS*
- *NotDoneExamsByPatientByEquipmentDS*
- *NotDoneExamsByPatientDS*
- *NotDoneExamsDS*
- *NotVerifiedExamsDS*
- *PatientPersonalDataDS*
- *PatientByDoctorDS*
- *PatientsSearch*
- *PathologiesByPatientDS*
- *PathologyIDListByExamDS*
- *PathologyListBySubTypeDS*
- *PathologySubTypeDS*
- *PathologyTypeDS*

5.4. Teste de Funcionalidades

Todos os métodos criados para cada classe foram testados de forma a garantir a sua boa funcionalidade.

Foi utilizado um *form*, onde foram criados botões para chamar cada método, aparecendo agrupados por tipo de dados.

PATIENT_FIRST_NAME	PATIENT_SURNAME	PATIENT_NUMBER	PATIENT_BIRTH_DATE	PATIENT_ID
Aldo	Neves	645321879	28-02-1961	5
Abel	Santana	135151351	12-05-1955	26
Ana	Santos	321456789	15-02-1987 17:23	3
Antonieta	Santos	46433879	28-02-1947 17:35	8
Arminda Neves	Santos	185489732	25-02-1965	24
Filipa	Santos	33433879	18-02-1939 17:36	9
Maria João	Santos	555235345	03-04-1956	13

6. Segurança

A base de dados é utilizada para armazenar diversos tipos de informação, desde dados pessoais de pacientes e médicos a dados clínicos, para os quais é importante manter a confidencialidade e integridade. Verifica-se, então que a questão da segurança é de extrema importância.

Os mecanismos de segurança implementados são os seguintes:

- Encriptação de password

O acesso ao programa é realizado através de autenticação com *username* e *password*. O algoritmo de encriptação utilizado é o *SHA256*. Este algoritmo é bastante eficaz a guardar passwords, uma vez que não é descriptável, sendo a única operação possível a de comparação com outra password encriptada.

Em caso de esquecimento de password por parte do profissional de saúde, terá que ser criada uma nova password pelo administrador, que posteriormente, poderá ser alterada pelo utilizador.

Outro aspecto de segurança, quando a password é alterada, refere-se ao facto de não ser permitido ao utilizador a mudança de password para a password utilizada anteriormente. Um dos aspectos a otimizar, neste campo, é tornar a segurança por password mais robusta, não deixando o utilizador alterar para a uma das três passwords anteriores e obrigar a que esta tenha um tamanho mínimo. [lara][wiki]

Nesta fase não existe recuperação de password, e no caso do seu esquecimento, o administrador pode criar nova password. De notar, que existirão alguns profissionais de saúde médicos com privilégios de administrador.

- Controlo de Acesso de utilizadores da BD

Na fase de desenvolvimento de software, foi usado um utilizador para aceder à BD, que tinha todos os direitos sobre a mesma, ou seja, podia criar, apagar, modificar tabelas, gerindo assim toda a informação guardada na BD.

Numa fase futura, de utilização de software, por questões de segurança, esse utilizador não deve ter todos os direitos sobre a BD, não devendo ter direito de apagar tabelas, por exemplo.

- Controlo de Acesso a partir da aplicação em C# .NET

Também o ambiente de desenvolvimento da aplicação garante segurança a nível de acesso à BD, uma vez que o .NET só permite acesso aos dados a utilizadores devidamente credenciados.

De futuro, uma dos mecanismos a implementar para otimizar a segurança da aplicação, será a criação de *backups* da BD em determinados periodos de tempo, com o objectivo de recuperar os dados, caso haja algum problema mais grave.

7. Conclusão

O objectivo deste relatório foi a especificação do software desenvolvido, nomeadamente na parte da base de dados e gestão de acessos à mesma.

Foram especificadas o esquema físico da base de dados, com relevância para as várias versões utilizadas, as entidades, stored procedures e funções para gestão de informação da mesma.

Foi ainda especificado a forma como a informação é acedida por parte da aplicação, sendo através de classes e métodos criados para cada uma das funções e stored procedures.

Como objetivos futuros, prevê-se, para além da integração do módulo de data mining, a integração de novos equipamento no software, isto é, criação de novos módulos de aquisição de exames, originando actualizações da BD, as quais algumas já estão previstas, outras serão implementadas.

8. Referências

- [1] Santos, Armanda; Ferreira, Edgar; Barbeiro, Paulo. “WIADM_ApresentacaoFinal”, Junho 2007
- [2] Osório, Lara. “SIBS_EspecificacaoSoftware_0.3.doc”, Junho de 2007
- [3] C# help .NET remoting - <http://www.csharp-help.com/archives2/archive460.html>
- [4] .NET Remoting - http://en.wikipedia.org/wiki/.NET_Remoting
- [5] .NET Framework - http://en.wikipedia.org/wiki/.NET_framework
- [6] SHA256 - <http://en.wikipedia.org/wiki/SHA-1>
- [7] Stored Procedure - http://pt.wikipedia.org/wiki/Stored_procedure
- [8] SQL - <http://en.wikipedia.org/wiki/SQL>
- [9] C# - http://en.wikipedia.org/wiki/C_sharp
- [10] Sybase Power Designer - <http://www.sybase.com>
- [11] Microsoft Visual Studio - http://pt.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio
- [12] Microsoft SQL Server - http://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_SQL_Server

Attachment D

- Retina Characteristics Detection in OCT-SLO Images: Serous Detachment, Oedema and Macular Hole -

Detecção de Características da Retina em Imagens de OCT-SLO

**Edema
Buraco Macular
Descolamento Seroso**

WIA-DM

**Sistema de Apoio à Decisão para a especialidade de Oftalmologia
baseado em técnicas de Workflow e Data Mining aplicadas em
dados obtidos em ambiente clínico**

Versão 0.2

Coimbra, 02 Julho 2007



Tipo do Documento	Draft
Título	Detecção de Características da Retina em Imagens de OCT-SLO: Edema, Buraco Macular e Descolamento Seroso
Data de criação	13/06/2007
Produzido por	Armanda Santos
Compilado por	-
Fontes de informação	Levantamento de imagens de OCT-SLO realizado no CCC Dr. António Travassos Dr. Rui Proença Eng. Robert van Velze
E-mail	asantos@isa.pt
Para	-
Distribuição	Restrita
Lista de distribuição	ISA, CCC, BlueWorks
Distribuído por	Mail Ficheiro Word Ficheiro Pdf

Revisões

Versão	Autores	Descrição	Data
v0.1	Armanda Santos	Versão inicial	13/06/2007
v0.2	Armanda Santos	Versão adaptada para anexar no relatório final de projecto.	02/07/2007

Índice

ABREVIATURAS	3
1. INTRODUÇÃO.....	4
2. CARACTERIZAÇÃO DA IMAGEM DE B-SCAN NORMAL.....	4
3. CARACTERIZAÇÃO DA IMAGEM DE B-SCAN COM PATOLOGIA.....	5
4. ALGORITMOS DE DETECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS...6	
4.1. DETECÇÃO DA PRESENÇA DE DESCOLAMENTO SEROSO E EDEMA	6
4.1.1. Pré-Processamento da Imagem	7
4.1.2. Detecção e Caracterização de Descolamento Seroso	11
4.1.3. Detecção e Caracterização de Edemas	19
4.2. DETECÇÃO DA PRESENÇA DE BURACO MACULAR	23
4.2.1. Pré-Processamento da Imagem	23
4.2.2. Localização e Caracterização de Buraco Macular	25
5. EFICIÊNCIA DOS ALGORITMOS	28
5.1. TEMPO DE DURAÇÃO DE PROCESSAMENTO	28
5.1.1. Algoritmo de Detecção de Descolamento Seroso	28
5.1.2. Algoritmo de Detecção de Edemas	30
5.1.3. Algoritmo de Localização de Buraco Macular	31
5.2. CAPACIDADE DE GENERALIZAÇÃO DOS ALGORITMOS	32
5.2.1. Algoritmo de Detecção de Descolamento Seroso	33
5.2.2. Algoritmo de Detecção de Edemas	35
5.2.3. Algoritmo de Localização de Buraco Macular	37
6. CONCLUSÃO	39
7. REFERÊNCIAS.....	40

Abreviaturas

Abreviatura	Definição
CCC	Centro Cirúrgico de Coimbra
OCT-SLO	Optical Coherence Tomography – Scanning Laser Ophthalmoscope
EP	Epitélio Pigmentado
LAR	Límite Anterior da Retina
LPR	Límite Posterior da Retina
R	Red
G	Green
B	Blue
DS	Descolamento Seroso
BM	Buraco Macular
DR	Descolamento da Retina

1. Introdução

Após o desenvolvimento de uma versão inicial do software de gestão do processo clínico, que, para além de guardar todos os dados clínicos, permite realizar e guardar os resultados provenientes dos exames clínicos, torna-se necessário seguir a etapa de processamento de imagem, com extracção de características das imagens para posterior análise em redes neuronais.

Esta fase de extracção de características incide sobre o exame do tipo Scan Longitudinal (b-scan) realizado no equipamento de OCT-SLO, equipamento para o qual foi desenvolvido o módulo de integração no software, o qual permite exportar os resultados dos exames directamente deste equipamento para a base de dados da aplicação desenvolvida.

Uma grande variedade de patologias poderão ser diagnosticadas a partir das imagens de b-scan, no entanto, nesta fase inicial de processamento, foram seleccionadas alguns tipos de imagens relacionadas com as patologias de descolamento seroso, buraco macular e edemas. A detecção da presença destas patologias implica a caracterização de determinados parâmetros da imagem, nomeadamente, o limite superior da retina, o limite do epitélio pigmentado, a espessura da retina e a detecção da presença de lesões entre as camadas da retina, que poderão indicar buraco macular, descolamento seroso ou edema.

Pretende-se, desta forma, obter alguns parâmetros de imagens que possam ser analisadas por redes neuronais simples, mas que possam fazer desde logo, uma previsão do diagnóstico.

As fases de processamento explicitadas neste documento são a caracterização de presença de descolamento seroso, edemas e buraco macular.

A ferramenta utilizada para processamento de imagem é o MatLab, sendo depois este módulo de processamento incorporado no software desenvolvido anteriormente, no módulo de gestão clínica.

2. Caracterização da imagem de B-scan Normal

A imagem de B-Scan corresponde à imagem de um corte longitudinal da retina num determinado ângulo, que mede a reflectância das camadas da retina.

Cada imagem de B-Scan é obtida por uma sequência linear de 500 T-Scan (scans transversais) de 4 μm de distância entre cada, compondo uma secção longitudinal B-Scan de 2 mm e por uma sequência de 500 A-Scan de 16 μm de distância entre cada, compondo uma secção transversal T-Scan de 8 mm. Pode-se então constatar que um pixel corresponde às dimensões reais de aproximadamente 7,8 μm de largura e 5,8 μm de altura, perfazendo uma área de 45,7 μm^2 [3].

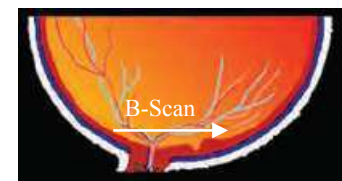


Figura 1 – Imagem do olho. [6]

Para além do B-Scan, a imagem inclui informação adicional sobre o exame realizado. Inclui uma imagem do fundo do olho que permite, para além de outra informação, identificar o ângulo em que foi feita a aquisição (seta a vermelho). Inclui também uma zona de linhas verticais, indicativa da qualidade da imagem adquirida, uma vez que permite identificar possíveis movimentos do olho, durante a realização do exame. Se não existirem descontinuidades nas linhas, significa que a posição do olho não foi alterada durante a aquisição desta imagem e esta à partida terá boa qualidade.

Na imagem de B-scan podem identificar-se várias características, devido à maior ou menor reflectância das distintas camadas.

O vítreo, anterior à retina, não é reflectivo e surge como um espaço negro [4].

A depressão central identifica a fóvea, que é facilmente detectável pela diminuição da espessura da retina.

A zona posterior da retina é marcada por uma zona hiper-reflectiva que é o epitélio pigmentado retinal (EP) [4].

Abaixo do EP, a coróide e a esclera não são tão visíveis na imagem, uma vez que o sinal atenua em profundidade e em tempo, não atingindo estas estruturas [4].

Interiormente e junto ao EP, existe uma camada minimamente reflectiva que traduz a camada de fotorreceptores, cones e bastonetes [4].

Acima do EP até ao limite anterior da retina existem diferentes camadas retiniais com diferentes graus de reflectividade. Entre estas camadas, podem surgir lesões que podem ser identificadas pelos diferentes graus de reflectividade.

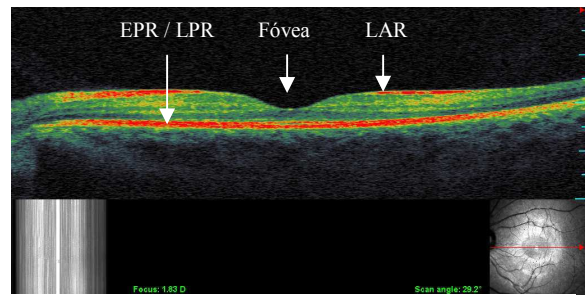


Figura 2 – Exemplo de imagem B-Scan do equipamento OCT-SLO com aspecto normal.

3. Caracterização da imagem de B-scan com Patologia

No caso da existência de lesões como edema ou descolamento seroso, preenchidos por fluído seroso, estes identificam-se por zonas com pouca reflectividade entre as camadas anterior e posterior da retina, ou seja, manchas escuras.

No caso de buraco macular, este identifica-se por uma grande depressão na zona da fóvea, preenchida por humor vítreo. Uma vez que o vítreo não é reflectivo, surge um espaço escuro na zona da depressão.

Para a detecção da presença deste tipo de lesões, é utilizada informação previamente extraída por outros algoritmos sobre a localização dos limites posterior e anterior das camadas da retina, respectivamente, EP e LAR.



Figura 3 – Imagem B-Scan com lesões evidentes.

Pretende-se, neste capítulo, dar uma visão geral das principais etapas seguidas para detecção da presença deste tipo de lesões e caracterização das mesmas, através dos algoritmos de detecção e caracterização de descolamento seroso (*SerousDetachmentDetect.m*), detecção e caracterização de edema (*EdemasDetect.m*) e localização e caracterização de buraco macular (*GetHoleInfo.m*).

A detecção das zonas escuras da imagem entre as camadas anterior e posterior da retina, requer que a imagem seja pré-processada, a fim de evidenciar as zonas pretendidas, e eliminar as áreas irrelevantes para este processo. Uma vez estando a imagem pré-processada, passa-se à segunda etapa de caracterização das lesões encontradas, consoante a especificidade de cada tipo de lesão.

Caso sejam detectados descolamento seroso, edema ou buraco macular, em cada algoritmo é determinado o número de lesões encontradas, e para cada uma, características como a área, altura máxima, largura máxima e a distância média ao EP [1].

4. Algoritmos de Detecção e Caracterização de Patologias

4.1. Detecção da Presença de Descolamento Seroso e Edema

Uma vez que o pré-processamento de imagem pretende evidenciar zonas de pouca reflectividade entre as camadas retiniais, este é comum ao algoritmo de detecção de descolamento seroso e detecção de edema.

A função *SerousDetachmentDetect.m* tem os seguintes parâmetros:

```
[numDetachments, DetachmentsInfo] =
    SerousDetachmentsDetect(preProcessStepsDisp, processStepsDisp,
        filledDetachDisp, boundariesDetachDisp, img, filename, epithelium, ilm)
```

preProcessStepsDisp – Parâmetro de entrada que pode tomar valores de 1 ou 0, consoante o utilizador quer que sejam apresentados ou não os passos de pré-processamento da imagem;

processStepsDisp – Parâmetro de entrada que pode tomar valores de 1 ou 0, consoante o utilizador quer que sejam apresentados ou não os passos de caracterização das lesões encontradas na imagem;

filledDetachDisp – Parâmetro de entrada que pode tomar valores de 1 ou 0, consoante o utilizador quer que sejam apresentados os resultados finais da detecção de lesões, com a área de pontos preenchidos na imagem original;

boundariesDetachDisp – Parâmetro de entrada que pode tomar valores de 1 ou 0, consoante o utilizador quer que sejam apresentados os resultados finais da detecção de lesões, com os contornos representados na imagem original;

img – Parâmetro de entrada que representa a imagem a processar. Se este parâmetro não existir, é utilizada uma imagem, por defeito;

filename – Parâmetro de entrada que representa o nome da imagem a processar. Se este parâmetro não existir, é utilizado um nome, por defeito (*'Untitled Image'*);

epithelium – Parâmetro de entrada que representa o limite posterior da retina/EP da imagem. Se este parâmetro não existir, é chamada a função que determina esse limite (*GetEpithelium.m*);

ilm – Parâmetro de entrada que representa o limite anterior da retina/LAR da imagem a processar. Se este parâmetro não existir, é chamada a função que determina esse limite (*GetIlm.m*);

DetachmentsInfo – Parâmetro de saída que representa a estrutura de informação resultante da detecção de descolamento seroso.

Por cada descolamento encontrado, são preenchidos os seguintes campos:

- *LabelMatrix* – Matriz do tamanho da imagem original representativa dos pixels do descolamento, sendo uma imagem binária preta com o descolamento representado a branco;
- *HolePoints* – Matriz representativa das coordenadas dos pontos de toda a área do descolamento;
- *Height* – Valor da altura máxima da lesão, em mm;
- *Width* – Valor da largura máxima da lesão, em mm;
- *Area* – Valor da área da lesão, em mm²;
- *EpithDistAverage* – Valor da distância média da lesão ao EP, em mm;

- *Boundary* – Matriz representativa das coordenadas dos pontos dos contornos do descolamento;

numDetachments – Parâmetro de saída que representa o número de descolamentos serosos detectados;

Os parâmetros de entrada e saída da função *EdemasDetect.m* são os mesmos, com a única diferença da estrutura de informação resultante se denominar *EdemasInfo* e para o número de edemas resultantes *numEdemas*.

```
[numEdemas, EdemasInfo] =  
EdemasDetect(preProcessStepsDisp, processStepsDisp, filledEdemasDisp,  
boundariesEdemasDisp, img, filename, epithelium)
```

Cada uma destas funções chama sub funções que podem ser internas se forem exclusivamente utilizadas por um único algoritmo, ou externas, se utilizadas por mais.

4.1.1. Pré-Processamento da Imagem

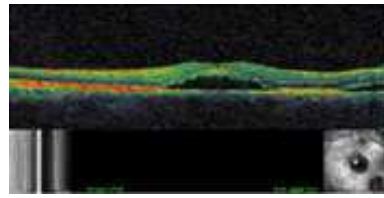
As etapas de pré-processamento da imagem comuns aos algoritmos *SerousDetachmentDetect.m* e *EdemasDetect.m* são:

- 1) Obtenção da área de interesse da imagem
- 2) Conversão da imagem em escala de cinzentos
- 3) Conversão da imagem em imagem binária
- 4) Filtragem de ruído I : filtro de mediana
- 5) Filtragem de zonas de lesões retiniais: exclusão das zonas da imagem externas às camadas da retina, deixando apenas visíveis as zonas das lesões existentes entre as camadas
- 6) Filtragem de barra vertical da imagem
- 7) Filtragem de ruído II : filtro de mediana
- 8) Ilustração das etapas de pré-processamento

4.1.1.1. Obtenção da área de interesse da imagem

Podem existir dois tipos de imagem de OCT-SLO. Uma delas possui informação adicional na parte inferior (*a*), enquanto que outra, destacando mais a imagem do fundo do olho, possui essa informação na parte lateral esquerda e inferior (*b*).

É necessário excluir essas zonas e obter apenas a área de interesse a analisar. Para tal, é utilizado o método *CropImage.m* que exclui a parte da imagem irrelevante para este processo.



(a)

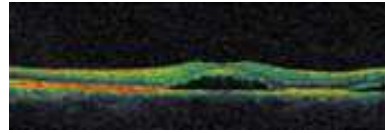
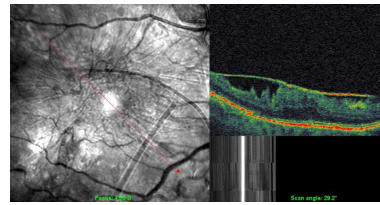


Figura 4 – Exemplo de um tipo de imagem B-Scan do equipamento OCT-SLO original e cortada.



(b)

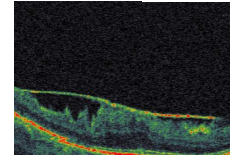


Figura 5 – Exemplo do outro tipo de imagem B-Scan do equipamento OCT-SLO original e cortada.

4.1.1.2. Conversão da imagem em escala de cinzentos

Depois de ter a imagem pronta a pré-processar, o objectivo é convertê-la em imagem binária, de forma a obter as áreas de lesão a preto com todo o resto da imagem a branco. Para tal, começa-se por converter a imagem em escala de cinzentos.

Uma vez que a componente verde da imagem é a componente que mais deve ser evidenciada, enquanto que a componente azul quase exclusivamente representa ruído na imagem, obtêm-se os componentes de cor da imagem (red, green, blue) e faz-se uma conversão para cinzentos não homogénea.

Utilizando estes valores das componentes R, G e B, faz-se a conversão para escala de cinzentos, considerando um ‘peso’ diferente para as diferentes cores. Da componente verde, considera-se 80%, da componente vermelha considera-se 40%, pois aparece maioritariamente no EP parte superior da retina, não sendo tão importante evidenciar, enquanto que da componente azul, que representa quase unicamente ruído, considera-se 10%. ($0.4 * R + 0.8 * G + 0.1 * B$)

4.1.1.3. Conversão da imagem em imagem binária

Nesta fase converte-se a imagem em escala de cinzentos para imagem binária.

Uma vez que a imagem em escala de cinzentos possui valores de pixels entre 0 e 1, utilizando um valor de *threshold* adequado, converte-se os pixels mais escuros para preto (0), e os mais claros para branco (1). O valor de *threshold* encontrado mais adequado, de forma a evidenciar as zonas pretendidas, sem perder muita informação relevante foi 0.2. Uma das vantagens deste valor é conseguir evidenciar bem as zonas pretendidas, eliminando a maior parte das zonas escuras da imagem que não representariam zonas de lesões. No entanto tem uma desvantagem, que se relaciona com o facto de quanto mais baixo, mais evidencia as zonas mais escuras, no entanto, os contornos das áreas pretendidas tornam-se mais indefinidos.

É utilizada a função *hardlim* do matlab, que é uma função de transferência, que toma valores de 1 e 0 consoante os valores de entrada são positivos ou negativos, respectivamente. Para cada valor dos pixels da imagem, subtrai-se o valor de *threshold*, e se o resultado for negativo, a função *hardlim* torna esse pixel preto, caso contrário branco.

4.1.1.4. Filtragem de ruído I

Esta etapa permite remover o ruído da imagem binária utilizando o filtro de mediana.

O filtro de mediana é utilizado para remover ruído da imagem binária, tornando a imagem mais homogênea. Cada pixel da nova imagem é calculado em função dos valores dos pixels vizinhos ordenados, ou seja, o que fica na posição central. Neste caso, a melhor opção encontrada para filtrar a imagem, foi uma janela quadrada de 7 pixels.



Figura 6 – Imagem binária.



Figura 7 – Imagem binária filtrada com filtro de mediana.

4.1.1.5. Filtragem de zonas de lesões retinais

Nesta fase, tendo a imagem binária com as zonas reflectivas e não reflectivas a branco e preto respectivamente, torna-se necessário excluir as zonas da imagem externas às camadas da retina, deixando apenas visíveis as zonas das lesões existentes entre as camadas.

A sub função *ClearImage.m* obtém a imagem binária apenas das zonas das lesões excluindo as zonas externas retiniais. Esta recebe uma imagem binária, o limite do EP e o



Figura 8 – Imagem representativa dos limites anterior(LAR) e posterior(EP) da retina.

LAR e devolve uma imagem binária apenas das zonas pretendidas. ($[ImageOut] = ClearImage(epithelium, ilm, ImageIn)$)

Para eliminar a zona abaixo da epitélio pigmentado (EP), são percorridas todas as colunas da imagem, e para cada uma, tornam-se brancos os pixels desde o valor do EP até à parte inferior da imagem.



Figura 9 – Representação da eliminação da zona externa ao EP.



Figura 10 – Imagem binária com zona externa ao EP excluída.

O limite anterior da retina é representado por uma imagem binária, com a reprodução a branco do LAR. Por cada coluna da imagem, podem surgir mais do que um valor.

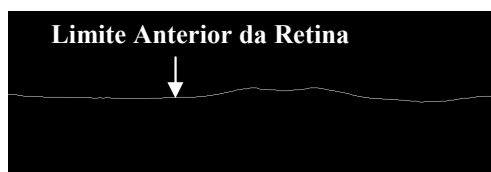


Figura 11 – Representação do LAR.

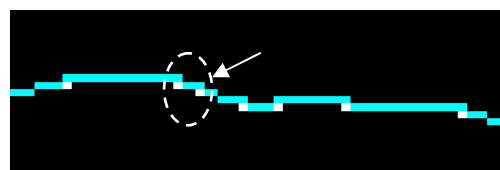


Figura 12 – Representação ampliada do LAR com evidência para detalhes.

Para eliminar a zona acima do LAR, percorrem-se todas as colunas da imagem, e para cada uma, tornam-se brancos os pixels desde a parte superior da imagem até ao primeiro valor branco encontrado no LAR.



Figura 13 – Representação da eliminação da zona interna ao LAR.



Figura 14 – Imagem binária com zonas externas à retina excluídas.

4.1.1.6. Filtragem de barra vertical da imagem

Por vezes, a imagem a processar, pode ter do lado esquerdo uma barra vertical escura em toda a altura da imagem, correspondente a ruído relacionado com a aquisição do exame. Este é necessário eliminar, de forma a não ser identificado como uma lesão erradamente.

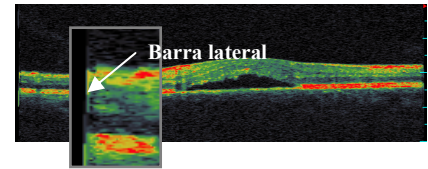


Figura 15 – Representação ampliada da barra vertical que pode aparecer à esquerda da imagem.

A sub função *ClearLeftStripe.m* permite eliminar a maior parte dos pixels correspondentes a esta barra vertical de ruído.

A função recebe uma imagem binária, o limite do EP, o LAR e um valor que identifica até que distância da margem esquerda da imagem procurar esta barra (*SearchCollimit*) e devolve uma imagem binária sem a barra do lado esquerdo e um valor da coluna onde encontrou o último ponto da barra vertical (*LeftValue*).

Começa por fazer uma pesquisa, por cada coluna do início até ao valor estabelecido (*SearchCollimit*) e se encontrar apenas pixels pretos entre o valor do EP e do LAR nessa coluna, deduz-se que aparece aí uma barra e excluem-se esses pixels, colocando-os a branco.

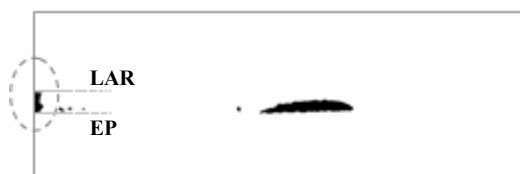


Figura 16 – Imagem binária com presença de barra vertical.

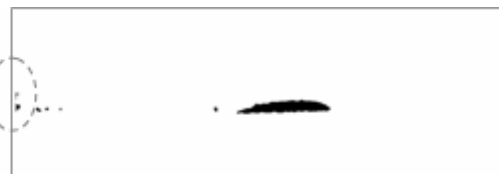


Figura 17 – Imagem binária com barra vertical eliminada.

4.1.1.7. Filtragem de Ruído II

Aplica-se novamente o filtro de mediana para eliminar algum ruído originado pelo passo anterior.

Uma vez que o limite anterior da retina pode ter mais do que um valor por coluna, e como só é eliminado desde o limite superior da imagem até ao primeiro valor encontrado do LAR, na imagem resultante permanecem alguns pixels pretos junto da zona do LAR.

Para eliminar a maioria desses pixels, aplica-se um filtro de mediana de janela quadrada de 5 pixels.



Figura 18 – Imagem binária com ruído resultante do passo anterior.



Figura 19 – Imagem binária filtrada com mediana.

4.1.1.8. Representação das Etapas de Pré-Processamento

Antes da classificação das áreas de lesão, mostram-se as imagens dos passos seguidos no pré-processamento, se a variável *preProcessStepsDisp* for igual a 1.

4.1.2. Detecção e Caracterização de Descolamento Seroso

Estando a imagem pré-processada, segue-se a etapa de classificação das zonas de lesão candidatas a descolamento seroso.

Os descolamentos serosos, como já mencionado anteriormente, são zonas pouco reflectivas e localizam-se junto e acima do EP, tendo normalmente uma largura maior que a sua altura. Geralmente, quando existem, verifica-se que há um levantamento da retina nessa zona, ou seja, há um aumento da espessura na zona da retina onde se encontram.

Podem também encontrar-se zonas pouco reflectivas, pequenas e de forma arredondada, acima e junto do EP que mostram a presença de vasos sanguíneos, que é necessário excluir da detecção de lesões, como se pode ver na imagem ao lado.

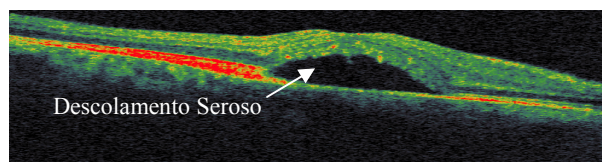


Figura 20 – Imagem B-Scan com descolamento seroso.

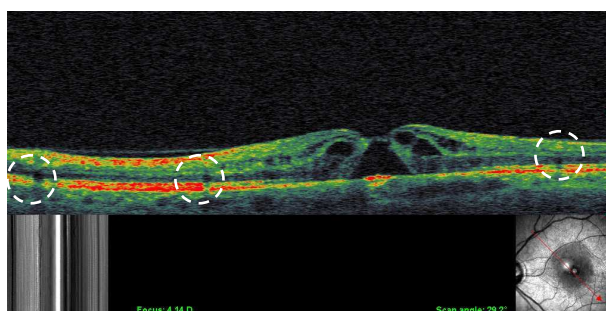


Figura 21 – Imagem B-Scan com evidência para a presença de vasos sanguíneos.

As etapas gerais de detecção e classificação de zonas de descolamento seroso são:

- 1) Classificação de zonas de lesão
- 2) Filtragem de lesões de área mínima (ruído)
- 3) Determinação das dimensões das lesões
- 4) Determinação da distância das lesões ao EP
- 5) Filtragem de lesões de largura mínima (ruído)
- 6) Filtragem de edemas e buraco macular
- 7) Determinação da espessura retinal nas zonas de lesão
- 8) Filtragem de lesões pela espessura retinal
- 9) Determinação de contornos das lesões
- 10) Conversão de resultados

- 11) Representação das etapas de classificação
- 12) Representação das áreas de descolamento seroso
- 13) Representação dos contornos de descolamento seroso

4.1.2.1. Classificação de zonas de lesão

A sub função *LabelImageHoles.m* permite classificar as diferentes zonas de lesão anteriormente encontradas, devolvendo o número de lesões encontradas e a informação sobre essas lesões numa estrutura.

Os principais passos seguidos por esta função são descritos, em seguida:

- 1) Inverte-se a imagem binária de entrada, de forma a obter as zonas de lesão a branco.
- 2) Adiciona-se uma linha branca à volta de toda a imagem. De forma a conseguir classificar conjuntos de pixels brancos rodeados de pixels pretos que estejam no limite da imagem, é essencial adicionar este contorno, que depois desta operação é ignorada.
- 3) Classificam-se os conjuntos de pixels [5]:
 - a. Cria-se uma imagem auxiliar preta ‘*LabelMatrix*’ para adicionar cada uma das áreas de interesse, que é colocada de novo a preto depois de classificada cada área e guardada.



Figura 22 – Imagem binária com destaque de linha de contorno adicionada.

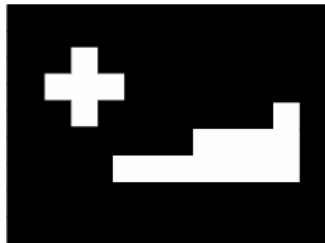


Figura 23 – Exemplo de imagem binária ampliada.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 24 – Matriz da imagem binária da figura x.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 25 – Matriz auxiliar *LabelMatrix*.

- b. Cria-se uma estrutura de apoio (*HolesInfoOut1*) para guardar a informação acerca das áreas encontradas.
- c. Cria-se uma variável de apoio, com um valor unitário (*label1*) que será incrementada por cada novo conjunto de pixels que surgir e uma variável de apoio (*search*) com valor positivo para indicar quando termina a pesquisa de pontos na imagem.
- d. Começa-se por verificar se existem pixels brancos na imagem. Se não existem, devolve-se um número de descolamentos nulo.
- e. Se existirem pixels brancos, enquanto a variável *search* for positiva, começa-se a classificar os conjuntos de pixels interligados entre si.
 - i. Começa-se por procurar um primeiro pixel branco;
 - ii. Coloca-se esse pixel a branco na matriz auxiliar que representa o início de uma área de interesse.

- vii. Quando já tivermos procurado em todos os pixels do array *temp* e não existirem pontos vizinhos de nenhum desses pontos, significa que já não há mais pontos interligados com este conjunto de pixels.
 1. Guarda-se a imagem/matriz dos pontos deste descolamento num campo *LabelMatrix* na estrutura *DetachmentsInfo*, já com a devida linha que foi adicionada em torno da imagem ignorada.
 2. Inicia-se de novo a matriz auxiliar *LabelMatrix* a zeros e continua-se a procurar novos conjuntos de pixels, repetindo os passos anteriores iv a vi;

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 37 – Matriz da imagem binária.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 38 – Matriz auxiliar reiniciada a zeros.

- viii. Quando não forem encontrados mais pixels brancos na imagem, torna-se a variável *search* nula, para-se o ciclo e determina-se o tamanho da estrutura obtida, a fim de saber quantas áreas de lesão foram encontradas.

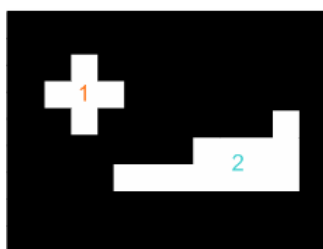


Figura 39 – Imagem binária classificada.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 40 – Matriz auxiliar 1.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	0
0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 41 – Matriz auxiliar 2.

4.1.2.2. Filtragem de lesões de área mínima

Uma vez tendo todas as lesões classificadas, é necessário passar por algumas etapas de filtração de zonas de ruído que possam ainda existir e foram classificadas como lesões.

Percorrendo todas as zonas obtidas, removem-se pequenas áreas que possivelmente serão zonas de ruído. O valor encontrado mais adequado para o mínimo da área a eliminar, sem eliminar possíveis lesões é de 30 pixels.

A sub função *RemoveSmallestHoles.m* recebe o valor de mínimo de área pretendida para cada área classificada (*MinArea*), uma estrutura com a informação das lesões (*HolesInfoOut1*) e devolve uma estrutura com as lesões com área superior à área mínima (*HolesInfoOut2*) e o número de lesões resultantes (*HolesNumber*).

Os passos seguidos para esta eliminação de conjuntos de pixels, passam por percorrer cada conjunto de pixels, isto é, cada lesão, e verificar se tem a área mínima pretendida. Caso preencham este requisito, são copiados para uma nova estrutura, a qual é devolvida pela função.

4.1.2.3. Determinação das dimensões das lesões

Esta fase permite avaliar e guardar informação sobre a altura máxima, largura máxima e áreas das lesões encontradas até esta fase.

A sub função *GetHoleDimensions.m* recebe uma estrutura com a informação de conjuntos de pixels (*HolesInfoOut2*) e devolve o número de conjuntos de pixels (*HolesNumber*) e uma estrutura com informação das respectivas áreas, altura máxima, largura máxima e coordenadas na imagem (*HolesInfoOut3*).

Se a estrutura de entrada da função não estiver vazia, percorre cada um dos conjuntos de pontos e determinam-se os parâmetros pretendidos:

- Determinar as coordenadas dos pontos do descolamento
Procura-se na matriz do conjunto de pixels, as coordenadas de todos os pontos que não são nulos.
- Determinar a área do descolamento
O número de pontos encontrados equivale à área em pixels desse conjunto de pontos.
- Determinar a altura máxima
Percorrem-se as colunas onde foram encontrados pontos, determina-se o número de linhas por coluna e guarda-se num *array* temporário. A altura máxima é o valor máximo deste conjunto de valores.
- Determinar a largura máxima
Percorrem-se as linhas onde foram encontrados pontos, determina-se o número de colunas por linha e guarda-se num *array* temporário. A largura máxima é o valor máximo deste conjunto de valores.

Por fim, guardam-se estes valores na estrutura *HolesInfoOut3*, respectivamente nos campos, *HolePoints*, *Area*, *Height* e *Width*.

4.1.2.4. Determinação da distância das lesões ao EP

A sub função *GetHolesPosition.m* recebe o vector do EP e uma estrutura com os pontos das lesões e devolve na mesma estrutura informação nova sobre a distância média de cada lesão ao epitélio pigmentado.

Se a estrutura de entrada da função não estiver vazia, percorre cada um dos conjuntos de pontos, determina os valores dos pontos na zona inferior do conjunto, os valores dos pontos das mesmas colunas no EP, e por fim calcula a média das distâncias entre estes valores, obtendo-se a média da distância ao EP.

Por fim, essa informação é guardada num novo campo da estrutura, *EpithDistAverage*. Neste caso, como os descolamentos estão muito próximos do EP, essas distâncias são mínimas.

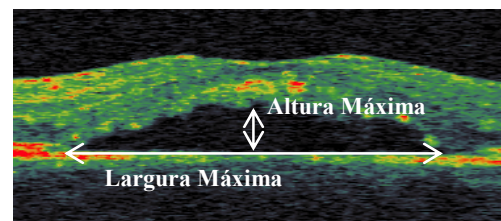


Figura 42 – Representação de dimensões adquiridas das lesões encontradas.

4.1.2.5. Filtragem de lesões de largura mínima

A sub função *RemoveNarrowHoles.m* recebe o valor de mínimo de largura pretendida para cada área classificada (*MinWidth*), uma estrutura com a informação dessas áreas e devolve uma estrutura com os conjuntos de pixeis de largura superior ao mínimo de largura pretendido e número de conjuntos de pixeis resultantes.

A aplicação desta função tem como objectivo eliminar pequenos conjuntos de largura baixa que possivelmente serão pequenas zonas de ruído. O valor encontrado mais adequado para o mínimo de largura, não eliminando conjuntos que serão já descolamentos de pequena largura, é de 30 pixeis.

4.1.2.6. Filtragem de edemas e buraco macular

A sub função *InternGetDetachmentsFromHoles.m* recebe o valor de máximo de distância ao EP (*MaxEpithDistAverage*), um coeficiente de altura (*HeightCoefficient*), uma estrutura de informação de conjuntos de pixeis e devolve uma estrutura com os conjuntos de pixeis com distância mínima ao EP pretendida e com largura maior que o produto do coeficiente de altura pela altura. A aplicação desta função tem como objectivo filtrar apenas os descolamentos que normalmente surgem acima do EP, a uma distância mínima e são de largura maior que altura.

Pretende-se eliminar conjuntos que possivelmente serão edemas, ou seja, longe do EP, buracos maculares junto do EP ou possíveis conjuntos de ruído. O valor encontrado mais adequado para o coeficiente de altura e mínimo da distância ao EP, não eliminando conjuntos que serão descolamentos e eliminando edemas junto do EP, é de 1,7 e 12, respectivamente.

Neste caso, particular, o algoritmo não detectou edemas, pois não existiam na imagem original. Noutra situação, verifica-se que são mantidas apenas as lesões próximas do EP, excluindo os edemas:

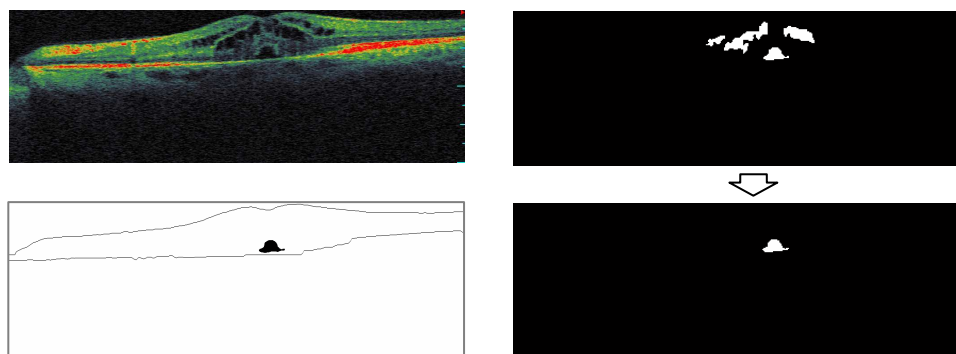


Figura 43 – Representação do funcionamento do método de filtragem de edemas e buraco macular.

4.1.2.7. Determinação da Espessura Retinal nas zonas de Lesão

A sub função *InternGetRetinalThicknessAroundHoles.m* recebe uma estrutura de informação de conjuntos de pixeis e devolve a mesma estrutura com informação adicional sobre espessura da retina na direcção de cada descolamento (*MeanHeightHole*), espessura 100 pixeis antes (*MeanHeightBefore*) e 100 pixeis depois (*MeanHeightAfter*), se estes existirem.

Se não existirem determina do início da imagem até ao início do descolamento e do final do descolamento até ao final da imagem.

Os valores são guardados na estrutura de *output*, nos campos , *MeanHeightBefore* e *MeanHeightAfter*.

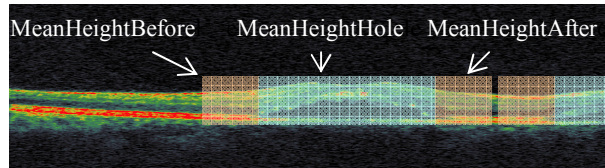


Figura 44 – Representação do funcionamento do método de determinação da espessura nas regiões de lesão.

4.1.2.8. Filtragem de lesões pela espessura retinal

Normalmente um levantamento da retina está associado à presença de descolamento seroso, no entanto não acontece por regra. Como tal, nesta etapa, filtram-se os descolamentos serosos, consoante a espessura da retina, mas apenas numa zona periférica da imagem, de forma a não perdermos informação relevante.

A sub função *InternGetDetachmentsByRetinalThickness.m* recebe uma estrutura de informação de conjuntos de pixeis, um factor indicativo da % de área periférica a analisar (*DivideNumber*), o número de colunas da imagem (*n*), e devolve outra estrutura com a mesma informação, excepto os conjuntos que estão na periferia da imagem e onde não se verifica aumento da espessura da retina.

Consoante o valor do *DivideNumber*, que divide a imagem em partes verticais, neste caso igual a quatro, analisa-se se na primeira parte e na última parte existem candidatos a descolamentos onde haja aumento da espessura da retina. Se existirem descolamentos e não existir aumento da espessura da retina nestas zonas, estes candidatos a descolamentos são ignorados.

4.1.2.9. Determinação de contornos das lesões

A sub função *GetHolesBoundaries.m* recebe uma estrutura de informação sobre os descolamentos serosos encontrados até este passo, determina as coordenadas dos pontos de contorno de cada descolamento e devolve a mesma estrutura com a informação destes pontos.

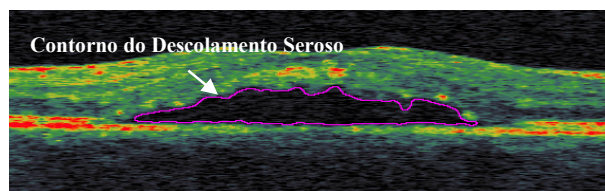


Figura 45 – Representação de um contorno de DS.

4.1.2.10. Conversão de resultados

A sub função *ConvertResults.m* recebe a estrutura de informação de descolamentos serosos, converte os resultados das distâncias e áreas de pixeis para milímetros, devolvendo essa informação. As medidas de largura(7,8 μm) a altura(5,8 μm) de um pixel são também parâmetros de entrada desta sub função.

4.1.2.11. Representação das etapas de Classificação de Descolamento Seroso

Mostram-se os passos da caracterização/etiquetagem e selecção dos conjuntos de pixels (descolamentos), legendadas com o número de conjuntos obtidos em cada etapa.

4.1.2.12. Representação das áreas de Descolamento Seroso

Mostram-se os descolamentos encontrados preenchidos em toda a sua área. Recorre-se ao campo LabelMatrix guardado na estrutura para ‘colorir’ os pontos encontrados de cor rosa na imagem original.

4.1.2.13. Representação dos contornos de Descolamento Seroso

Mostram-se os contornos dos descolamentos encontrados. Recorre-se ao campo *Boundary* guardado na estrutura para ‘colorir’ os pontos dos contornos de cor rosa na imagem original.

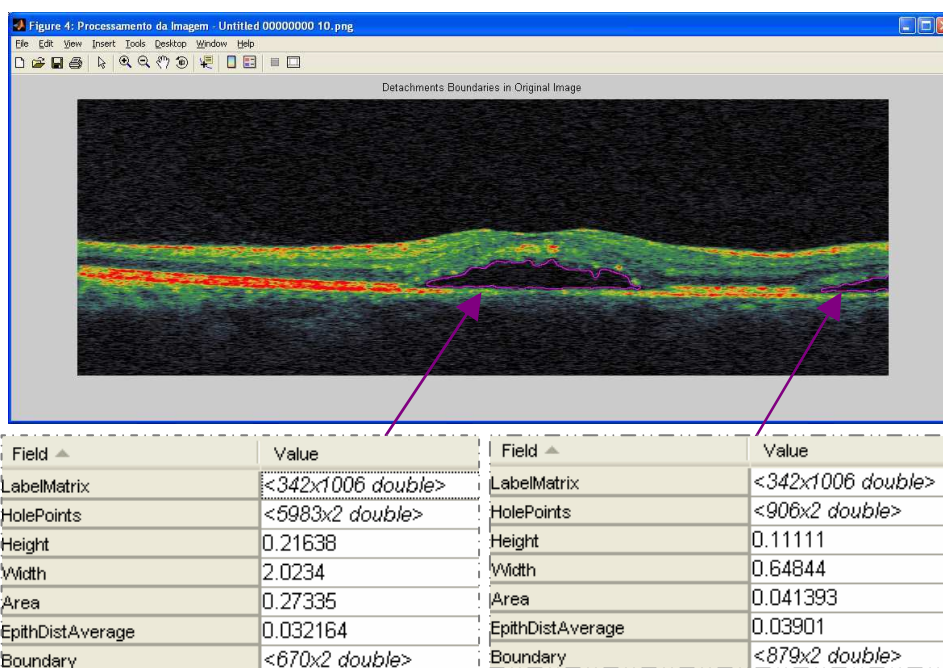


Figura 46 – Representação dos resultados obtidos na estrutura de informação resultante do método de detecção de DS.

4.1.3. Detecção e Caracterização de Edemas

Com a imagem pré-processada, segue-se a etapa de classificação das zonas de lesão candidatas a edemas.

Os edemas, como já mencionado anteriormente são lesões com pouca reflectividade e podem surgir entre as camadas anterior e posterior da retina. À presença de edemas pode também estar associado um levantamento da retina nessa zona, podendo também estar associados à presença de buraco macular, dispondo-se em seu redor.

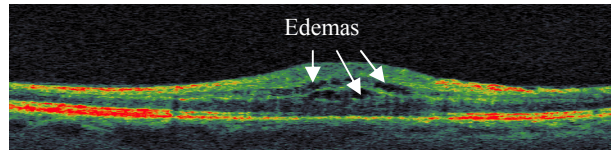


Figura 47 – Imagem B-Scan com presença de edemas.

As etapas gerais de detecção e classificação de edemas são:

- 1) Classificação de zonas de lesão
- 2) Filtragem de lesões de área mínima (ruído)
- 3) Determinação das dimensões das lesões
- 4) Determinação da distância das lesões ao EP
- 5) Filtragem de lesões de largura mínima (ruído)
- 6) Filtragem de lesões na vizinhança (ruído/vasos)
- 7) Filtragem de descolamentos serosos
- 8) Filtragem de buraco macular
- 9) Determinação de contornos das lesões
- 10) Conversão de resultado
- 11) Representação das etapas de classificação de edemas
- 12) Representação das áreas de edemas
- 13) Representação dos contornos edemas

4.1.3.1. Classificação de zonas de lesão

Tal como no algoritmo de detecção de descolamentos, a sub função *LabelImageHoles.m* faz uma classificação das diferentes zonas de lesão anteriormente encontradas, devolvendo o número de lesões encontradas, e informação sobre essas lesões numa estrutura. O funcionamento é o mesmo.

4.1.3.2. Filtragem de lesões de área mínima

A aplicação desta função tem como objectivo eliminar pequenas áreas que possivelmente serão pequenas zonas de ruído.

A sub função utilizada é a mesma do utilizada no algoritmo de detecção de descolamentos serosos, *RemoveSmallestHoles.m*, unicamente com o valor de área mínima diferente, neste caso 10.

4.1.3.3. Determinação das dimensões das lesões

Esta fase permite avaliar e guardar informação sobre a altura máxima, largura máxima e áreas das lesões.

A sub função utilizada é também a mesma do utilizada no algoritmo de detecção de descolamentos serosos, *GetHoleDimensions.m*, funcionando também da mesma forma.

4.1.3.4. Determinação da distância das lesões ao EP

Esta fase permite avaliar a distância de cada lesão identificada ao EP. É utilizada a mesma função que é utilizada no algoritmo anterior, *GetHolesPosition.m*.

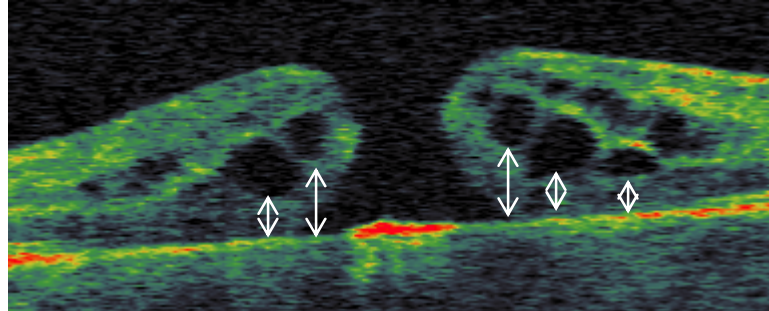


Figura 48 – Representação de uma das dimensões extraídas das lesões: distância ao EP.

4.1.3.5. Filtragem de lesões de largura mínima

Tal como nos algoritmos anteriores, a aplicação desta função tem como objectivo eliminar pequenas áreas de largura mínima que possivelmente serão pequenas zonas de ruído. O valor encontrado mais adequado para o mínimo de largura a eliminar, sem eliminar possíveis lesões, neste caso é 5 pixels.

A sub função utilizada é *RemoveNarrowHoles.m*.

4.1.3.6. Filtragem de lesões na vizinhança

Uma vez que os edemas surgem principalmente na zona macular, esta etapa tem como objectivo remover possíveis zonas de edemas detectadas na zona periférica da mácula, uma vez que estas poderão representar ruído e não edemas.

É utilizada a sub função *InternRemoveNeighborhoodHoles.m* que recebe a estrutura de informação de edemas existente até esta fase, o valor da largura da imagem original e um factor que indica em que percentagem da periferia, aplicar este método. Devolve uma nova estrutura com as zonas de edema filtradas e o número de edemas resultantes desta operação.

Se a estrutura de entrada da função não se encontrar vazia, são percorridos todos os edemas e, para cada um procura as coordenadas dos pixels na imagem. Se o valor máximo ou mínimo dos valores das colunas de um edema se encontrarem na região periférica definida, esses edemas são eliminados. Neste caso, o valor encontrado para a percentagem da vizinhança a excluir foi 25% do total da largura da imagem, ou seja o factor de divisão da imagem é quatro.

Esta operação tem como vantagem eliminar zonas que possam surgir na periferia da mácula que não sejam edemas, no entanto tem como desvantagem poder eliminar algumas zonas de edema periférico à mácula, se este existir. Ainda assim, uma vez que a presença de edemas é menos frequente que na zona macular, esta etapa do processamento foi mantida.

4.1.3.7. Filtragem de descolamentos serosos

Até esta fase, as lesões encontradas poderão ser edemas, descolamento seroso ou até buraco macular. Pretende-se então, nesta etapa, excluir os descolamentos serosos.

A sub função *InternGetEdemasFromHoles.m* recebe a estrutura de informação de edemas, o valor de distância mínima permitida ao epitélio pigmentado (*MinEpithDistAverage*) e devolve uma nova estrutura com as zonas de edema filtradas, e o número de edemas resultantes desta operação.

Se a estrutura fornecida não se encontrar vazia, são percorridos todos os edemas e é verificada se a distância média ao EP é maior ou menor que o valor fornecido. Se essa distância for superior ao mínimo de distância permitida, esses edemas são copiados para a nova estrutura e, por fim, é determinado o número de edemas resultantes.

4.1.3.8. Filtragem de buraco macular

Estando eliminados os descolamentos, é necessário eliminar as zonas de buraco macular. Para tal, utiliza-se a sub função *InternRemoveSuperiorHoles.m* que recebe a estrutura de informação de edemas, o valor do limite anterior da retina, remove as zonas de buraco macular e, devolve uma nova estrutura com as zonas de edema filtradas, e o número de edemas resultantes desta operação.

Se a estrutura fornecida não se encontrar vazia, são percorridos todos os edemas e é verificado se existe algum ponto do limite anterior da retina comum a algum ponto de edema. Se existir, significa que o suposto edema está junto do LAR e será uma zona de buraco macular.

Se forem encontradas zonas de buraco macular, são copiados todos os outros edemas para uma nova estrutura, excluindo estas, e por fim, determinado o número de edemas resultantes.

4.1.3.9. Determinação de contornos das lesões

Estando completos todos os passos de classificação e triagem de edemas, são determinados os contornos de cada edema, para posterior ilustração na imagem original.

A função *GetHolesBoundaries.m*, comum ao algoritmo anterior, recebe uma estrutura de informação sobre os edemas, determina os pontos de contorno de cada descolamento e devolve a mesma estrutura com a informação destes pontos.

4.1.3.10. Conversão de resultados

A sub função *ConvertResults.m* recebe a estrutura de informação de descolamentos serosos, converte os resultados das distâncias e áreas de pixeis para milímetros, devolvendo essa informação. As medidas de largura(7,8 μm) a altura(5,8 μm) de um pixel são também parâmetros de entrada desta sub função.

4.1.3.11. Representação das etapas de classificação de edemas

Mostram-se os passos da detecção e caracterização dos edemas, legendadas com o número de edemas obtidos em cada etapa.

4.1.3.12. Representação das áreas de edemas

Mostram-se os edemas na imagem original. Recorre-se ao campo *LabelMatrix* guardado na estrutura de edemas (*EdemasInfo*) para ‘colorir’ os pontos correspondentes a edemas a azul claro na imagem.

4.1.3.13. Representação dos contornos de edemas

Mostram-se os contornos dos edemas encontrados na imagem original. Recorre-se ao campo *Boundary* guardado na estrutura de edemas (*EdemasInfo*) para ‘colorir’ os pontos dos contornos a azul claro na imagem.

4.2. Detecção da presença de Buraco Macular

No caso da presença de buraco macular, este identifica-se pela existência de uma depressão profunda na zona da fóvea sendo uma zona de baixa reflectividade, uma vez que é preenchido pelo vítreo que é pouco reflectivo. Este pode ter vários níveis de profundidade e formas, ambas evidenciando vários estádios do seu desenvolvimento, correspondentes a vários tipos de buraco macular. Estas formas não são ainda identificadas nesta fase.

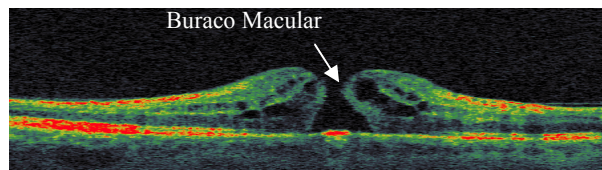


Figura 49 – Imagem B-Scan com presença de buraco macular.

Neste caso pretende-se localizar o buraco macular, pois já existe informação prévia da sua existência do algoritmo que detecta o limite anterior da retina.

Pretende-se também, neste capítulo, dar uma visão geral das principais etapas seguidas para a localização e caracterização de buraco macular. Para a localização e caracterização do buraco macular é utilizada informação previamente extraída por outros algoritmos sobre a localização do EP, do limite anterior da retina e da presença ou não de buraco macular com indicação aproximada da localização das extremidades do BM. Caso seja bem detectada a localização do buraco macular, são determinadas características como a área, altura máxima, largura máxima e a distância média ao EP.

A função *GetHoleInfo.m* tem os mesmos parâmetros de entrada e saída das funções anteriores, com a diferença da denominação da estrutura de informação resultante, *HoleInfo* e *numHoles* para o número de buracos maculares resultantes, tendo mais duas variáveis de entrada que os anteriores:

```
[numHoles, HoleInfo] =
GetHoleInfo(preProcessStepsDisp, processStepsDisp, filledHoleDisp,
boundariesHoleDisp, img, filename, holes, img_filtered, ilm)
```

holes – Parâmetro de entrada com os valores das extremidades dos buracos maculares encontrados no algoritmo de detecção do LAR (*GetIIm.m*). Se não foram detectados BM, este parâmetro vem vazio;

img_filtered – Parâmetro de entrada correspondente à imagem binária de entrada já pré-processada no algoritmo de detecção do LAR (*GetIIm.m*).

4.2.1. Pré-Processamento da Imagem

Uma vez que a detecção da presença de buraco macular não segue etapas um pouco diferentes da detecção de descolamento seroso e edemas, o pré-processamento de imagem neste caso é um pouco diferente.

Este algoritmo, para além de utilizar informação do algoritmo de detecção do LAR sobre a existência ou não de buraco macular, utiliza também a imagem pré-processada utilizada por esse algoritmo. A vantagem de utilizar esta imagem já previamente processada, para além do ganho em tempo de processamento, é permitir encontrar contornos para o buraco macular muito semelhantes aos encontrados para o LAR quando passa na zona do buraco.

O pré-processamento passa então por excluir as zonas acima e abaixo dos limites anterior e posteriores da retina, respectivamente, não excluindo a área de buraco macular.

As etapas gerais de pré-processamento são:

- 1) Filtragem de zonas de lesões retiniais: exclusão das zonas da imagem externas às camadas da retina, deixando apenas visíveis as zonas das lesões existentes entre as camadas, incluindo buraco macular
- 2) Filtragem de barra vertical da imagem
- 3) Filtragem de ruído I: filtro de mediana
- 4) Representação das etapas de pré-processamento

4.2.1.1. Filtragem de zonas de lesões retiniais

Nesta fase, excluem-se as zonas da imagem externas às camadas da retina, deixando apenas visíveis as zonas das lesões existentes entre as camadas, incluindo a zona de buraco macular. De forma a manter a zona do buraco macular, a sub função aqui utilizada é ligeiramente diferente.

A sub função *InternClearImage.m* recebe a imagem binária resultante do algoritmo de detecção do LAR (*img_filtered*), o limite do EP (*epithelium*), o limite interno da retina (*ilm*) e o vector que identifica a existência de buraco macular com os valores das colunas das extremidades do mesmo (*holes*). Devolve uma imagem binária apenas das zonas pretendidas e uma variável que identifica o número de buracos maculares resultantes da operação.

- Eliminar a zona abaixo do epitélio pigmentado (EP)

Para eliminar a zona abaixo do limite EP, percorrem-se todas as colunas da imagem, e para cada uma, tornam-se brancos os pixels desde o valor do EP até ao limite inferior' da imagem.

- Eliminar a zona acima do limite anterior da retina (LAR)

Se a variável *holes* estiver vazia, ou se tiver indicação da existência de mais do que um buraco macular, é devolvido o número de buracos maculares nulo. Como em casos normais, caso exista buraco macular, só deve existir um, sendo raríssimo existir mais do que um, quando existe informação prévia da existência de vários, provavelmente essa imagem é uma imagem de pouca qualidade onde foram detectadas várias depressões nas camadas retiniais.

Se *holes* não estiver vazia, e indicar a presença de um buraco macular, procura-se para cada um dos valores das extremidades do BM o valor da linha correspondente. Como um destes dois valores está melhor identificado que o outro, considera-se, como acontece na maioria dos casos, excepto rara excepção, que esse valor é o valor máximo dos dois valores das linhas encontradas.

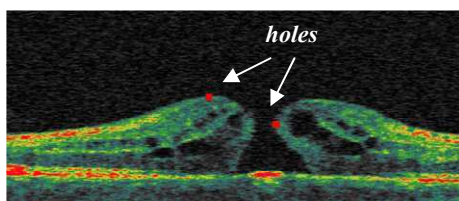


Figura 50 – Representação das extremidades do BM.

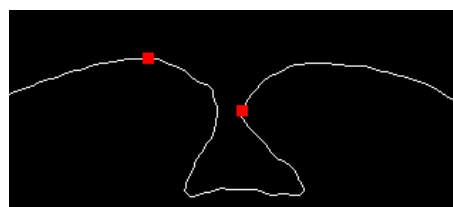


Figura 51 – Representação das extremidades do BM no LAR.

De seguida verifica-se se esse valor é o início ou término da depressão/BM, e consoante isso procura-se na mesma direcção horizontal para a frente ou para trás na imagem de representação do LAR, o primeiro pixel branco, indicando a outra extremidade do BM.

Depois de obtidas as extremidades do BM, *LeftLimit* e *RightLimit*, obtém-se então o valor da linha do limite superior do BM (*LimSupHole*).

Para eliminar a zona acima do limite superior da retina, percorrem-se todas as colunas da imagem, e para cada uma, tornam-se brancos os pixels desde a parte de cima da imagem até ao primeiro valor branco encontrado na imagem do limite superior. Na zona do BM, tornam-se brancos os pixels desde a parte de cima da imagem até á linha correspondente ao limite superior do BM (*LimSupHole*), mantendo assim a zona do BM para posteriormente classificar.



Figura 52 – Imagem binária filtrada com BM.



Figura 53 – Representação da exclusão de zonas externas às camadas da retina, evidenciando o BM.

4.2.1.2. Filtragem de barra vertical da imagem

Tal como nos algoritmos anteriores, é utilizada a sub função *ClearLeftStripe.m* que permite eliminar a barra vertical que pode surgir do lado esquerdo da imagem.

4.2.1.3. Filtragem de ruído I

Tal como nos algoritmos anteriores, depois da fase de exclusão as zonas da imagem externas às camadas da retina, surge algum ruído que é necessário eliminar. Aplica-se novamente o filtro de mediana com uma janela quadrada de 5 pixels.

4.2.1.4. Representação das Etapas de Pré-Processamento

Antes da classificação da área de buraco macular, mostram-se as imagens dos passos seguidos no pré-processamento, se a variável *preProcessStepsDisp* for igual a 1.

4.2.2. Localização e Caracterização de Buraco Macular

Com a imagem pré-processada, segue-se a etapa de classificação das zonas de lesão candidatas a buraco macular.

As etapas gerais de localização e caracterização de Buraco Macular são:

- 1) Classificação de zonas de lesão
- 2) Filtragem de lesões de área mínima (ruído)
- 3) Filtragem de Buracos Maculares I
- 4) Determinação das dimensões das lesões
- 5) Filtragem de Buracos Maculares II
- 6) Determinação distância das lesões ao EP
- 7) Determinação de contornos das lesões
- 8) Conversão de resultados
- 9) Ilustração das etapas de localização e classificação

- 10) Representação da área de buraco macular
- 11) Ilustração do contorno do buraco macular

4.2.2.1. Classificação de zonas de lesão

Tal como no algoritmo de detecção de descolamentos, a sub função *LabelImageHoles.m* classifica as diferentes zonas de lesão anteriormente encontradas, devolvendo o número de lesões encontradas, e informação sobre essas lesões numa estrutura.

4.2.2.2. Filtragem de lesões de área mínima

A função utilizada é a mesma do utilizada no algoritmo de detecção de descolamentos serosos, *RemoveSmallestHoles.m* com um valor de 30 para a área mínima.

4.2.2.3. Filtragem de Buracos Maculares I

Tendo as zonas com possibilidade de serem buracos maculares, é necessário obter a zona de buraco macular. Para tal, utiliza-se a sub função *InternGetSuperiorHoles.m* que recebe a estrutura de informação de buracos maculares existente, o valor do limite anterior da retina, obtém as zonas de buraco macular e, devolve uma nova estrutura, e o número de buracos maculares resultantes desta operação.

Se a estrutura fornecida não se encontrar vazia, são percorridos todos os edemas e é verificado se existe algum ponto do limite anterior da retina comum a algum ponto de edema. Se existir, significa que será uma zona de buraco macular.

Se forem encontradas zonas de buraco macular, estas são copiados para uma nova estrutura, excluindo todas as outras, e por fim, determinado o número de buracos maculares resultantes.



Figura 54 – Zonas de lesão classificadas.



Figura 55 – Representação do resultado da filtragem de buraco macular.

4.2.2.4. Determinação das dimensões das lesões

Esta fase permite avaliar as dimensões das lesões. A sub função utilizada é também a mesma utilizada no algoritmo de detecção de descolamentos serosos e edemas, *GetHoleDimensions.m*.

4.2.2.5. Filtragem de Buracos Maculares II

Até esta fase, podemos ter uma ou mais zonas com possibilidade de serem buraco macular. Caso exista mais do que uma zona, uma delas poderá corresponder a um edemas mal classificado por se encontrar muito junto do LAR. Neste caso, esta etapa é aplicada e tem como objectivo eliminar esses edemas.

A sub função *InternGetOnlyMacularHole.m* recebe uma estrutura de informação com uma ou mais estruturas de informação relativa às lesões encontradas até à altura ‘candidatos’ a BM, e devolve apenas o correspondente ao BM.

Para tal, percorrem-se todas as regiões e determina-se a que tem área máxima, considerando que a de área máxima, corresponderá com mais probabilidade ao BM, como acontecerá na maioria dos casos. Todas as outras são eliminadas.

4.2.2.6. Determinação distância das lesões ao EP

Esta fase permite avaliar a distância do buraco macular ao EP. É utilizada a mesma sub função que nos algoritmos anteriores, *GetHolesPosition.m*.

4.2.2.7. Determinação de contornos das lesões

Estando completos todos os passos de localização do buraco macular, são determinados os contornos deste, para posterior ilustração na imagem original.

A sub função *GetHolesBoundaries.m*, comum aos algoritmos anteriores, recebe uma estrutura de informação sobre o BM, determina os pontos do contorno e devolve na mesma estrutura informação destes pontos (*Boundaries*).

4.2.2.8. Conversão de resultados

A sub função *ConvertResults.m* recebe a estrutura de informação de descolamentos serosos, converte os resultados das distâncias e áreas de pixeis para milímetros, devolvendo essa informação. As medidas de largura(7,8 μm) a altura(5,8 μm) de um pixel são também parâmetros de entrada desta sub função.

4.2.2.9. Representação das etapas de localização e classificação

Mostra-se os passos da localização e classificação do buraco macular, legendadas com o número de lesões obtidas em cada etapa.

4.2.2.10. Representação da área de buraco macular

Mostram-se os edemas na imagem original. Recorre-se ao campo *LabelMatrix* guardado na estrutura de edemas (*EdemasInfo*) para ‘colorir’ os pontos correspondentes a edemas a azul claro na imagem.

4.2.2.11. Representação dos contornos do buraco macular

Mostram-se os contornos dos edemas encontrados na imagem original. Recorre-se ao campo *Boundary* guardado na estrutura de edemas (*EdemasInfo*) para ‘colorir’ os pontos dos contornos a azul claro na imagem.

5. Eficiência dos Algoritmos

5.1. Tempo de Duração de Processamento

Cada um dos algoritmos desenvolvidos pode ter tempos de duração variados, consoante, o número de parâmetros de entrada que recebe. Se não receber todos os parâmetros de entrada, estes terão que se obter com recurso a outros algoritmos, aumentando o seu tempo de processamento.

No entanto, na aplicação de software desenvolvida, estes algoritmos não funcionam isolados, e como tal, os parâmetros de entrada relativos à imagem, e limites anterior e posterior da retina serão parâmetros de entrada fornecidos. Deste modo, diminui o tempo de processamento.

5.1.1. Algoritmo de Detecção de Descolamento Seroso

São determinados os tempos aproximados as várias hipóteses de utilização do algoritmo, assim como para as suas sub funções:

Hipóteses de utilização da Função <i>SerousDetachmentsDetect</i>	Tempo de Processamento Aproximado (s)
Função sem nenhum parâmetro de entrada e com todas as variáveis de visualização das etapas de processamento activadas: $[numDetachments, DetachmentsInfo] = SerousDetachmentsDetect(1,1,1,1)$	2.30
Função sem nenhum parâmetro de entrada e com todas as variáveis de visualização desactivadas: $[numDetachments, DetachmentsInfo] = SerousDetachmentsDetect(0,0,0,0)$	2.03
Função com todos os parâmetros de entrada e com todas as variáveis de visualização desactivadas: $[numDetachments, DetachmentsInfo] = SerousDetachmentsDetect(0, 0, 0, 0, img, filename, epithelium, ilm)$	0.98

Figura 78 – Representação dos tempos de processamento da função de detecção de descolamento seroso.

Etapas/Sub Funções da Função <i>SerousDetachmentsDetect</i>	Tempo de Processamento Aproximado (s)
Leitura da imagem a processar	0.130
Obtenção da variável LAR (<i>GetILM</i>)	0.530
Obtenção da variável EP (<i>GetEpithelium</i>)	0.390
Obtenção a área de interesse da imagem (<i>CropImage</i>)	0.017
Obtenção da imagem em escala de cinzentos	0.040
Conversão em imagem binária (<i>hardlim</i>)	0.008
Filtragem de ruído I (<i>medfilt2</i>)	0.048
Filtragem de zonas de lesão (<i>ClearImage</i>)	0.022
Filtragem de barra vertical (<i>ClearLeftStripe</i>)	0.007
Filtragem de ruído II (<i>medfilt2</i>)	0.028
Filtragem de <i>preProcessStepsDisp</i>	0.000007
Classificação de zonas de Lesão (<i>LabelImageHoles</i>)	0.610
Filtragem de Lesões de área mínima (<i>RemoveSmallestHoles</i>)	0.020
Determinação das dimensões das lesões (<i>GetHolesDimensions</i>)	0.016
Determinação da distância das lesões ao EP (<i>GetHolesPosition</i>)	0.035
Filtragem de lesões de largura mínima (<i>RemoveNarrowHoles</i>)	0.001
Filtragem de edemas e buraco macular (<i>InternGetDetachmentsFromHoles</i>)	0.006
Determinação da espessura retinal nas zonas de lesão (<i>InternGetRetinalThicknessAroundHoles</i>)	0.029
Filtragem de lesões pela espessura retinal (<i>InternGetDetachmentsByRetinalThickness</i>)	0.019
Determinação dos pontos de contorno das lesões (<i>GetHolesBoundaries</i>)	0.040
Conversão de dimensões de medida (<i>ConvertResults</i>)	0.0004
Filtragem de <i>processStepsDisp</i>	0.0009
Filtragem de <i>filledDetachDisp</i>	0.0006
Filtragem de <i>boundariesDetachDisp</i>	0.0002

Figura 79 – Representação dos tempos de processamento das sub funções de detecção de descolamento seroso.

Como pudemos verificar, o tempo de processamento deste algoritmo pode variar entre 0.98 e 2.3 segundos. Se necessitar de chamar as funções externas de leitura da imagem e detecção dos limites da retina, torna-o mais lento, no entanto isto só acontece em caso de funcionamento do algoritmo isoladamente.

Dentro do próprio algoritmo, a sub função que consome mais tempo de processamento, como seria de esperar, é a função de classificação das zonas de lesão, uma vez que esta percorre a imagem pixel a pixel, várias vezes, de forma a encontrar os conjuntos de pixeis interligados entre si, ou seja, as várias lesões.

5.1.2. Algoritmo de Detecção de Edemas

Hipóteses de utilização da Função <i>EdemasDetect</i>	Tempo de Processamento Aproximado (s)
Função sem nenhum parâmetro de entrada e com todas as variáveis de visualização das etapas de processamento activadas: $[numEdemas, EdemasInfo] = EdemasDetect(1,1,1,1)$	2.40
Função sem nenhum parâmetro de entrada e com todas as variáveis de visualização desactivadas: $[numEdemas, EdemasInfo] = EdemasDetect(0,0,0,0)$	2.20
Função com todos os parâmetros de entrada e com todas as variáveis de visualização desactivadas: $[numEdemas, EdemasInfo] = EdemasDetect(0, 0, 0, 0, img, filename, epithelium, ilm)$	0.99

Figura 79 – Representação dos tempos de processamento da função de detecção de edemas.

Etapas/Sub Funções da Função <i>EdemasDetect</i>	Tempo de Processamento Aproximado (s)
Leitura da imagem a processar	0.170
Obtenção da variável LAR (<i>GetILM</i>)	0.580
Obtenção da variável EP (<i>GetEpithelium</i>)	0.370
Obtenção a área de interesse da imagem (<i>CropImage</i>)	0.018
Obtenção da imagem em escala de cinzentos	0.042
Conversão em imagem binária (<i>hardlim</i>)	0.010
Filtragem de ruído I (<i>medfilt2</i>)	0.048
Filtragem de zonas de lesão (<i>ClearImage</i>)	0.022
Filtragem de barra vertical (<i>ClearLeftStripe</i>)	0.007
Filtragem de ruído II (<i>medfilt2</i>)	0.028
Filtragem de <i>preProcessStepsDisp</i>	0.000004
Classificação de zonas de Lesão (<i>LabelImageHoles</i>)	0.745
Filtragem de Lesões de área mínima (<i>RemoveSmallestHoles</i>)	0.036
Determinação das dimensões das lesões (<i>GetHolesDimensions</i>)	0.032
Determinação da distância das lesões ao EP (<i>GetHolesPosition</i>)	0.042
Filtragem de lesões de largura mínima (<i>RemoveNarrowHoles</i>)	0.001
Filtragem de edemas da periferia (<i>InternRemoveNeighborhoodHoles</i>)	0.033
Filtragem de buraco macular (<i>InternRemoveSuperiorHoles</i>)	0.116
Determinação dos pontos de contorno das lesões (<i>GetHolesBoundaries</i>)	0.037
Conversão de dimensões de medida (<i>ConvertResults</i>)	0.0005
Filtragem de <i>processStepsDisp</i>	0.0010
Filtragem de <i>filledEdemasDisp</i>	0.0006
Filtragem de <i>boundariesEdemasDisp</i>	0.0002

Figura 80 – Representação dos tempos de processamento das sub funções de detecção de edemas.

Como pudemos verificar, os resultados deste algoritmo são idênticos aos do anterior, com a diferença que neste os tempos de processamento a partir da função *LabelImageHoles*, sobem um pouco, devido ao facto de que edemas detectados poderão ser vários, enquanto que descolamentos, são no máximo dois ou três, aumentando assim um pouco o tempo de processamento, notando-se essencialmente nesta sub função. Outra sub função com um tempo de processamento ligeiramente superior é a função *InternRemoveSuperiorHoles*, uma vez que são percorridos todos os pontos de cada região de pixeis existente e comparados com a posição de todos os pontos do LAR, verificando se existe alguma posição em comum, daí um tempo de processamento mais evidente.

5.1.3. Algoritmo de Localização de Buraco Macular

Para o algoritmo de localização de buraco macular, são também determinados os tempos aproximados as várias hipóteses de utilização do algoritmo, assim como para as suas sub funções:

Hipóteses de utilização da Função <i>GetHoleInfo</i>	Tempo de Processamento Aproximado (s)
Função sem nenhum parâmetro de entrada e com todas as variáveis de visualização das etapas de processamento activadas: <i>[numHoles, HoleInfo] = GetHoleInfo (1,1,1,1)</i>	2.90
Função sem nenhum parâmetro de entrada e com todas as variáveis de visualização desactivadas: <i>[numHoles, HoleInfo] = GetHoleInfo (0,0,0,0)</i>	2.20
Função com todos os parâmetros de entrada e com todas as variáveis de visualização desactivadas: <i>[numHoles, HoleInfo] = GetHoleInfo (0, 0, 0, 0, img, filename, epithelium, ilm, holes, img_filtered)</i>	1.72

Figura 81 – Representação dos tempos de processamento da função de detecção de buraco macular.

Etapas/Sub Funções da Função <i>GetHoleInfo</i>	Tempo de Processamento Aproximado (s)
Leitura da imagem a processar	0.230
Obtenção da variável LAR (<i>GetILM</i>)	0.640
Obtenção da variável EP (<i>GetEpithelium</i>)	0.407
Obtenção a área de interesse da imagem (<i>CropImage</i>)	0.019
Filtragem de zonas de lesão (<i>InternClearImage</i>)	0.036
Filtragem de barra vertical (<i>ClearLeftStripe</i>)	0.008
Filtragem de ruído II (<i>medfilt2</i>)	0.029
Filtragem de <i>preProcessStepsDisp</i>	0.000004
Classificação de zonas de Lesão (<i>LabelImageHoles</i>)	0.672
Filtragem de Lesões de área mínima (<i>RemoveSmallestHoles</i>)	0.041
Filtragem de buraco macular I (<i>InternGetSuperiorHoles</i>)	0.176
Determinação das dimensões das lesões (<i>GetHolesDimensions</i>)	0.005
Filtragem de buraco macular II (<i>InternGetOnlyMacularHole</i>)	0.0008
Determinação da distância das lesões ao EP (<i>GetHolesPosition</i>)	0.015
Determinação dos pontos de contorno das lesões (<i>GetHolesBoundaries</i>)	0.023
Conversão de dimensões de medida (<i>ConvertResults</i>)	0.0003
Filtragem de <i>processStepsDisp</i>	0.0002
Filtragem de <i>filledHoleDisp</i>	0.0006
Filtragem de <i>boundariesHoleDisp</i>	0.0002

Figura 82 – Representação dos tempos de processamento das sub funções de detecção de buraco macular.

Como pudemos verificar, os resultados deste algoritmo são idênticos aos dos anteriores, com a diferença que neste os tempos de processamento a partir da função *InternGetSuperiorHoles*, diminuem um pouco, devido ao facto de a partir daqui existirem apenas uma ou duas zonas que possam ser buraco macular.

No entanto, esta função tem um tempo de processamento ligeiramente superior a todas as outras, uma vez que são percorridos todos os pontos de cada região de pixeis existente e comparados com a posição de todos os pontos do LAR, verificando se existe alguma posição em comum, daí o maior tempo de processamento.

5.2. Capacidade de Generalização dos Algoritmos

Os algoritmos foram testados em várias imagens, a fim de verificar qual a sua capacidade de generalização numa grande quantidade de exames distintos.

A amostra de imagens utilizada foi recolhida no CCC, incluindo vários tipos de imagens, algumas de exames normais, outras com descolamento seroso, edemas, buraco macular e outras patologias. Do total de 637 imagens recolhidas do exame de OCT-SLO, correspondentes a 39 exames distintos, foi realizada uma pré-selecção de imagens, devido ao facto de muitas delas apresentarem muito ruído relacionado com a aquisição da imagem, ou com movimentos do olho durante o exame, originando imagens distorcidas. Nesta operação foram eliminadas 80 imagens. Foi realizada uma selecção de imagens, excluindo um número mínimo de imagens com menor qualidade, tendo a certeza de que essa imagem não seria escolhida pelo técnico para avaliar o resultado do exame. Em média, existem 16 imagens por exame.

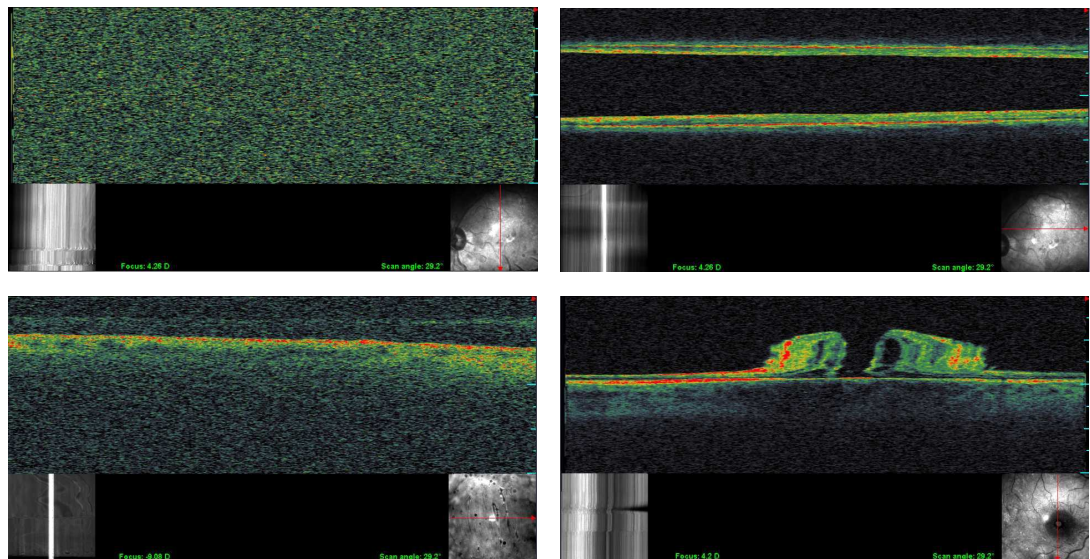


Figura 56 – Alguns exemplos de imagens excluídas da validação de algoritmos.

5.2.1. Algoritmo de Detecção de Descolamento Seroso

Validação / Exames	Nº Total de Imagens	Nº Imagens Identificadas Correctamente Teste 1
Exame BM00	12	12
Exame BM01	14	5
Exame BM02	19	19
Exame BM03	12	10
Exame BM04	10	10
Exame BM05	8	4
Exame BM06	17	14
Exame BM07	10	5
Exame BM07D	14	8
Exame BM07P	11	8
Exame BM08	34	34
Exame BM08A	17	15
Exame BM09	11	10
Exame BM10	22	17
Exame BM11	8	2
Exame BM12	34	34
Exame BM13	27	27
Exame BM14	15	8
Exame DC00	20	19
Exame DC01	3	2
Exame DC02	6	6
Exame DC03	23	23
Exame DC04	20	20
Exame DC05	9	9
Exame DC06	15	10
Exame DC07	7	7
Exame DC08	14	2
Exame DC09	7	7
Exame DC10	12	12
Exame DC11	10	10
Exame DC12	21	21
Exame DC13	7	1
Exame DC14	13	3
Exame DC15	15	10
Exame DC16	22	21
Exame DC17	10	8
Exame DC18	4	4
Exame DC19	16	11
Exame DC20	8	8
TOTAL	557	81,87 %

Figura 84 – Representação dos resultados de validação do algoritmo de detecção de descolamento seroso .

Neste algoritmo a capacidade de generalização conseguida foi de aproximadamente 82%. Para tal, foram consideradas correctamente identificadas as imagens de um exame com buraco macular que passavam perto deste e apanhavam o cone, como se pode ver um exemplo na imagem ao lado.

Analisando o exame, sabe-se que é o cone do BM, mas na imagem isolada, como é analisada neste caso, detecta como um DS. É um dos aspectos a considerar futuramente.

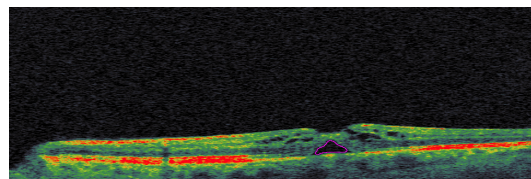


Figura 57 – Cone de BM detectado como DS.

Outras das situações difíceis de contornar é distinguir um descolamento da presença de uma zona escura, nas margens da imagem. Essas zonas poderão ser detectadas como descolamentos, principalmente se existir um aumento da espessura da retina nesse local.

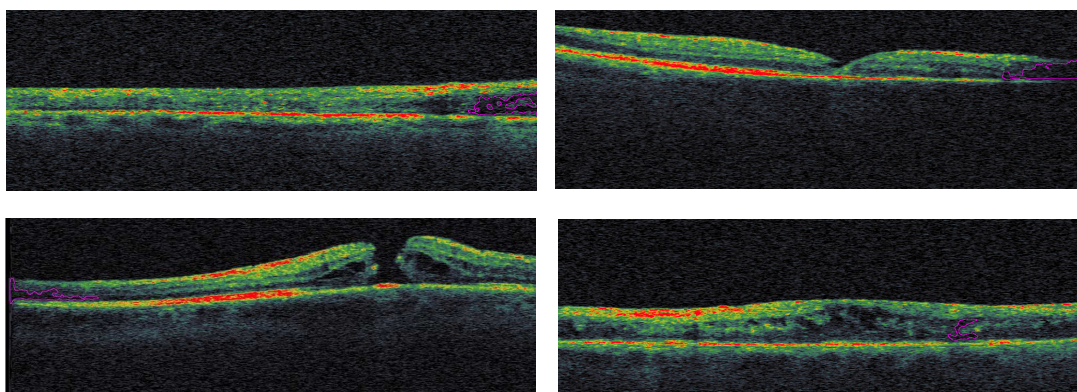


Figura 58 – Imagens com descolamento seroso mal detectado.

5.2.2. Algoritmo de Detecção de Edemas

Validação / Exames	Nº Total Imagens	Nº Imagens Identificadas Correctamente Teste 1	Nº Imagens Identificadas Correctamente Teste 2	Nº Imagens Identificadas Correctamente Teste 3
Exame BM00	12	11	11	12
Exame BM01	14	9	9	10
Exame BM02	19	19	19	19
Exame BM03	12	10	10	9
Exame BM04	10	9	9	9
Exame BM05	8	6	6	6
Exame BM06	17	13	13	11
Exame BM07	10	9	9	10
Exame BM07D	14	10	11	14
Exame BM07P	11	10	10	11
Exame BM08	34	34	36	34
Exame BM08A	17	15	15	17
Exame BM09	11	10	10	11
Exame BM10	22	19	22	22
Exame BM11	8	1	2	4
Exame BM12	34	34	34	34
Exame BM13	27	17	21	21
Exame BM14	15	13	14	20
Exame DC00	20	17	18	20
Exame DC01	3	2	2	2
Exame DC02	6	5	5	5
Exame DC03	23	22	22	22
Exame DC04	20	19	19	20
Exame DC05	9	8	9	9
Exame DC06	15	13	14	15
Exame DC07	7	7	7	7
Exame DC08	14	1	1	1
Exame DC09	7	7	7	7
Exame DC10	12	8	9	10
Exame DC11	10	10	10	10
Exame DC12	21	19	20	21
Exame DC13	7	7	7	7
Exame DC14	13	12	12	12
Exame DC15	15	14	14	14
Exame DC16	22	17	18	20
Exame DC17	10	10	10	10
Exame DC18	4	4	4	4
Exame DC19	16	12	13	14
Exame DC20	8	8	8	8
TOTAL	557	84,56 %	87,97 %	91,92 %

Figura 87 – Representação dos resultados de validação do algoritmo de detecção de edema.

Neste algoritmo a capacidade de generalização conseguida foi de aproximadamente 92%. Para tal, foram-se testando várias hipóteses, de forma a verificar qual a que conferia melhor *performance*. Do primeiro para o segundo teste, os valores das variáveis *minArea* e *minWidth* foram alterados de 10 para 25 e de 5 para 7. Conseguiram-se resultados um pouco melhores, uma vez que um dos grandes problemas neste algoritmo é a detecção de vasos sanguíneos, no entanto não foi suficiente. Este é um dos aspectos a melhorar futuramente.

Num terceiro teste, optou-se por aplicar um filtro de suavização na imagem em escala de cinzentos, de forma a suavizar zonas escuras irregulares, obtendo-se melhores resultados. Foi usado um filtro de suavização com um disco de 5 pixels.

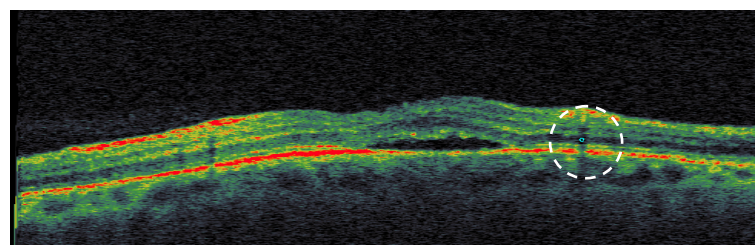
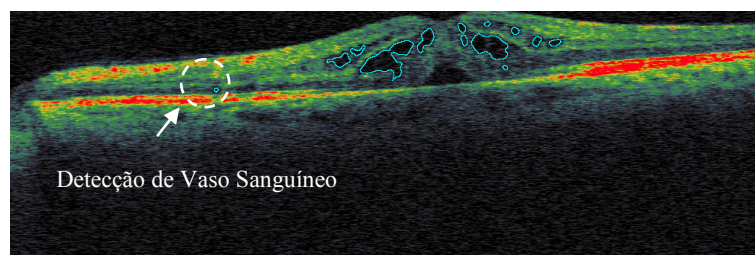


Figura 59 – Detecção de vaso sanguíneo na detecção de edema.

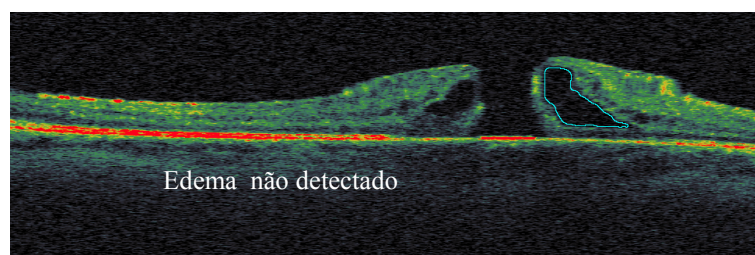


Figura 60 – Edema não detectado no algoritmo de detecção de edemas.

5.2.3. Algoritmo de Localização de Buraco Macular

Validação / Exames	Nº Imagens Correctamente Identificadas	Nº Imagens não Identificadas Correctamente	Imagens não Identificadas Correctamente	Imagens Corrigidas	Nº Imagens Correctamente e Identificadas depois de correcções
Exame BM00	12	0			12
Exame BM01	14	0			14
Exame BM02	18	0			18
Exame BM03	12	0			12
Exame BM04	10	0			10
Exame BM05	8	0			8
Exame BM06	17	0			17
Exame BM07	9	1	7_7	7_7 ✓	10
Exame BM07D	13	1	7D_12	7D_12 ✓	14
Exame BM07P	11	0			11
Exame BM08	34	0			34
Exame BM08A	17	0			17
Exame BM09	8	1	9_16	9_16 ✓	9
Exame BM10	22	2			22
Exame BM11	8	0			8
Exame BM12	34	0			34
Exame BM13	27	0			27
Exame BM14	15	0			15
Exame DC00	20	0			20
Exame DC01	3	0			3
Exame DC02	6	0			6
Exame DC03	23	0			23
Exame DC04	20	0			20
Exame DC05	9	0			9
Exame DC06	15	0			15
Exame DC07	7	0			7
Exame DC08	14	0			14
Exame DC09	7	0			7
Exame DC10	12	0			12
Exame DC11	10	0			10
Exame DC12	21	0			21
Exame DC13	7	0			7
Exame DC14	13	0			13
Exame DC15	15	0			15
Exame DC16	22	0			22
Exame DC17	10	0			10
Exame DC18	4	0			4
Exame DC19	15	1	19_27	19_27 ✓	16
Exame DC20	8	0			8
TOTAL	98,74 %	1,61 %	-	-	99 %

Figura 90 – Representação dos resultados de validação do algoritmo de detecção de buraco macular.

Na validação deste algoritmo pudemos verificar melhores resultados, com aproximadamente 99% de capacidade de generalização numa primeira fase de testes, e 100% com alguns melhoramentos.

Nesta fase, no algoritmo de detecção de BM ainda não foi prevista a distinção entre BM e BM com descolamento da retina. Como tal, foi considerado uma imagem correctamente identificada, quando a detecção de BM também detecta DR.

Por exemplo, na imagem abaixo, verifica-se um descolamento, que neste caso é bastante evidente, no entanto, não é tão evidente noutras situações. Futuramente, será um aspecto a otimizar neste algoritmo.

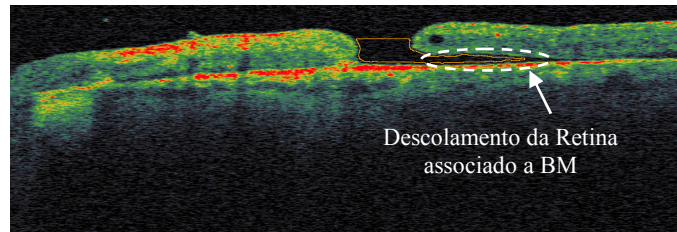


Figura 61 – Descolamento da retina detectado juntamente com buraco macular.

Uma das imagens que inicialmente não foi correctamente identificada, é a imagem abaixo (7_7). Uma vez que a procura das extremidades dos BM não previa formatos irregulares, como uma pequena zona horizontal na identificação de uma extremidade do BM (pontos e linhas a vermelho), e era feita uma pesquisa na horizontal, neste caso, para a frente de novos pontos brancos, era encontrado logo o ponto seguinte.

Este erro foi corrigido de forma a só começar a procura da outra extremidade, depois do ponto de pesquisa ultrapassar o LAR.

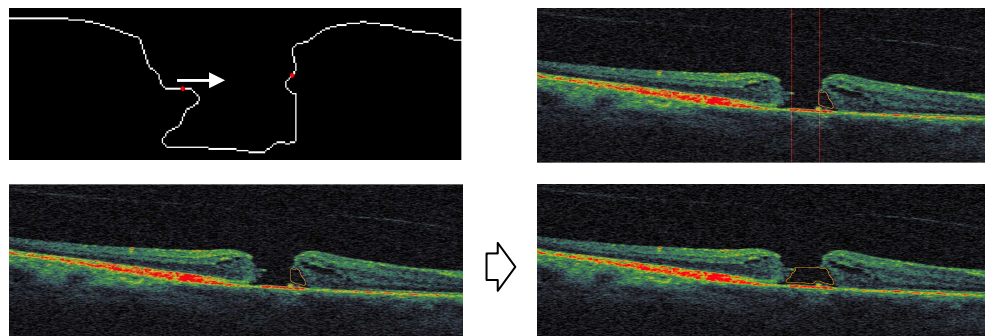


Figura 62 – Representação da correcção da detecção de um buraco macular.

Outra das imagens que inicialmente não foi correctamente identificada, é a imagem abaixo (7D_12). Uma vez que a procura das extremidades da direita para a esquerda procurava apenas nos 100 pixels anteriores, este BM não era detectado.

Neste caso, de forma a corrigir este erro bastou aumentar a margem de procura de extremidades dos BM.

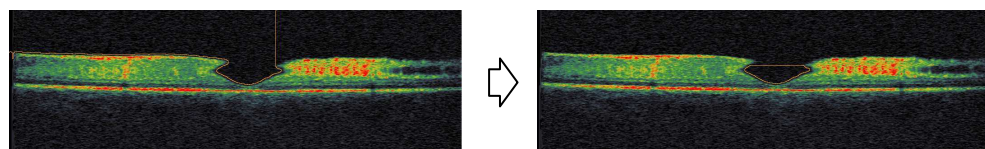


Figura 63 – Representação da correcção da detecção de um buraco macular.

Outra das imagens que inicialmente não foi correctamente identificada, é a imagem abaixo (7D_12). Uma vez que a procura das extremidades da direita para a esquerda procurava apenas nos 100 pixels anteriores, este BM não era detectado.

Neste caso, de forma a corrigir este erro bastou aumentar a margem de procura de extremidades dos BM.

6. Conclusão

O objectivo deste trabalho foi a detecção de algumas características da retina com a finalidade de as analisar em redes neuronais, para posterior obtenção de um pré diagnóstico.

Foram analisadas e detectadas três características, descolamento seroso, edema e buraco macular, cada uma com capacidades de generalização distintas, consoante a sua especificidade.

A maior dificuldade foi a detecção de descolamento e edema devido, em parte, à subjectividade inerente a este processo, que é muitas vezes dificultado pela qualidade das imagens inerente às condições de aquisição da mesma.

Como objectivos futuros, prevê-se, para além da optimização destes algoritmos, a integração de resultados da aplicação de algoritmos em várias imagens do mesmo exame, chegando a resultados mais concisos, prevendo, por exemplo, no caso do BM, a existência de cones.

7. Referências

- [1] Santos, Armanda; Ferreira, Edgar; Barbeiro, Paulo. “WIADM_EspecificaçãoCaracterísticasImagensOCTRetinaCCC_v01”, Outubro de 2006
- [2] Santos, Armanda; Ferreira, Edgar; Barbeiro, Paulo. “WIADM_ApresentacaoFinal”, Junho 2007
- [3] Pierro, Luisa; “Atlanti de OCT/SLO: Una diversa chiave di lettura delle patologie retiniche”, Fabiano editore, Giugno 2006
- [4] Gupta, Vishali; Gupta, Amod; Dogra, Mangat R. “Optical Coherence Tomography of macular diseases”, Taylor & Francis, 2004
- [5] Connected component labelling - <http://blogs.mathworks.com/steve/2007/04/15/connected-component-labeling-part-4/>
- [6] OCT-SLO - <http://www.oti-canada.com/documents/oct.pdf>

