

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RICARDO BERTOGLIO CARDOSO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA VIRTUAL EM TELECIURURGIA
COMO FERRAMENTA COMPLEMENTAR DE ENSINO**

Porto Alegre
2014

RICARDO BERTOGLIO CARDOSO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA VIRTUAL EM TELECIURURGIA
COMO FERRAMENTA COMPLEMENTAR DE ENSINO**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Área de concentração: Sinais, Sistemas e Tecnologia da Informação.

Linha de pesquisa: Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof^ª Dra. Thaís Russomano

Porto Alegre
2014



DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA VIRTUAL EM TELECIRURGIA COMO FERRAMENTA COMPLEMENTAR DE ENSINO

CANDIDATO: RICARDO BERTOGLIO CARDOSO

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

DRA. THAIS RUSSOMANO - ORIENTADORA

BANCA EXAMINADORA

**DRA. HELENA WILLHELM DE OLIVEIRA - DEPARTAMENTO DE CIRURGIA -
FACULDADE DE ODONTOLOGIA - PUCRS**

**DR. MARCELO GARCIA TONETO - DEPARTAMENTO DE CIRURGIA - FACULDADE DE
MEDICINA - PUCRS**

DR. DARIO F. GUIMARÃES DE AZEVEDO - DO PPGE/FENG - PUCRS

DR. CARLOS ALEXANDRE DOS SANTOS - DO PGETEMA/FENG - PUCRS

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que me apoiaram, direta ou indiretamente, no desenvolvimento desse projeto de mestrado.

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha mãe, Sandra Beatriz, e ao meu pai, Carlos Alberto, pelo suporte e orientação na minha jornada de aperfeiçoamento pessoal e profissional, sendo meus grandes modelos de perseverança, honestidade e bondade. Ao meu irmão, agradeço pelo carinho e companheirismo sempre presentes.

Aos amigos de longa data, Alexia Hoppe, Alexandre Voelcker e Ana Júlia Arusievicz, meu muito obrigado por acharem tempo para discussões sobre objetivos e metodologia durante cafés no Bom Fim. Ao amigo e irmão, Matheus Queiroz, agradeço pelo apoio e pelo carinho.

Ao Mario Vian e ao Henrique Bosenbecker, do Ideia PUCRS, e ao Censo e ao Aldo, da Serralheria da PUCRS, meu muito obrigado pelo empenho em atenderem as demandas do projeto com rapidez e pelo excepcional trabalho na confecção e adaptação das peças mecânicas.

À família MicroG, agradeço pelo coleguismo, carinho e amizade, sempre muito presentes nas atividades do dia-a-dia.

Agradeço ao Prof. Júlio Cesar pelo excepcional apoio, incentivo e companheirismo durante o desenvolvimento do projeto, estando constantemente disponível para uma troca de ideias ou auxílio, mesmo quando extremamente ocupado com outros alunos ou projetos.

À Profa. Helena, agradeço pelas palavras de estímulo e pelas risadas, sempre presentes independentemente do cansaço.

Aos futuros colegas de profissão, João Berlese Martins e José Vinicius Melo, meu muito obrigado pela dedicação e parceria no auxílio ao desenvolvimento desse projeto.

Gostaria de agradecer à Profa. Thais Russomano, minha orientadora e mentora, por acreditar no meu potencial, investindo no meu crescimento pessoal e profissional. Muito obrigado pelas oportunidades de amadurecimento e aprendizado que tive durante esse período, as quais foram de grande valia para a minha formação.

Finalmente, ao meu companheiro de vida, Ângelo Marcelo Schwalbert, meu muito obrigado pelo incansável incentivo, nas horas de fadiga e desânimo. Sem dúvida, seu apoio, compreensão e carinho foram fundamentais para que eu pudesse finalizar essa etapa de crescimento profissional com maior tranquilidade.

“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original.”

“The mind that opens to a new idea
never returns to its original size.”

Albert Einstein

RESUMO

A constante evolução da tecnologia vem permitindo um acesso cada vez mais amplo e uma produção cada vez mais global de textos, áudios, imagens e vídeos. A Internet cresce constantemente em alcance e capacidade de transferência de dados, tornando possível a comunicação virtual em um nível que já imita a realidade. A combinação desses elementos na educação, e mais especificamente na educação em saúde, tem resultado em grandes avanços na capacidade de professores de ilustrar o conteúdo ao invés de apenas explica-lo. Dessa forma, essas ferramentas vêm ao encontro da necessidade de melhoria de métodos de ensino, muitas vezes pouco eficientes e de custo elevado para sua implementação e manutenção. No aprendizado teórico sobre técnicas cirúrgicas, por exemplo, a presença de acadêmicos junto ao paciente não garante a visualização do procedimento, devido ao espaço limitado e à importância de que a quantidade de observadores não prejudique o decorrer da cirurgia. Atento a esses diferentes elementos e às demandas existentes na universidade, esse projeto teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de Telecirurgia como ferramenta educacional em saúde. Para tanto, foram desenvolvidos: um equipamento para posicionamento de um sistema de aquisição de imagens em sala cirúrgica (eSurg-Arm); uma especificação de equipamentos e formatos para aquisição e transmissão de imagens (eSurg-Video); e uma aplicação web em linguagem de alto nível como ferramenta educacional em saúde (eSurg-Web). O eSurg-Arm contemplou o design, a simulação, a prototipação e a realização de ensaios de hardware, software e de mecanismos e peças mecânicas. O eSurg-Video foi responsável por analisar diferentes tecnologias de compressão e transmissão de vídeo. O eSurg-Web realizou a definição das funcionalidades e informações necessárias para a criação de uma plataforma web para ensino a distância, tendo feito sua prototipação. Cada uma das etapas de desenvolvimento obteve resultados específicos. O eSurg-Arm resultou na construção e validação de três sistemas, o primeiro de controle e instrumentação de movimento, o segundo de suporte articulado e o terceiro de *Pan/Tilt/Roll/Zoom*. O eSurg-Video resultou na capacidade de oferecer diferentes resoluções de vídeo, bem como transmiti-los de forma síncrona ou assíncrona. O eSurg-Web teve como resultado o design de múltiplos conjuntos de informações que permitiu a prototipação de uma aplicação web. O eSurg teve sucesso em permitir o posicionamento de sistema de aquisição de imagens, por meio do eSurg-Arm, e em desenvolver uma ferramenta educacional em saúde, que possibilita o acesso interativo de docentes e discentes ao conteúdo de cirurgias realizadas no Hospital São Lucas da PUCRS. O sistema de aquisição e transmissão de vídeos definido pelo projeto se mostrou adequado à prática cirúrgica nos ensaios e testes realizados.

Palavras-chave: Telecirurgia, eHealth, plataforma web, eSurg, educação a distância.

ABSTRACT

The constant evolution of technology enables a wider access to and a more global production of digital texts, audios, images, and videos. The internet, which greatly enhances this sharing capability, has been constantly growing in coverage and in data transfer capacity, therefore allowing virtual communication to simulate real-life interaction. The combination of these elements in education, especially in health education, led to large improvements in the capacity to illustrate it rather than just explain it. These technologies have great potential to improve teaching methods, which sometimes are inefficient or have high maintenance costs. In the theoretical learning of surgical procedures, for example, the presence of students in the operating room does not necessarily provide them with a better understanding of the technique used by the surgeon, as he or she may not be able to get close enough to see the area where the procedure is being performed. This problem stems from the limited space available in the room, as well as from the care for the patient's wellbeing, which should not be compromised as result of the amount of observers in the room. Aware of these elements and of the existing demand for improvement of teaching tools in the university, this project had as its main aim the development of a telesurgery system for health education. In order to accomplish this goal, three systems were developed: a photograph camera positioning equipment (eSurg-Arm) to assist image acquisition in the operating room; a specification of equipment and video formats to enable image acquisition and transmission (eSurg-Video), and a health education web platform (eSurg-Web). The eSurg-Arm successfully developed the design, the simulation, the prototyping, and the testing of hardware, software, and mechanical devices and parts. The development of eSurg-Video called for the analysis of different video compression and transmission technologies. The making of eSurg-Web established the parameters (i.e. functionalities and information) to build a distance education web-learning tool, as well as to develop a functional prototype. Each of these systems accomplished different results. The eSurg-Arm built and validated three systems: movement control and instrumentation, articulated arm and Pan/Tilt/Roll/Zoom. The eSurg-Video enabled the synchronous and asynchronous video streaming of different resolution videos. The eSurg-Web accomplished the design of multiple information blocks, which enabled the development of an educational web platform. In short, the eSurg project successfully positioned an image acquisition system and granted access to a web platform that allow professors and students to interact with surgical multimedia content from medical/chirurgical procedures performed at the São Lucas Hospital – PUCRS.

Key-words: telesurgery, eHealth, eSurg, web platform, distance education.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplos de utilização de câmeras filmadoras em pedestais.....	23
Figura 2 – Câmera filmadora embutida em foco cirúrgico	23
Figura 3 – Proposta de Sala Cirúrgica Digital com transmissão ao vivo de procedimentos cirúrgicos da UFRGS	25
Figura 4 – Anatomia do Google® Glass	26
Figura 5 – Sala Cirúrgica Digital Siemens	26
Figura 6 – Serviço de transmissão de procedimentos cirúrgicos - ATiT	27
Figura 7 - Serviço de transmissão de procedimentos cirúrgicos - Video-Atelier Keel AG	27
Figura 8 – Carro para soro hospitalar	34
Figura 9 - Joystick Arduino Biaxial PS2.....	34
Figura 10 – Servo-motor Vigor VSD-11AYMB.....	36
Figura 11 – Suporte articulado seminovo.....	37
Figura 12 – Diagrama de projeto do eSurg-Arm.....	39
Figura 13 – Diagrama da instrumentação e do controle do eSurg-Arm.....	40
Figura 14 - Layout do PCI do hardware principal, produzido no software Orcad®	42
Figura 15 - Layout da PCI do hardware da interface com usuário, produzido no software Orcad®	42
Figura 16 - Diagrama de funcionamento do algoritmo principal desenvolvido para o MSP430F2619	45
Figura 17 - Diagrama de funcionamento do algoritmo da interrupção dos botões de seleção de servo-motor, com sistema de intertravamento, desenvolvido para o MSP430F2619	46
Figura 18 - Diagrama de funcionamento do algoritmo da interrupção do timer do PWM, desenvolvido para ajuste do <i>duty cycle</i> no MSP430F2619	46
Figura 19 - Janela do software Proteus 8 Professional	47
Figura 20 - Visualização dos sinais captados pelo osciloscópio digital apresentado na Figura 19.....	48
Figura 21 - Janela do Software Cliever Lab 3.1 com o acompanhamento da impressão de uma das engrenagens do projeto.	49
Figura 22 - Impressora Cliever CL1 durante a impressão de uma engrenagem do projeto	50
Figura 23 – Imagem 3D da estrutura mecânica do eSurg-Arm, gerada no software SolidWorks®, ilustrado a base móvel e o suporte articulado.....	51
Figura 24 – Imagem da base do eSurg-Arm durante sua adaptação mecânica	52
Figura 25 – Ensaios para definição do contrapeso a serem fixados na base	52

Figura 26 – Contrapeso da base do eSurg-Arm.....	53
Figura 27 - Adaptação do suporte articulável na base.....	53
Figura 28 – Imagem do suporte articulado do eSurg-Arm, indicando todas as juntas e hastes que compõem o mesmo.....	54
Figura 29 – Imagem 3D gerada no software SolidWorks® da primeira adaptação realizada na Junta 1 do suporte articulado.	55
Figura 30 – Imagem 3D gerada no software Orcad® da segunda adaptação realizada na Junta 1 do suporte articulado.	56
Figura 31 – Imagem 3D da Junta 2, ilustrando o encaixe das hastes e os elementos responsáveis.....	56
Figura 32 – Imagem 3D da Junta 2, ilustrando a montagem dos elementos de controle.	57
Figura 33 – Imagem 3D da Junta 3, ilustrando a montagem dos elementos de controle.	58
Figura 34 – Primeira versão do driver desenvolvido para substituir o circuito de controle do servo-motor Vigor VSD-11AYMB.	59
Figura 35 – Segunda versão do driver desenvolvido para substituir o circuito de controle do servo-motor Vigor VSD-11AYMB.	60
Figura 36 – Diagrama de funcionamento do algoritmo principal desenvolvido para o MSP430F2013.....	62
Figura 37 – Diagrama de funcionamento do algoritmo da interrupção do timer do PWM, desenvolvido para o MSP430F2013.....	63
Figura 38 - Diagrama de funcionamento do algoritmo da interrupção da Porta P1.2, desenvolvido para o MSP430F2013.....	63
Figura 39 – A imagem ilustra a organização dos equipamentos necessários para a realização dos ensaios.....	64
Figura 40 – Desenvolvimento do primeiro grau de liberdade do <i>Pan/Tilt/Roll/Zoom</i> (rotação - <i>Pan</i>).	65
Figura 41 - Conjunto de engrenagens desenvolvido para a automatização do <i>Pan/Tilt/Roll/Zoom</i>	66
Figura 42 - Desenvolvimento do segundo grau de liberdade do <i>Pan/Tilt/Roll/Zoom</i> (inclinação - <i>Tilt</i>).....	66
Figura 43 - Desenvolvimento do terceiro grau de liberdade do <i>Pan/Tilt/Roll/Zoom</i> (giro - <i>Roll</i>).....	67
Figura 44 - Conjunto de engrenagens desenvolvido para a automatização do <i>Zoom</i> do <i>Pan/Tilt/Roll/Zoom</i>	68

Figura 45 - Desenvolvimento do quarto grau de liberdade do <i>Pan/Tilt/Roll/Zoom</i> (zoom da câmera - Zoom)	68
Figura 46 – Vista explodida do <i>Pan/Tilt/Roll/Zoom</i> desenvolvido.	69
Figura 47 – Modificação do funcionamento do servo-motor Tower Pro MG995 para trabalhar como “servo de velocidade”	70
Figura 48 – Peças internas do <i>Pan/Tilt/Roll/Zoom</i>	71
Figura 49 – Janela do Software Sorenson Squeeze, ilustrando o processo de compressão e codificação de vídeo.	73
Figura 50 – Trecho de um minuto de vídeo, selecionado para a avaliação das imagens da cirurgia.....	74
Figura 51 – Janela do Microsoft Visual Studio 2012, ambiente integrado de desenvolvimento utilizado para o design e prototipação do eSurg-Web.....	76
Figura 52 - Diagrama funcional da estrutura de camadas utilizada para o a construção do projeto.....	77
Figura 53 –Classe eSurgDB, responsável pela criação do banco de dados do projeto por meio da técnica <i>Code First</i> do <i>Entity Framework</i> , como também estabelece a troca de dados com o mesmo.....	78
Figura 54 – Recorte da classe de persistência de dados Usuario, a qual ilustra a descrição de todas as propriedades da classe, e suas respectivas características, bem como as marcações da ferramenta <i>Code First Data Annotations</i> do <i>Entity Framework</i>	80
Figura 55 – Janela do software Microsoft SQL Management Studio, ilustrando a lista de tabelas presentes no banco de dados eSurg.Models.eSurgDB (esquerda) e o design da tabela Usuarios (direita).	81
Figura 56 – Classes da Camada <i>Controller</i>	82
Figura 57 – <i>Template</i> em linguagem Razor.....	83
Figura 58 – Sala cirúrgica n° 1 do Hospital São Lucas da PUCRS	84
Figura 59 - Imagem 3D da estrutura mecânica do eSurg-Arm.....	85
Figura 60 – eSurg-Arm.....	86
Figura 61 – Placa do Circuito Impresso do hardware principal de controle, confeccionada na fresadora CNC PLKF S63 em duas camadas.	87
Figura 62 - Placa do Circuito Impresso do hardware de interface com o usuário, confeccionada na fresadora CNC PLKF S63.	87
Figura 63 – Hardware principal de controle do eSurg-Arm.....	87
Figura 64 – Controle de movimento do eSurg-Arm (hardware de interface com o usuário)...	88

Figura 65 - Imagem da Junta 1 automatizada (componentes especificados na Figura 30)	89
Figura 66 - Imagem da Junta 2 automatizada (componentes especificados na Figura 32)	89
Figura 67 – Imagem da Junta 3 automatizada (componentes especificados na Figura 33).....	90
Figura 68 - Ensaio – Posição do <i>joystick</i> (repouso) x Sinal PWM gerado	90
Figura 69 – Ensaio – Posição do <i>joystick</i> (lado esquerdo) x Sinal PWM gerado.....	91
Figura 70 - Ensaio – Posição do <i>joystick</i> (lado direito) x Sinal PWM gerado	91
Figura 71 - Ensaio – Sinal PWM de entrada (T = 1,500ms) x Sinal PWM de saída – μ C MSP430F2013	92
Figura 72 – Ensaio – Sinal PWM de entrada (T = 1,201ms) x Sinal PWM de saída – μ C MSP430F2013	92
Figura 73 - Ensaio – Sinal PWM de entrada (T = 1,801ms) x Sinal PWM de saída – μ C MSP430F2013	93
Figura 74 – Ensaio – Sinal PWM μ C MSP430F2619 (T=1,201ms) x Velocidade do servo- motor.....	93
Figura 75 - Ensaio – Sinal PWM μ C MSP430F2619 (T=1,801ms) x Velocidade do servo- motor.....	94
Figura 76 – Imagem do sistema <i>Pan/Tilt/Roll/Zoom</i> montado, com a câmera Canon instalada.	95
Figura 77 – Ensaio – Avaliação da diminuição da relação sinal ruído do sinal PWM devido ao cabramento.	96
Figura 78 – Janela do aplicativo EOS Utility	97
Figura 79 – Janela do aplicativo DSLR Controller versão Beta, ilustrando as opções de controle remoto da Câmera Canon.	97
Figura 80 – Alvos de avaliação para calibração de câmeras	98
Figura 81 - Ensaio do controle das funcionalidades da Canon EOS 600D pelo software EOS Utility.....	98
Figura 82 – Ensaio do controle e transmissão do vídeo capturado pela câmera Canon EOS 600D em tempo real, utilizando um Samsung Galaxy S5.....	99
Figura 83 – Ensaio da visualização do vídeo capturado pela câmera Canon EOS 600D em tempo real	99
Figura 84 – Fluxograma de acesso por autenticação de usuário.	104
Figura 85 – Fluxograma da realização das atividades, tendo como ponto inicial a autenticação do estudante na plataforma.	105
Figura 86 – Estudo para construção de exercício do tipo associação múltipla.	106

Figura 87 - Estudo para construção de exercício do tipo associação simples.	106
Figura 88 – Estudo para construção de exercício do tipo verdadeiro ou falso.....	107
Figura 89 - Estudo da construção de exercício do tipo múltipla escolha.	107
Figura 90 - Estudo para construção de exercício do tipo ordenação.	108
Figura 91 - Exemplo da janela de gerenciamento dos temas e seus respectivos módulos	109
Figura 92 – Exemplo da distribuição dos módulos de um tema e suas respectivas tarefas. ..	109
Figura 93 - Exemplo da etapa inicial da atividade	110
Figura 94 - Exemplo da etapa de apresentação do caso clínico do paciente	110
Figura 95 – Exemplo da distribuição das tarefas de uma atividade.	111
Figura 96 – Exemplo de tarefa do tipo associação simples	111
Figura 97 – Exemplo de tarefa do tipo verdadeiro ou falso	112
Figura 98 – Exemplo da janela de gerenciamento do conteúdo da plataforma.	112
Figura 99 – Distribuição dos diferentes conteúdos da plataforma.	113
Figura 100 - Exemplo da janela de gerenciamento dos usuários da plataforma.	114
Figura 101 – Janela de login da plataforma.....	114

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

PWM – Pulse Width Modulation

A/D – Analógico / Digital

μ C – Microcontrolador

IDE – Integrated Development Environment

PCI – Placa de Circuito Impresso

LED – Light Emitted Diode

CRUD – Create, Read, Update, Delete

EHR – Electronic Health Record

VC – Videoconferência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	18
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
3.1	TELECIRURGIA.....	21
3.1.1	Estado da Arte	24
3.2	E-LEARNING EM SAÚDE	27
3.3	TELESSAÚDE NO BRASIL.....	29
3.3.1	TELESSAÚDE NA PUCRS	29
3.3.1.1	<i>Telecirurgia na PUCRS</i>	30
4	MATERIAIS	31
4.1	SOFTWARE	31
4.2	EQUIPAMENTOS DE BANCADA.....	32
4.3	ELEMENTOS UTILIZADOS NO PROJETO	33
4.3.1	Carro para Soro Hospitalar.....	33
4.3.2	Conector Samsung USB ET-R205UBE.....	34
4.3.3	Fonte de Alimentação Kolke.....	34
4.3.4	Joysticks Biaxial do tipo PS2.....	34
4.3.5	Máquina Fotográfica DSLR Canon EOS 600D	35
4.3.6	Monitor LG Flatron E2250	35
4.3.7	Notebook Samsung Série 5 Ultra	35
4.3.8	Rodízios Colson Performa – Série 12	35
4.3.9	Servo Motores	35
4.3.10	Smartphone Galaxy S5.....	37
4.3.11	Suporte Articulado	37
4.4	PRINCIPAIS COMPONENTES ELETRÔNICOS	37

5	MÉTODOS.....	39
5.1	DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS EM SALA CIRÚRGICA – ESURG-ARM	39
5.1.1	Instrumentação e controle do eSurg-Arm	40
5.1.1.1	<i>Design dos circuitos.....</i>	40
5.1.1.2	<i>A Prototipação.....</i>	41
5.1.1.3	<i>A Programação em linguagem C.....</i>	42
5.1.1.4	<i>Emulação de hardware</i>	47
5.1.2	Processo de design e confecção de engrenagens.....	48
5.1.3	O suporte articulado com base móvel	50
5.1.3.1	<i>Adaptação e montagem da estrutura mecânica</i>	51
5.1.3.1.1	<i>A base móvel</i>	51
5.1.3.1.2	<i>O suporte articulado</i>	54
5.1.3.2	<i>Instrumentação e automatização.....</i>	58
5.1.3.2.1	<i>Ensaio de desempenho.....</i>	63
5.1.4	Sistema de Pan/Tilt/Roll/Zoom.....	64
5.1.4.1	<i>Design do sistema mecânico</i>	64
5.1.4.1.1	<i>Ensaio de ruído</i>	70
5.1.4.2	<i>Confecção das peças internas e chapas.....</i>	71
5.2	DEFINIÇÃO DE UMA SISTEMÁTICA PARA A AQUISIÇÃO E TRANSMISSÃO DE VÍDEOS – ESURG-VIDEO	71
5.2.1	Aquisição de vídeos	71
5.2.2	Transmissão de Vídeos.....	72
5.2.2.1	<i>Modalidade Assíncrona.....</i>	72
5.2.2.2	<i>Modalidade Síncrona</i>	75
5.3	DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA WEB COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL EM SAÚDE – ESURG-WEB.....	75
5.3.1	Design da plataforma	75
5.3.2	Prototipação da plataforma.....	75
5.3.2.1	<i>Persistência de dados – Camada Model</i>	78
5.3.2.2	<i>Gestão de requisições - Camada Controller</i>	81
5.3.2.3	<i>Apresentação das páginas web- Camada View</i>	82
5.3.3	Ensaio da plataforma.....	83

6	RESULTADOS	84
6.1	ESURG-ARM	84
6.1.1	Instrumentação e controle	86
6.1.2	Processo de design e confecção de engrenagens.....	88
6.1.3	Suporte articulado com base móvel	88
6.1.4	Sistema Pan/Tilt/Roll/Zoom.....	94
6.2	ESURG-VIDEO	96
6.2.1	Aquisição de vídeos	96
6.2.2	Transmissão de vídeos	99
6.3	ESURG-WEB.....	101
6.3.1	Design da plataforma	101
6.3.2	Prototipação da plataforma.....	108
6.3.2.1	<i>Bloco Cursos</i>	108
6.3.2.2	<i>Bloco Atividades</i>	110
6.3.2.3	<i>Bloco Conteúdos</i>	112
6.3.2.4	<i>Bloco Usuários</i>	113
7	DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	115
7.1	DESIGN DA SOLUÇÃO.....	115
7.2	DESENVOLVIMENTO DO ESURG	117
8	CONCLUSÃO.....	121
9	PROJETOS FUTUROS	122
9.1	ESURG-ARM	122
9.2	ESURG-VIDEO	122
9.3	ESURG-WEB.....	122
	REFERÊNCIAS	124

1 INTRODUÇÃO

A evolução das ferramentas de armazenamento e transferência de informação vem promovendo uma constante modificação na forma como as pessoas interagem com o conhecimento e entre elas mesmas (HUA WANG; WELLMAN, 2010; PLODERER et al., 2014). O advento da linguagem escrita, datado de meados do quarto milênio a.C, mudou a maneira como a cultura, as experiências, as ideias e as expertises eram passadas de geração para geração, aumentando a capacidade de seu armazenamento e permitindo uma difusão cada vez mais abrangente (MEREGE, 2009).

O último século foi palco de uma sequência de inovações disruptivas, que alteraram o curso da história, em mais de uma ocasião, no período de apenas uma geração. O advento da válvula termiônica em 1906 (BATTAGLIN; BARRETO, 2011), do primeiro computador, ENIAC I, em 1946, do transistor em 1948 (ENDERLEIN, 1994), são algumas das invenções que permitiram o desenvolvimento dos sistemas computacionais como são conhecidos hoje, bem como tornaram possível um dos maiores marcos da história da humanidade: o pouso em solo lunar em 1969 (GLOBO, 2013).

A constante evolução da tecnologia e dos conceitos que resultaram na criação do primeiro “computador pessoal”, ou PC como é popularmente conhecido, foi responsável também pelo surgimento de sistemas computacionais e redes de comunicação que vem ampliando as fronteiras da interação dos usuários com a informação digital. Essa evolução vem permitindo um acesso cada vez mais amplo e uma produção cada vez mais global de textos, áudios, imagens e vídeos. A Internet, que surgiu inicialmente como ARPANET em 1962 (HISTORY.COM, 2010), cresce constantemente em alcance e capacidade de transferência de dados, tornando possível a comunicação virtual em um nível que já imita a realidade (ALVES et al., 2011; CISCO, 2014).

A combinação desses elementos na educação, e mais especificamente na educação em saúde, tem resultado em grandes avanços na capacidade de professores demonstrarem o conhecimento para seus alunos. Mesas digitais com imagens em terceira dimensão do corpo humano (TECNOSIMBRA, 2014), simuladores para treinamento de procedimentos cirúrgicos (GALLAGHER et al., 2013) e animações fidedignas à anatomia humana para elucidar o funcionamento dos diferentes sistemas orgânicos (BLASCA et al., 2010) são alguns dos exemplos de novas ferramentas que estão se tornando cada vez mais comuns no ensino de profissionais da saúde.

A virtualização da sala de aula tem sido avaliada de forma mais relevante à medida que se torna possível disponibilizar material de qualidade (vídeos com alta resolução, apostilas

com ferramentas interativas para entendimento e validação do aprendizado) aos estudantes, bem como permitir a interatividade com o professor (ou outros estudantes) por meio de plataformas de webconferência (CARDOSO et al., 2009), mensagens em redes sociais (GRAY; ANNABELL; KENNEDY, 2010), e-mails ou videoconferências (VC) (RUSSOMANO, THAIS et al., 2011). Associado a esses desenvolvimentos, pode-se ressaltar o compartilhamento aberto de cursos online para todos os usuários da Internet (LUCAS, 2013).

Essas ferramentas vêm ao encontro da necessidade de melhoria de métodos de ensino, muitas vezes, pouco eficientes e de custo elevado para sua implementação e manutenção. No aprendizado teórico sobre técnicas cirúrgicas, por exemplo, a presença de acadêmicos junto ao paciente não garante a visualização do procedimento (RUSSOMANO, T. et al., 2009). Isso se deve, principalmente, ao espaço limitado e à importância de que a quantidade de observadores não prejudique o decorrer da cirurgia (SHIMIZU et al., 2009). Ainda, o cirurgião em campo normalmente não dispõe da atenção ou do tempo para demonstrar aos alunos os passos que está seguindo ou explicar as decisões que está tomando, já que o paciente é seu foco principal (GAMBADAURO; TORREJÓN, 2013).

A mudança causada pela tecnologia na maneira em que o indivíduo percebe a sua realidade, interage com colegas e professores e busca informação também traz novos desafios ao ensino, exigindo uma constante atualização por parte dos educadores e instituições de ensino (DANCIU; GROSSECK, 2011). Assim, é fundamental realizar uma readequação dessa interface por meio da revisão periódica dos modelos e ferramentas de ensino, de forma a permitir uma troca eficaz de experiências e conhecimentos (ARCHER; GARRISON; ANDERSON, 1999; GARRISON, 2011).

1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para apresentação desse trabalho, os próximos capítulos foram definidos como objetivos, fundamentação teórica, materiais, métodos, resultados, discussão dos resultados, conclusões e projetos futuros, tendo sido apresentadas as mesmas etapas do projeto, à luz do respectivo enfoque.

2 OBJETIVOS

Atento aos avanços da telessaúde e às demandas existentes na universidade, essa dissertação teve como objetivo desenvolver e implementar um sistema em Telecirurgia como ferramenta educacional em saúde.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um equipamento articulado, micro-controlado, com, pelo menos quatro graus de liberdade, que permita o posicionamento do sistema de aquisição de imagens em sala cirúrgica com a perspectiva próxima a do cirurgião;
- Definir a especificação de equipamentos, software, formatos e configurações para: (a) a aquisição e transmissão de vídeos, possibilitando a captura de imagens sob a iluminação de foco cirúrgico; (b) a compressão com perdas aceitáveis à visualização detalhada da cirurgia; (c) o streaming síncrono e assíncrono para alunos e professores;
- Desenvolver uma aplicação web em linguagem de alto nível, com recurso de banco de dados relacional, que permita o acesso estruturado, interativo e seguro ao conteúdo de procedimentos cirúrgicos por docentes e discentes.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo o Observatório Global de Saúde Eletrônica da Organização Mundial de Saúde (GOe), o uso da Telemedicina, hoje reconhecida de forma mais abrangente como Telessaúde, remonta ao século 19. Porém, seus primeiros registros são datados do século 20, quando, pela primeira vez, dados de um eletrocardiograma foram transmitidos por meio da linha telefônica (WHO, 2010). Sua forma mais moderna surgiu durante o período da corrida espacial, na década de 60, com a necessidade da monitorização de parâmetros fisiológicos de astronautas a distância. Devido à importância e a visibilidade desses eventos, a telemedicina ganhou notoriedade mundial (NICOGOSSIAN; POBER; ROY, 2001), sendo, posteriormente, definida como o uso de tecnologias de informação e comunicação para o intercâmbio de informações relevantes para o diagnóstico, tratamento e prevenção de doenças e lesões em situações em que a distância é um fator crítico (LUSTIG, 2012).

Entretanto, apenas com os avanços nos protocolos e meios de comunicação, alcançados nas décadas subsequentes, foi possível o estabelecimento dessas tecnologias de forma mais ampla e globalizada. O acelerado crescimento da disponibilidade e da velocidade da rede mundial de computadores, ou Internet, foi um dos fatores mais relevantes para o desenvolvimento de ferramentas e soluções em Telemedicina, uma vez que garantiu a acessibilidade a informações digitais por pacientes e profissionais de saúde. O estabelecimento dessa infraestrutura é reconhecido hoje como um dos principais motivos para o aumento na utilização de computadores em hospitais, clínicas, postos de saúde e consultórios (WHO, 2010).

A demanda por um fluxo contínuo de novas tecnologias, que permitissem a criação de soluções para as deficiências na acessibilidade à informação em saúde, estimulou o estudo multidisciplinar do design, desenvolvimento, adoção e implantação de inovações baseadas em tecnologias de informação (TI) na gestão, no planejamento e na prestação de serviços de saúde. Essa área do conhecimento veio a ser denominada Informática em Saúde (*Health Informatics*) (PROCTER, 2009), tendo evoluído, mais recentemente, para uma especialidade profissional e um campo de estudo que incorpora processos, procedimentos, teorias e conceitos das ciências da informação e da computação, das ciências da saúde e das ciências sociais (NELSON; STAGGERS, 2013).

Os primeiros registros da utilização de computadores para o auxílio na gestão de dados de pacientes e de inventários hospitalares datam da década de 50, marcando o início do desenvolvimento da Informática em Saúde. A década seguinte foi caracterizada pela experimentação dessa nova ferramenta nos processos em saúde e no ensino em medicina e enfermagem. A partir dos anos 70, com as primeiras referências ao termo “*Medical*

Informatics” em periódicos científicos, se iniciou o estabelecimento da utilização de computadores no atendimento a pacientes e da Informática em Saúde como disciplina. Ao final da década, os desenvolvimentos comerciais e acadêmicos alcançados em sistemas computacionais, bibliotecas e cuidados em saúde já haviam criado um solo fértil para o surgimento de novas ideias e demandas (NELSON; STAGGERS, 2013).

Existe, no entanto, uma crescente demanda para que a inovação no desenvolvimento de equipamentos médicos seja um esforço conjunto do governo, empresas e organizações voltadas à saúde, focados na identificação de lacunas e impactos da implantação dessas tecnologias, de forma a evitar o investimento em soluções de alta complexidade que não tenham um resultado claramente mensurável na melhoria da qualidade da saúde da população (SINHA; BARRY, 2011).

Em países desenvolvidos, como os presentes na União Europeia, a Saúde Eletrônica já é reconhecida como uma política pública, a ser aplicada na melhoria da qualidade do atendimento em saúde, possuindo orçamentos específicos para o desenvolvimento de padrões e normas que permitam, por exemplo, a comunicação entre diferentes Registros Eletrônicos de Saúde (EHR) (GREER et al., 2013). Em países em desenvolvimento, sua aplicação se mostra ainda mais relevante, principalmente em regiões de difícil acesso ou com grandes áreas territoriais (CARDOSO et al., 2007).

3.1 TELECIURURGIA

Em 1965, com o lançamento do primeiro satélite de comunicação intercontinental do mundo pela *Comsat*, chamado “*Early Bird*”, o Dr. Michael Ellis DeBakey foi convidado a realizar a primeira transmissão ao vivo de uma cirurgia, se tornando pioneiro nesse campo. O procedimento, que consistiu de uma substituição da válvula aórtica por uma protética, foi realizado no Hospital Metodista no Texas, EUA, e assistido na Faculdade de Medicina da Universidade de Genebra, Suíça (DEBAKEY, 1995).

Paralelamente aos avanços das tecnologias de comunicação, a rápida e constante evolução do conhecimento técnico e científico em cirurgia tem resultado em uma demanda crescente de profissionais e estudantes por acesso a informações de alta qualidade (AUGESTAD; LINDSETMO, 2009).

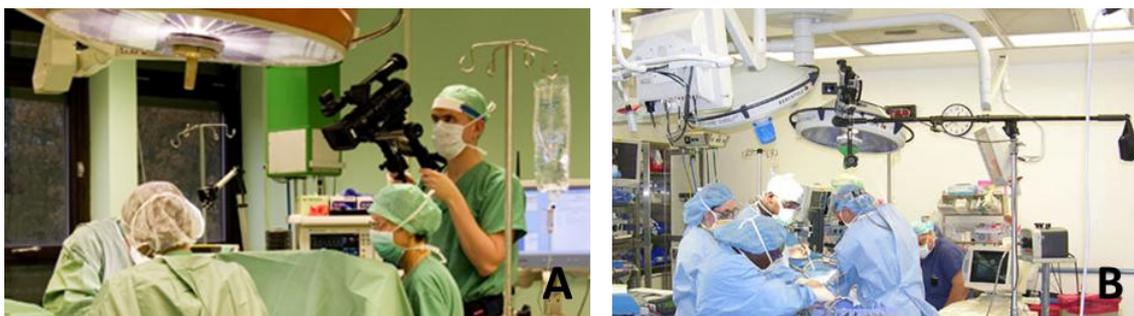
Segundo KONINCKX et al. (2013), a combinação da demanda por conhecimento e do desenvolvimento das telecomunicações traz uma mudança de paradigma na realização de procedimentos cirúrgicos, bem como na educação médica. Mais recentemente, o avanço das técnicas cirúrgicas minimamente invasivas, das tecnologias de informação em saúde e do amadurecimento de padrões e normas técnicas para a interoperabilidade de equipamentos

médicos permitiram o surgimento das “Salas Digitais de Cirurgia”, capazes garantir o acesso instantâneo a diferentes informações sobre o paciente (imagens médicas, caso clínico, resultados de exames, etc), bem como transmiti-las para outras localidades. Essa infraestrutura integrada trouxe novos recursos para auxiliar a equipe médica na melhoria de sua performance, porém também apresenta novos desafios a esses profissionais. O volume de informações e interfaces agora disponíveis, que exigem parte da atenção dos médicos para seu correto manuseio, se somam às atividades diretamente relacionadas ao procedimento cirúrgico. Adicionalmente, profissionais experientes e iniciantes interagem de maneira diferente com o conteúdo apresentado, tendo maior ou menor capacidade de lidar, por exemplo, com imagens em menor resolução ou ângulo mais restrito de visão. Dessa forma, KONINCKX et al. (2013) concluem que os diferentes recursos devem adaptados dentro do contexto e especificidades dos usuários (experientes ou iniciantes), bem como de cada hospital e/ou faculdade de medicina, para que possam ser inseridos de forma correta tanto na prática cirúrgica quanto no treinamento e acompanhamento de cirurgias em formação.

Na última década, a diminuição do custo de sistemas e aplicativos de videoconferência permitiram o estabelecimento da comunicação visual bilateral em tempo real entre médicos separados geograficamente, tornando possível a esses profissionais acompanhar cirurgias realizadas em outras localidades para o treinamento e avaliação de estudantes e profissionais graduados na prática cirúrgica (GAMBADAURO; TORREJÓN, 2013). No entanto, as características singulares do ambiente da sala cirúrgica (esterilização, variedade dos padrões de vídeo dos equipamentos de laparoscopia e o espaço restrito ao redor do paciente) dificultaram a captura das imagens com alta qualidade. Ainda, na cirurgia de campo aberto, pôde-se constatar desafios adicionais, como a iluminação, a movimentação da equipe junto ao paciente, o ângulo de posicionamento da câmera em relação ao local da incisão e o zoom da imagem, características determinantes para uma visualização detalhada de estruturas anatômicas, bem como do procedimento em si.

HORGMO (2008) e COHEN (2012) relatam experiências na aquisição dessas imagens, por meio da utilização de câmeras profissionais disponíveis no mercado, comumente usadas na cobertura de eventos (Figura 1). Entretanto, a integração dessa prática à rotina diária das equipes médicas se mostrou condicionada a uma melhor adaptação das câmeras à infraestrutura da sala cirúrgica (KONINCKX et al., 2013).

Figura 1 – Exemplos de utilização de câmeras filmadoras em pedestais



Fonte: (A) HORGMO (2008); (B) COHEN (2012)

Segundo AUGESTAD; LINDSETMO (2009), com a simplificação dos sistemas de transmissão, a VC se tornou amplamente utilizada como ferramenta educacional por cirurgiões ao redor do globo terrestre, tendo, em localidades remotas, se mostrado eficaz na melhoria do treinamento de jovens cirurgiões.

Dessa forma, com a demanda de hospitais e faculdades de medicina pela modernização de suas salas cirúrgicas, empresas especializadas em equipamentos hospitalares começaram a apresentar linhas de produtos desenvolvidos exclusivamente para a aquisição de imagens (KONINCKX et al., 2013). A Figura 2 exemplifica duas dessas propostas, onde a câmera foi acoplada ao foco cirúrgico.

Figura 2 – Câmera filmadora embutida em foco cirúrgico



Fonte: (A) AMICO CORPORATION (2014); (B) BRANDON MEDICAL (2014)

Estudos realizados por diferentes grupos médicos obtiveram resultados positivos na utilização da VC para melhoria do acesso e difusão do conhecimento em cirurgia. Entre eles, um estudo na Austrália demonstrou o emprego da VC para realização de tutoriais síncronos sobre cirurgia pediátrica para dois centros de atendimento em saúde localizados em áreas rurais, tendo sido avaliados de forma altamente positiva pelos envolvidos (HOLLAND; SOUNDAPPAN; OLDMEADOW, 2008). Na África, onde existe uma escassez aguda de

cirurgiões pediátricos, iniciativas educacionais via VC também obtiveram sucesso, possibilitando o compartilhamento de recursos humanos (HADLEY; MARS, 2008).

Dentre as preocupações levantadas, o risco adicional ao paciente é colocado como principal foco. Entretanto, pesquisas como a realizada por SEEBURGER et al. (2011), não obtiveram achados significativos que comprovassem essa teoria.

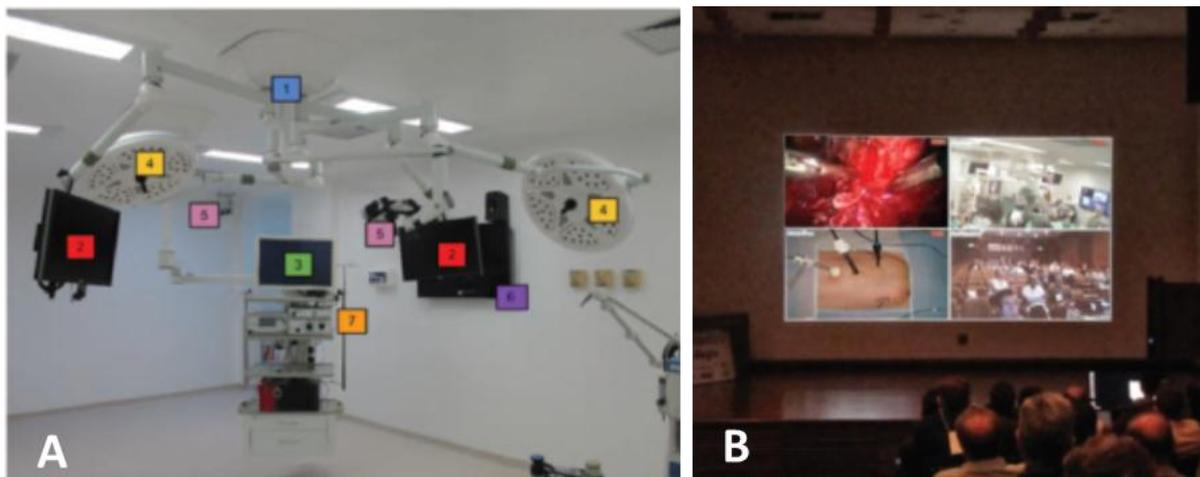
Avaliações de satisfação, realizadas com alunos de graduação e pós-graduação, demonstram um maior interesse desses em acompanhar procedimentos por meio de videoconferências em comparação com o método tradicional, quando estão presencialmente no bloco cirúrgico. Adicionalmente, tanto estudantes quanto cirurgiões indicaram ter uma maior liberdade para fazer perguntas e oferecer respostas utilizando a comunicação virtual, permitindo uma maior troca de conhecimentos e um uso mais eficiente do tempo investido na atividade (RUSSOMANO, T. et al., 2009).

3.1.1 Estado da Arte

A constante metamorfose da interação homem-máquina, com o advento de interfaces cada vez mais integradas ao funcionamento da cognição humana, tem possibilitado explorar novas maneiras de adquirir, processar e compartilhar conteúdo entre usuários. Essa evolução também se tornou visível na telecirurgia, tanto para o acesso a informações relevantes ao procedimento cirúrgico quanto para a interação virtual entre médicos ou entre professores e estudantes (MULLER-PUTZ et al., 2011; SLADE SHANTZ; VEILLETTE, 2014; TAN et al., 2013).

KLINGER et al. (2014) apresentam a Sala Multimídia Integrada como uma alternativa de baixo custo na instalação de uma Sala Cirúrgica Digital, projetada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A sala tem por objetivo permitir, durante a cirurgia, o uso de equipamentos digitais, como endoscópios, múltiplos monitores com acesso a exames de imagem e dados do paciente, comunicação com outros centros de referência e a integração com os sistemas PACS e de gestão do hospital (Figura 3.A). O controle das diferentes funcionalidades da sala pode ser feito por meio de um tablete, a ser manuseado por um dos membros da equipe cirúrgica. Essa flexibilidade possibilita a reconfiguração de monitores, transmissão ao vivo (Figura 3.B) e gravação de vídeo de forma personalizada durante a cirurgia.

Figura 3 – Proposta de Sala Cirúrgica Digital com transmissão ao vivo de procedimentos cirúrgicos da UFRGS

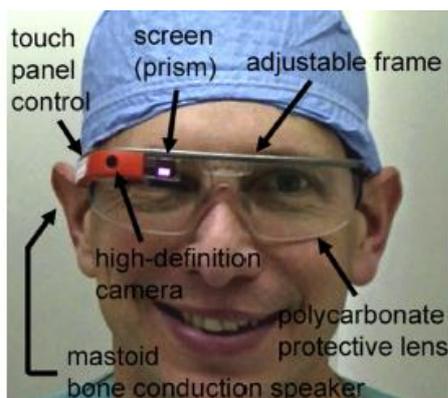


(A) Sala Multimídia Integrada: 1) Braços principais presos ao teto; 2 e 3) Monitores auxiliares para endoscópio; 4) Focos cirúrgicos; 5) Câmera de alta definição; 6) Televisão responsável por mostrar todos os ângulos do procedimento para a equipe presente na sala; 7) Endoscópio. (B) Auditório utilizado para projeção das cirurgias. Fonte: KLINGER et al. (2014)

MUENSTERER et al. (2014), LUTCH et al. (2014) e NIAMTU (2014) relatam a utilização do Google® Glass, óculos desenvolvido pela empresa Google® e que possui uma unidade de processamento computadorizado, câmera de alta definição, microfone, transdutor sonoro e conectividade wireless (GOOGLE INC, 2014), para captura e transmissão de áudio e vídeo de cirurgias.

Dentre eles, MUENSTERER et al. (2014) avalia, de forma sistemática, o uso do equipamento na prática clínica e durante a realização de procedimentos cirúrgicos, analisando a ergonomia, os controles, a vida da bateria, a qualidade de áudio e vídeo, a funcionalidade, a conectividade, os aplicativos disponíveis e a sua aceitação por parte de médicos e pacientes (Figura 4). Os resultados do estudo apontam para um grande potencial de uso, porém diversos ajustes em hardware e software se fazem necessários para utilização em aplicações médicas. Especificamente na transmissão de vídeo, o estudo discute as dificuldades quanto à ergonomia para o cirurgião, que necessita realizar movimentos de cabeça para ativação da câmera, bem como o posicionamento do equipamento a uma distância muito pequena da incisão, devido às lentes com grande ângulo de visão. As imagens adquiridas também estão suscetíveis à movimentação do cirurgião, que necessita mudar seu foco de visão de maneira rápida para apanhar ou entregar instrumentos e indicar tarefas a serem realizadas por sua equipe. Adicionalmente, questões de segurança e privacidade são apontadas tendo em vista a transmissão de dados para os servidores desprotegidos da Google, tanto para armazenamento de imagens e vídeos (*iCloud*), quanto durante o streaming de áudio e vídeo (*Hangout*).

Figura 4 – Anatomia do Google® Glass



Fonte: MUENSTERER et al. (2014)

Empresas líderes em desenvolvimento tecnológico, como a Siemens®, estão investindo em Salas Cirúrgicas Digitais com base na crescente demanda por essas soluções, inserindo recursos de transmissão de imagem e vídeo (SIEMENS AG, 2014) (Figura 5).

Figura 5 – Sala Cirúrgica Digital Siemens

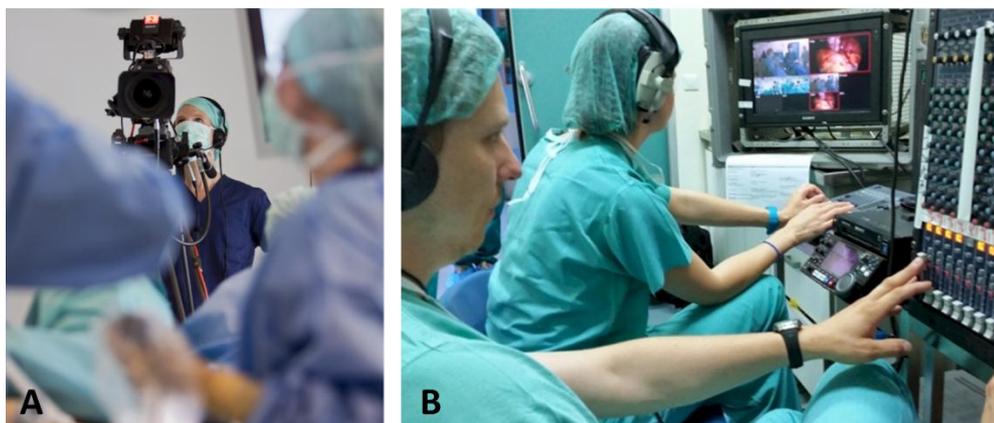


Sala Cirúrgica Siemens instalada na Universidade de Saitama, Japão

Fonte: SIEMENS AG (2014)

Ainda, a participação virtual em procedimentos cirúrgicos também passou a ganhar espaço em eventos científicos, levando tanto a expansão dos serviços de empresas especializadas em transmissão ao vivo de eventos (ATIT, 2014) (Figura 6), bem como a criação de empresas dedicadas a essa temática (VIDEO-ATELIER KEEL AG, 2014) (Figura 7).

Figura 6 – Serviço de transmissão de procedimentos cirúrgicos - ATiT

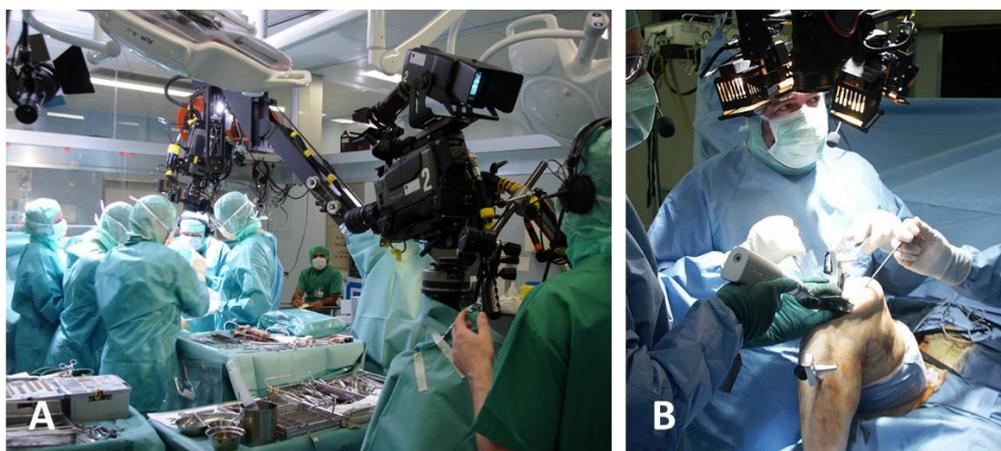


(A) XXVIII Encontro Anual da ESHRE - Londres 2013

(B) XXIX Encontro Anual da ESHRE – Grécia 2014

Fonte: ATiT (2014)

Figura 7 - Serviço de transmissão de procedimentos cirúrgicos - Video-Atelier Keel AG



Fonte: VIDEO-ATELIER KEEL AG (2014)

3.2 E-LEARNING EM SAÚDE

Plataformas de ensino virtual possibilitam o acesso a acervos de vídeos de procedimentos cirúrgicos e seus respectivos casos clínicos, sendo comprovadamente uma ferramenta importante na complementação do ensino em saúde (MUTTER et al., 2011). Por meio desses portais, é possível realizar atividades interativas, que conectam o vídeo apresentado ao conhecimento teórico ministrado em sala de aula (BHATI et al., 2010).

MUTTER et al. (2011), equipe do Instituto Frances de Pesquisa em Câncer do Sistema Digestivo (IRCAD), avaliaram o impacto de uma website estruturado como ferramenta de *e-learning* para o ensino de técnicas cirúrgicas a médicos em seus últimos anos de residência.

O WeBSurg®, website desenvolvido, foi criado em 2000 com intuito de promover o acesso gratuito aos últimos avançados em procedimentos cirúrgicos por meio de streaming de vídeo, descrição dos procedimentos realizados (incluindo desenhos, fotos e apresentações

relativas ao tema da cirurgia) e atribuição de créditos em educação médica continuada (após avaliação dos conhecimentos adquiridos). A constante ampliação de capacidade de transferência de dados da Internet possibilitou ao WeBSurg® aumentar, ao longo dos anos, a resolução dos vídeos disponibilizados: 176 x 144 pixels a 56Kbps em 2000, 320 x 240 pixels a 180Kbps em 2003, 640 x 480 a 800Kbps em 2006. Desde 2010, conteúdo em alta resolução (854 x 480 a 2,5Mbps) também passou a ser oferecido, porém apenas para download e a um valor unitário de U\$ 14.95 devido aos custos com hospedagem e largura de banda.

Entre os meses setembro de 2009 e 2010, o website recebeu 1.396.784 visitas de usuários distribuídos em 213 países, os quais transferiram 17,25 terabytes em arquivos de vídeo por meio do provedor LimeLight Network. Ao final desse período, o WeBSurg® já possuía mais de 202.000 membros, dos quais 60% tinham entre 28 e 34 anos.

Segundo MUTTER et al. (2011) e LARVIN (2009), para que uma ferramenta educacional baseada em internet obtenha sucesso é necessário respeitar um grupo de princípios específicos. Tais princípios são: o conteúdo digital (*e-content*) necessita adicionar valor aos recursos já existentes; a educação virtual (*e-learning*) precisa utilizar diferentes recursos digitais (*e-resources*), como texto, vídeo, desenhos, e multimídia disponível na Internet; o processo de aprendizado pode ser realizado como atividade individual, porém é indispensável que esteja conectado a um professor, permitindo um diálogo via internet; uma avaliação online de conhecimento deve ser feita ao final de cada atividade, de forma a possibilitar ao estudante testar o conteúdo absorvido; o processo virtual de aprendizagem tem de ser agradável ao aluno.

LARVIN (2009) descreve as ferramentas de educação à distância desenvolvidas pelos *Surgical Royal Colleges* e pelo governo da Inglaterra, citando suas características principais e o impacto observado na implantações dessas como parte das atividades curriculares. Esforços iniciais realizados pelas universidades consistiam na disponibilização aos estudantes, via website, das apresentações e anotações utilizadas pelos professores em sala de aula. Atualmente, essa iniciativa é considerada apenas um recurso de distribuição de conteúdo (*e-resource*), onde o conceito de *e-learning* passou a ter um significado muito mais colaborativo, interativo e versátil. Nos ambientes virtuais de aprendizagem (*Virtual Learning Environment – VLE*), como são denominados, o assunto a ser explorado é adaptado aos diferentes dispositivos utilizados para a interação com o conteúdo (ex. smartphones, computadores portáteis, tablets, desktops), bem como ao perfil de estudo do estudante de medicina. O autor acredita que, devido ao volume elevado de atividades práticas no atendimento a pacientes, as ferramentas de educação a distância desenvolvidas representam uma alternativa importante para residentes de

cirurgia, que passam a poder acessar conteúdo relevante entre atendimentos no plantão, em casa ou em viagem.

Segundo LARVIN (2009), desde 2010, o Departamento de Saúde do Reino Unido (RU) é reconhecido como o maior provedor de cursos online da Europa. O *e-Learning for Healthcare*, programa nacional de educação a distância e educação continuada do RU, conta com 61 projetos educacionais (incluindo cirurgia) voltados às necessidades do serviço nacional de saúde (*National Health Service – NHS*). Para viabilizar o programa, o governo contou com a parceria de diferentes instituições de ensino e pesquisa da Grã-Bretanha (E-LEARNING FOR HEALTHCARE, 2013).

3.3 TELESSAÚDE NO BRASIL

No Brasil, as iniciativas em Informática em Saúde iniciaram na década de 70 (SABBATINI, 1998) com o estabelecimento dos primeiros núcleos de pesquisa com foco nessa temática. A Sociedade Brasileira de Informática em Saúde foi criada na década seguinte, em 1986, durante a realização do I Congresso Brasileiro de Informática em Saúde (SBIS, 2005).

Em 1989, com o objetivo de construir uma infraestrutura de rede Internet nacional de âmbito acadêmico, foi criada a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) (RNP, 2009). No ano seguinte, por meio da interação ministerial do MCT com o Ministério de Educação e Ministério da Saúde, a Rede passou a estimular atividades de telemedicina e telessaúde no país (SIMÕES et al., 2013).

Em janeiro de 2006, a Rede Universitária de Telemedicina (RUTE) foi criada sob a coordenação da RNP, dando subsídio para o estabelecimento, em março do mesmo ano, da Comissão Permanente de Telessaúde e, em janeiro de 2007, do Programa Nacional de Telessaúde na Atenção Primária, caracterizando um estágio de integração federal ministerial da telemedicina e telessaúde no Brasil. Em 2010, a Universidade Aberta do Sistema Único de Saúde (UNASUS) foi criada com o objetivo de capacitar continuamente profissionais de saúde do SUS. Atualmente, os três programas funcionam de forma integrada e em nível nacional, representando a ação do governo brasileiro para a implantação da telessaúde como ferramenta permanente na melhoria da saúde (SIMÕES et al., 2013).

3.3.1 TELESSAÚDE NA PUCRS

O Laboratório de Telessaúde do MicroG iniciou seu primeiro projeto em 2003 em Telecardiologia (SPARENBERG, 2005), ainda como núcleo de pesquisa, passando ao status de laboratório em 2006. Esse crescimento permitiu expandir o escopo de projetos, atividades e ações, incluindo telerradiologia, teledermatologia, telepatologia, teleodontologia, telecirurgia,

tele-oftalmologia e tele-educação (RUSSOMANO, THAIS et al., 2011). Atualmente, os projetos são divididos em quatro grandes áreas, que estão sempre interligadas: educação, assistência, pesquisa e biotecnologia.

3.3.1.1 *Telecirurgia na PUCRS*

Com intuito de melhorar o aprendizado dos alunos da Faculdade de Medicina da PUCRS nas disciplinas de cirurgia, foi estabelecido, em 2007, o projeto de telecirurgia. Por meio de um sistema analógico de transmissão de vídeo, as imagens capturadas por uma filmadora na sala cirúrgica eram visualizadas em uma televisão localizada em uma sala de aula. Dessa forma, foi possível disponibilizar aos alunos a visão do campo cirúrgico pela perspectiva do cirurgião, o que não era possível quando participavam da aula presencial (RUSSOMANO, T. et al., 2009).

Em 2013, o sistema foi atualizado pela Faculdade de Medicina, passando a utilizar sistemas de videoconferência em substituição ao sistema analógico. No entanto, o posicionamento correto da câmera e as configurações da mesma, bem como o acesso à biblioteca de vídeos adquiridos, ainda se apresentam como um desafio, motivando, assim, o desenvolvimento do presente projeto de mestrado.

4 MATERIAIS

Diferentes equipamentos, softwares, componentes eletrônicos e periféricos foram necessários para o desenvolvimento do projeto. Esse capítulo busca elencar os principais materiais utilizados, descrevendo suas características.

4.1 SOFTWARE

Devido à abrangência do projeto, diferentes softwares foram utilizados, incluindo IDEs, aplicativos de desenho e simulação de peças mecânicas e de circuitos elétricos, gerenciadores de referências, compressores de vídeo e servidores de mídia:

- Altium Designer 2013 (versão 13.2.5)
Software de desenho, simulação e modelagem de circuitos elétricos, utilizado também no desenvolvimento de PCIs.
- Cliever Lab Pro (versão 3.1)
Aplicativo para manipulação de arquivos, configuração e visualização de impressões 3D de equipamentos Cliever.
- DSLR Controller (versão 0.99.5)
Software de controle remoto para máquinas fotográficas Canon EOS DSLR.
- EndNote X7 (versão 7.1)
Gerenciador de referências para redação de textos acadêmicos e científicos.
- Canon EOS Utility (versão 2.14.1)
Solução para controle remoto de Câmeras Canon EOS utilizando conexão USB.
- Jen's File Editor (versão 3.90)
Editor de texto utilizado na programação em linguagem C, o qual contém realce de sintaxe.
- MediaInfo (versão 0.7.69)
Visualizador de informações técnicas de vídeos em diferentes formatos.
- Microsoft Visual Studio 2012 (versão 11.0.61030.00)
IDE para a prototipação de aplicações voltadas à desktop e web, a qual possibilita a utilização de diferentes linguagens de programação;

- MSPGCC (versão 3.2.3)
Compilador de linguagem C para linguagem de máquina utilizado na programação de microcontroladores da família MSP430.
- Orcad® (versão 10.3)
Software de desenho, simulação e modelagem de circuitos elétricos, utilizado também no desenvolvimento de PCIs.
- Proteus 8 Professional (versão 8.0)
Software utilizado para a simulação e teste de diferentes circuitos eletrônicos;
- Servidor de Streaming Wowza (versão 4.0.4)
Servidor multiformato e multiplataforma de mídia.
- SolidWorks® 2014 (versão 2014)
Ferramenta para o desenvolvimento de peças mecânicas em 2D e 3D, a qual permite realizar tipos diferentes de simulações (ex. mecânica dos sólidos, dos fluídos, etc);
- Sorenson Squeeze (versão 9.0.2)
Aplicativo de compactação e conversão de vídeos para publicação, o qual dispõe de uma ampla diversidade de formatos e ferramentas.
- SQL Server Express 2014 (versão 2014)
Sistema gratuito de gerenciamento de dados, desenvolvido pela Microsoft, utilizado como padrão para as aplicações desenvolvidas em plataformas como ASP.NET.
- SQL Server Management Studio (versão 11.0.3128)
Gerenciador de banco de dados SQL, o qual permite sua administração e manuseio.

4.2 EQUIPAMENTOS DE BANCADA

Para os testes dos circuitos eletrônicos, foram usados equipamentos de análise e geração de sinais, fontes de alimentação, ferramentaria de bancada, equipamentos de prototipação de PCIs e peças mecânicas. Entre outros, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Estação de retrabalho – Weller
Equipamento usado na soldagem e remoção de componentes nas PCIs.
- Fonte de alimentação simétrica ICEL PS-5100
Fonte para alimentação com duas unidades integradas, capazes de trabalhar ligadas em série ou paralelo. Características técnicas: 1) série: 0~60V e 0~3A; 2) paralelo: 0~30V e 0~6A.
- Fresa CNC PLKF S63 do Laboratório de Ensino de Eletrônica – LEE
Ferramenta de prototipação das PCIs, capaz de fazer placas em uma ou duas camadas.
- Gerador de funções - BK Precision® 4052 (40 MHz)
Ferramenta empregada para gerar sinais de teste e validar o funcionamento dos circuitos.
- Gravador para MSP430 da Texas Instruments
Hardware utilizado na gravação de firmware da linha MSP430.
- Impressora 3D - Cliever CL1
Periférico que possibilita a confecção de peças mecânicas, como engrenagens, buchas, etc.
- Osciloscópio - Tektronix® TPO 2025 (200 MHz - 4 canais)
Equipamento usado para medição de sinais variantes no tempo.
- Tacômetro Digital – Minipa MDT-2238A
Instrumento para medição de velocidade dos servo-motores.

4.3 ELEMENTOS UTILIZADOS NO PROJETO

Para a construção do eSurg-Arm, foram necessários servo-motores, estruturas mecânicas, componentes eletrônicos, cabos e outros materiais e equipamentos.

4.3.1 Carro para Soro Hospitalar

Consiste de um suporte móvel, contendo quatro rodízios, que é utilizado para a acomodação e transporte de bolsa de soro. Permite, também, o deslocamento de um paciente durante a administração de medicamentos (Figura 8).

Figura 8 – Carro para soro hospitalar



Dimensões: 780 mm x 780 mm x 1060 mm
 Fonte: Cardoso (2014)

4.3.2 Conector Samsung USB ET-R205UBE

O conector ET-R205UBE permite a smartphones e tablets da marca Samsung conectarem periféricos via USB, podendo ler e gravar arquivos e/ou acessar funcionalidades (quando disponíveis) em outros dispositivos.

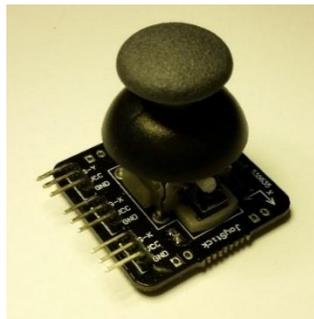
4.3.3 Fonte de Alimentação Kolke

A fonte de alimentação ATX Kolke possui 350W de potência real, com saídas em 3,3V (18A), 5V (22A) e 12V (16A).

4.3.4 Joysticks Biaxial do tipo PS2

Consiste de um joystick biaxial com duas saídas analógicas (eixos X e Y) e uma saída digital (*push bottom*) (Figura 9). Utilizado para realizar a movimentação do suporte articulado e do *Pan/Tilt/Roll/Zoom*.

Figura 9 - Joystick Arduino Biaxial PS2



Fonte: Cardoso (2014)

4.3.5 Máquina Fotográfica DSLR Canon EOS 600D

A máquina fotográfica Canon EOS 600D (Rebel T3i) Kit 18-55mm F3.5-5.6 captura imagens paradas com até 18 megapixels (5184 x 3456 pixels) e vídeos com resolução de até 1920 x 1080 pixels (60, 50, 30, 25, 24 fps), utilizando um sensor em formato APS-C (22,3 x 14,9 mm). Na compressão de vídeos, que podem ter uma duração máxima de 29min e 30sec cada (ou tamanho máximo de 4GB), utiliza o padrão H.264 (MPEG-4).

4.3.6 Monitor LG Flatron E2250

Monitor *widescreen* de 21,5 polegadas, com resolução máxima de 1920 x 1080 pixels e entrada HDMI.

4.3.7 Notebook Samsung Série 5 Ultra

O Notebook Samsung modelo NP530U3C-AD5BR possui processador Intel® Core™ i7 3517U (1.90 GHz, 4 MB L3 Cache), tela 13.3" LED HD 16:9 antirreflexiva, bateria de quatro células, uma porta HDMI, duas portas USB 2.0 e uma porta USB 3.0.

4.3.8 Rodízios Colson Performa – Série 12

O rodízio consiste de um material do tipo termoplástico macio de alta resistência ao desgaste e absorção de choques, com núcleo do tipo polipropileno. Podendo ser construído em diferentes formatos de acoplamento. Sua especificação garante suportar cargas de até 65Kg.

4.3.9 Servo Motores

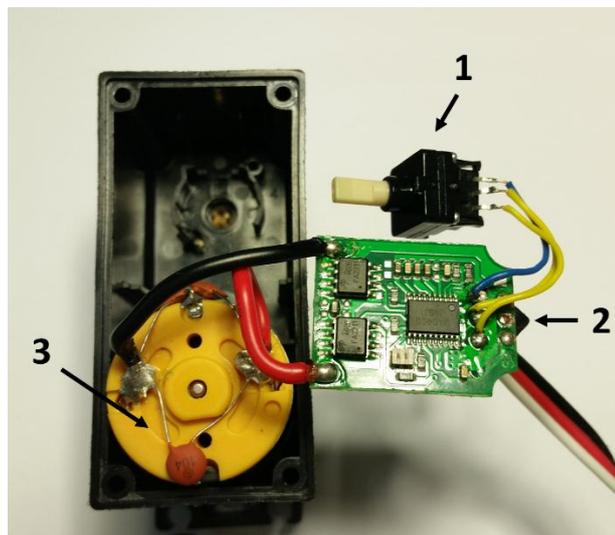
Dois tipos de servo-motores foram utilizados no desenvolvimento do projeto, dos quais o Tower Pro MG995 foi usado na construção do *Pan/Tilt/Roll/Zoom*, enquanto que o Vigor VSD-11AYMB foi usado na movimentação do suporte articulado. As características desses servo-motores estão resumidas como:

- TOWER PRO MG995
 - Velocidade angular (sem carga): 5,23rad/seg (314 rpm)
 - Dimensões: 54mm x 44mm x 20mm
 - Tensão de operação: 3V à 7,2 V
 - Corrente de Operação: 100mA
 - Peso: 60g

- Torque: 10 kg/cm à 13kg/cm
- Amplitude de movimento: 180°
- Vigor VSD-11AYMB
 - Velocidade angular (sem carga): 1,23rad/seg (74 rpm)
 - Dimensões: 60mm x 29,1mm x 54,3mm
 - Tensão de operação: 6V à 7,2V Volts
 - Corrente de Operação: 400mA - 500mA
 - Peso: 150g
 - Torque: 26kg/cm à 35kg/cm
 - Amplitude de movimento: 2160°

Como ilustrado na Figura 10, esse servo-motor utiliza um potenciômetro interno (Figura 10.1) para realimentar seu sistema de controle em malha fechada (Figura 10.2) com a posição do mesmo, cujo sinal de erro aciona o motor DC (Figura 10.3) por meio de uma ponte H.

Figura 10 – Servo-motor Vigor VSD-11AYMB



1) Potenciômetro multivoltas; 2) Circuito de controle; 3) Motor DC.
Fonte: Cardoso (2014).

4.3.10 Smartphone Galaxy S5

O Samsung Galaxy S5 possui processamento Quad-Core de 2,5 GHz com memória RAM de 2GB, utilizando o sistema operacional Android. Conta ainda com uma tela de 5,1” (129,4mm) com resolução de 1920 x 1080 e uma bateria de 2800 mAh (autonomia de 12h). Pesa 145g com um tamanho de 142 x 72,5 x 8,1 mm.

4.3.11 Suporte Articulado

Suporte articulado, utilizado no posicionamento de foco odontológico, o qual possui três graus de liberdade para sua movimentação (Figura 11). Permite a passagem de cabos por dentro de sua estrutura e possui uma mola interna ajustável, a qual age com um contrapeso para a articulação com movimentação no eixo Z.

Figura 11 – Suporte articulado seminovo.



Fonte: Cardoso (2014)

4.4 PRINCIPAIS COMPONENTES ELETRÔNICOS

Dois microcontroladores foram utilizados no projeto, sendo o MSP430F2619 usado no desenvolvimento do hardware principal e o MSP430F2013 na construção de um driver para servo-motores.

A escolha do microcontrolador MSP430F2619 teve como base a sua ferramenta gratuita de desenvolvimento (MSPGCC), a quantidade de memória flash e RAM e sua velocidade de processamento (62,5 ns/ciclo), suficientes para a aplicação desejada. Adicionalmente, o componente tem um consumo de corrente de 250uA/MHz, requerendo poucos componentes externos e necessitando de apenas 2 resistores para implementar a ferramenta de gravação. Necessita apenas de um conector para a gravação do firmware,

dispensando a utilização de um gravador externo. Esse microcontrolador tem um conversor A/D de 12bits tipo SAR, oito entradas analógicas, 64 pinos de I/O, nove saídas de PWM e duas portas seriais.

O MSP430F2013 foi selecionado por ter um tamanho reduzido (6,20 x 5,10mm), seu consumo de apenas 220 μ A a 1 MHz, sua memória de 2Kb (suficientes para a aplicação) e sua velocidade de processamento de (62,5 ns/ciclo), igual ao MSP430F2619. Possui conversor A/D de 16bits, 8 pinos de I/O, 2 saídas de PWM, 4 entradas analógicas e 1 porta serial.

Na construção das estruturas mecânicas e na fixação dos circuitos eletrônicos, foi necessária a utilização de chapas e tarugos de alumínio naval 5052 e aço carbono 1020. Já o desenvolvimento do circuito eletrônico utilizou resistores, capacitores, LEDs, reguladores de tensão, cristais, conectores, potenciômetros de precisão e um display gráfico monocromático 128x64. Cabos HDMI e USB foram empregados na conexão da câmera fotográfica Canon com o monitor LG e com o celular Samsung Galaxy S5 respectivamente.

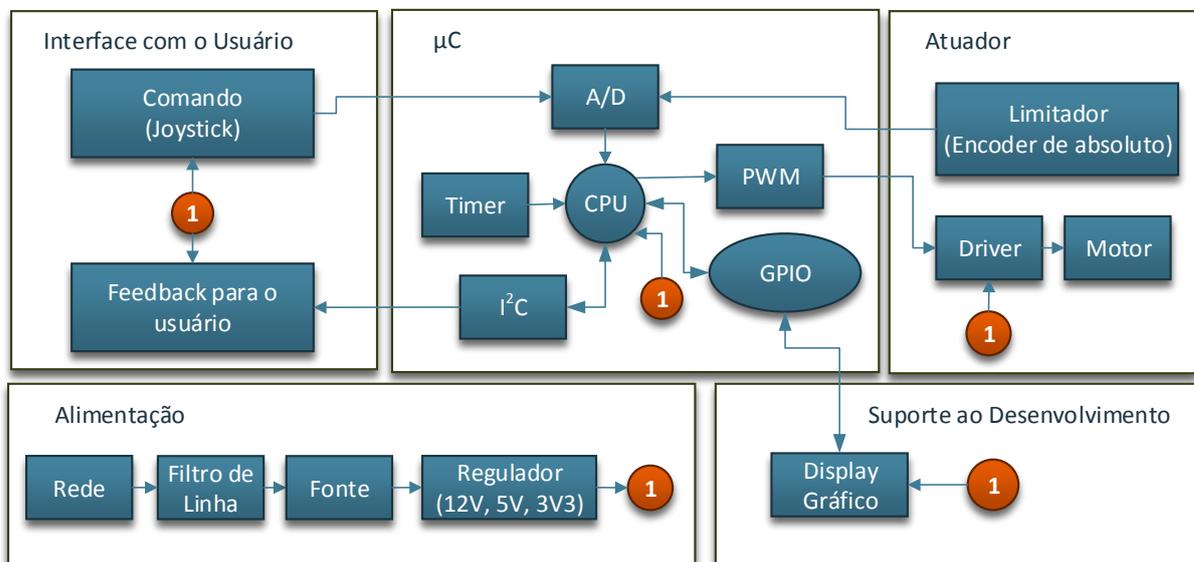
5 MÉTODOS

O desenvolvimento do presente projeto foi dividido em três partes distintas. Os próximos três subcapítulos abordam cada etapa percorrida e apresentam seus testes realizados.

5.1 DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA POSICIONAMENTO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS EM SALA CIRÚRGICA – ESURG-ARM

Esta etapa do projeto contemplou o design, a simulação, a prototipação e a realização de ensaios de hardware, software e de mecanismos e peças mecânicas. No design, foram, inicialmente, especificados os blocos lógicos do eSurg-Arm (Figura 12).

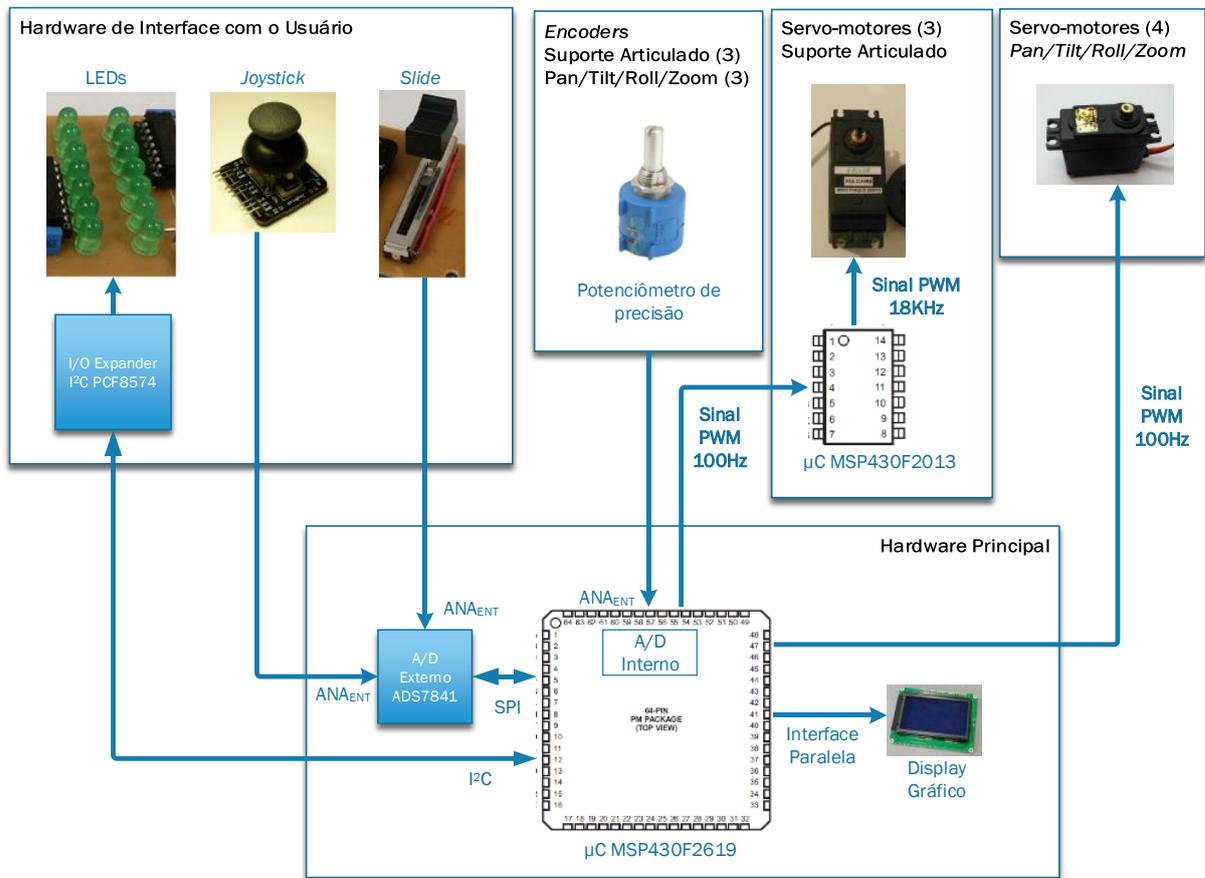
Figura 12 – Diagrama de projeto do eSurg-Arm



Fonte: Cardoso (2014)

Com base nesse design, foram desenvolvidas as diferentes partes da instrumentação e controle que compõe o equipamento, como pode-se identificar no diagrama retratado na Figura 13, o qual foi dividido em suporte articulado com base móvel e sistema de *Pan/Tilt/Roll/Zoom*.

Figura 13 – Diagrama da instrumentação e do controle do eSurg-Arm



1) Hardware principal; 2) Hardware de interface com o usuário; 3) Servo-motores e drivers de potência utilizados na automatização do suporte articulado; 4) Servo-motores utilizados na automatização do *Pan/Tilt/Roll/Zoom*; 5) Potenciômetros multivolts de precisão utilizados como *encoders* de posição absoluta;
 Fonte: Cardoso (2014)

5.1.1 Instrumentação e controle do eSurg-Arm

Essa etapa foi responsável pelo desenvolvimento de hardware e software, sendo dividida em Design, Prototipação, Programação e Emulação, descritos a seguir.

5.1.1.1 Design dos circuitos

Para viabilizar o uso do eSurg-Arm, foram confeccionados dois circuitos, um de controle e instrumentação e outro de interface com o usuário, os quais possibilitam ao usuário movimentar os sete graus de liberdade do suporte articulado e do *Pan/Tilt/Roll/Zoom* de acordo com a necessidade.

O hardware principal (Figura 13.1), responsável pelo controle de todos os sistemas, foi desenhado com base no microcontrolador MSP430F2619 para o processamento dos sinais, utilizando um display gráfico monocromático de 128x64 pixels para visualização das variáveis do programa. Para a leitura dos diferentes sinais de entrada, foram utilizados nove canais analógicos de 12 bits, divididos entre o conversor A/D interno do µC MSP430F2619 (seis

entradas) e o conversor externo ADS7841 (três entradas). O controle dos servo-motores empregou sete saídas PWM, aplicando um padrão utilizado internacionalmente para o comando de servo-motores de rádio controle, cujo período é de 10ms, com uma variação de *duty cycle* de 10% a 20%. Assim, para o projeto, os servos foram reconfigurados para variarem sua velocidade e sentido de rotação de acordo com o sinal PWM recebido: 1) 15% de *duty cycle*, o servo encontra-se parado; 2) o incremento do *duty cycle* de 15% para 20%, resulta no aumento da velocidade em sentido horário; 3) o decremento de 15% para 10% promove o decremento da velocidade em sentido anti-horário.

Para controle do sistema pelo usuário, um hardware de interface (Figura 13.2) foi desenvolvido, possuindo dois *joysticks*, um potenciômetro do tipo slide e duas colunas de sete LEDs.

Na comunicação entre as PCIs, optou-se pelo uso do barramento I²C no acionamento dos LEDs, sendo instalada a porta paralela I²C PCF8575 para viabilizar esta conexão.

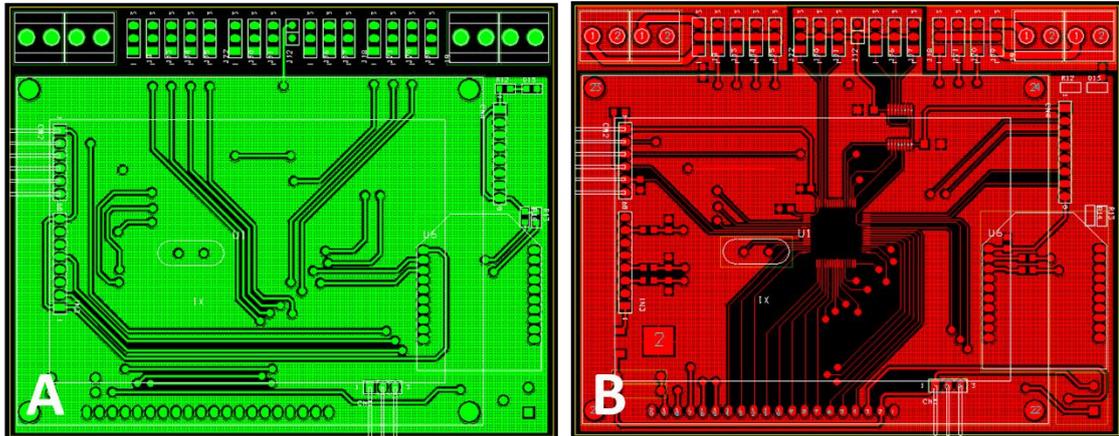
Seis potenciômetros multivoltas de precisão (Figura 13.5) foram empregados como *encoders* absolutos para a determinação da posição de cada eixo do suporte articulado e do *Pan/Tilt/Roll/Zoom*, servindo ainda como referência para a implementação das proteções de fim-de-curso.

Devido ao ruído presente no circuito, provocado pelo chaveamento do motor CC, foi necessário acrescentar um circuito de filtro na alimentação, bem como, adicionar diodos de roda livre nos terminais do motor, de modo a diminuir o surto de corrente.

5.1.1.2 A Prototipação

As placas de circuito impresso (PCIs) dos dois hardwares foram desenhadas no software SolidWorks®. A PCI do hardware principal foi elaborada em duas camadas (Figura 14), enquanto a da interface com usuário foi feita em apenas uma (Figura 15). Foi utilizado um plano GND na confecção do *layout* e, para a confecção da placa, o dimensionamento da PCI de duas camadas teve como base o tamanho do display gráfico, o que orientou a disposição de todos os demais componentes, alocando os conectores na borda do circuito, fora da área do display. Na confecção das placas, foi utilizada a fresadora CNC PLKF S63 do Laboratório de Ensino de Eletrônica – LEE da Faculdade de Engenharia da PUCRS.

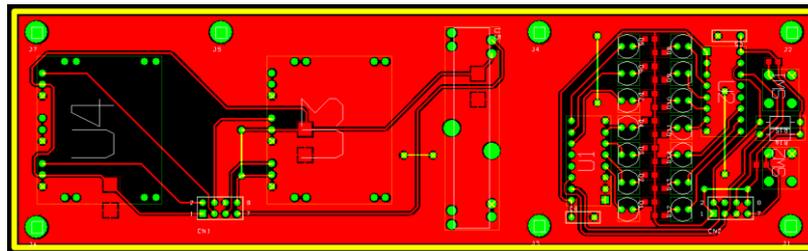
Figura 14 - Layout do PCI do hardware principal, produzido no software Orcad®



(A) camada superior; (B) camada inferior.
Fonte: Cardoso (2014).

Em ambas as PCIs, foi feita a deposição de uma liga de estanho/chumbo sobre a superfície de cobre das mesmas.

Figura 15 - Layout da PCI do hardware da interface com usuário, produzido no software Orcad®



Fonte: Cardoso (2014).

5.1.1.3 A Programação em linguagem C

A linguagem C foi escolhida para o desenvolvimento do programa de controle do suporte articulado, tendo sido utilizado o software Jen's File Editor e o *Boot Strap Loader* (hardware interno do MSP430F2619) para o upload do firmware.

As principais configurações utilizadas no microcontrolador MSP430F2619 foram:

- *Clock* – Ajustar as três fontes de *Clock* principais do μ C.
 - ACLK = 32768 Hz;
 - MCLK = 16MHz;
 - SMCLK = 16MHz.

Observação: No reset, estas três fontes são ajustadas em 1MHz para economia de energia (250 μ A/MHz).

- Conversor A/D Interno – É necessário configurar a porta do μ C, a tensão de referência, o número de entradas, o modo de operação (único ou repetitivo), o tempo de *sample/hold* e de conversão (totalizando o tempo de amostragem do sinal).
 - Tensão de referência de 2,5V;
 - Resolução de 12bits;
 - Leitura em sequência de 6 portas;
 - Tempo de *sample/hold*: 8 ciclos de *clock* do conversor (40us).
 - Entrada do tipo *single-ended*

Observação: No reset, o A/D e a tensão de referência são desativados para economia de energia, enquanto a porta do μ C é configurada como entrada digital (GPIO). Sem essa configuração, o A/D do μ C não funciona.

- Timer A e B – saídas PWM – É necessário configurar os Timers A e B, definindo quais portas de saída serão utilizadas por estes, o modo de operação (quatro modos distintos e sete configurações de saída), a fonte de *clock* (interna ou externa, rápida ou lenta), o tamanho da contagem e os ajustes de tempo alto e tempo baixo do PWM.
 - Tipo de saída: *reset/set*
 - Saídas independentes;
 - Fonte de Clock: SMCLK;
 - Modo de contagem *Up Mode*;
 - Atualização do *duty cycle* do PWM foi feito por interrupção sincronizada, com o início de cada período do PWM.

- Valor máximo para contagem do registrador principal de 16 bits: 20.000 – valor que corresponde a 100% de *duty cycle* (10ms);

Observação: No reset, os temporizadores estão desativados (economia de energia) e as portas do μC estão configuradas como entradas digitais (GPIO), sendo necessária sua configuração para obtenção das funções do PWM.

Na integração dos joysticks, um algoritmo foi desenhado (Figuras Figura 16, Figura 17 e Figura 18) para realizar a leitura do A/D de 12 bits (valores de 0 à 4096) e para normalizar essa leitura de forma a coincidir com o intervalo estipulado para a variação do *duty cycle* do sinal PWM do servo-motor que está sendo controlado.

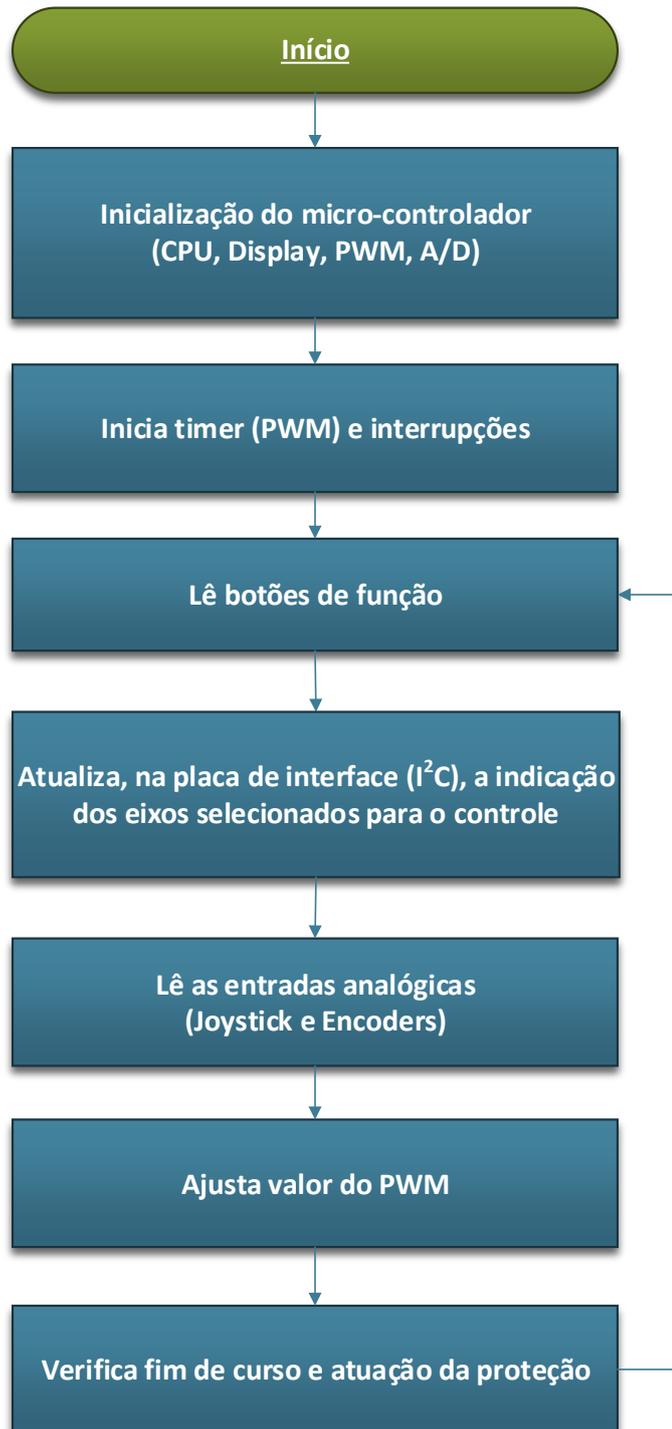
Para cada servo-motor, foi realizado um ensaio para estipular o valor máximo (VMAX), mínimo (VMIN) e de repouso (VSTOP) para o registrador PWM (REGPWM), de forma a definir os limites no qual o motor se encontra completamente parado e os valores que representem o início e o fim da rampa de velocidade utilizada para a movimentação do suporte articulado.

Levando-se em consideração que o valor lido pelo A/D (V_{AD}) quando o joystick se encontra solto (posição central) é de 2048 e com base nos valores definidos na lista de configurações do μC , a normalização se deu conforme as equações (1) (quando há incremento do *duty cycle*) e (2) (quando há decremento do *duty cycle*):

$$REG_{PWM} = V_{STOP} + \left(\left(\frac{V_{MAX} - V_{STOP}}{2048} \right) * (V_{AD} - 2048) \right) \quad (1)$$

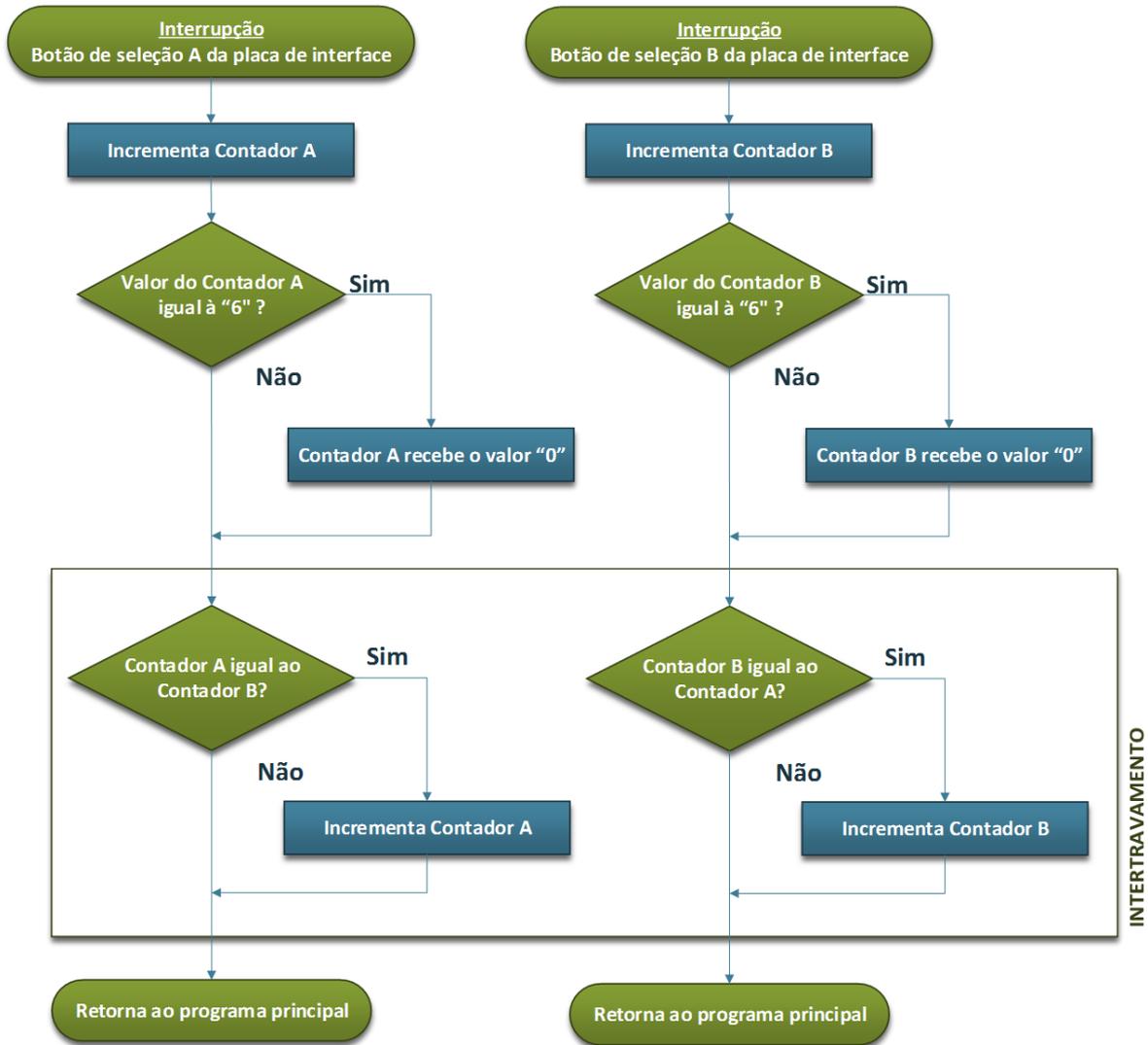
$$REG_{PWM} = V_{STOP} - \left(\left(\frac{V_{STOP} - V_{MIN}}{2048} \right) * (2048 - V_{AD}) \right) \quad (2)$$

Figura 16 - Diagrama de funcionamento do algoritmo principal desenvolvido para o MSP430F2619



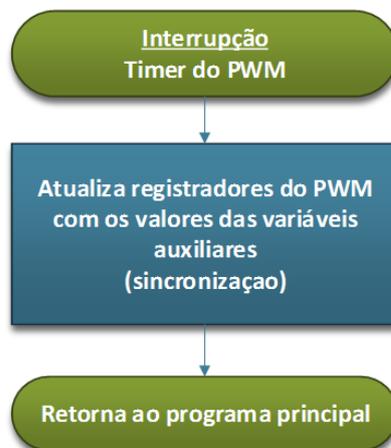
Fonte: Cardoso (2014)

Figura 17 - Diagrama de funcionamento do algoritmo da interrupção dos botões de seleção de servo-motor, com sistema de intertravamento, desenvolvido para o MSP430F2619



Fonte: Cardoso (2014)

Figura 18 - Diagrama de funcionamento do algoritmo da interrupção do timer do PWM, desenvolvido para ajuste do duty cycle no MSP430F2619

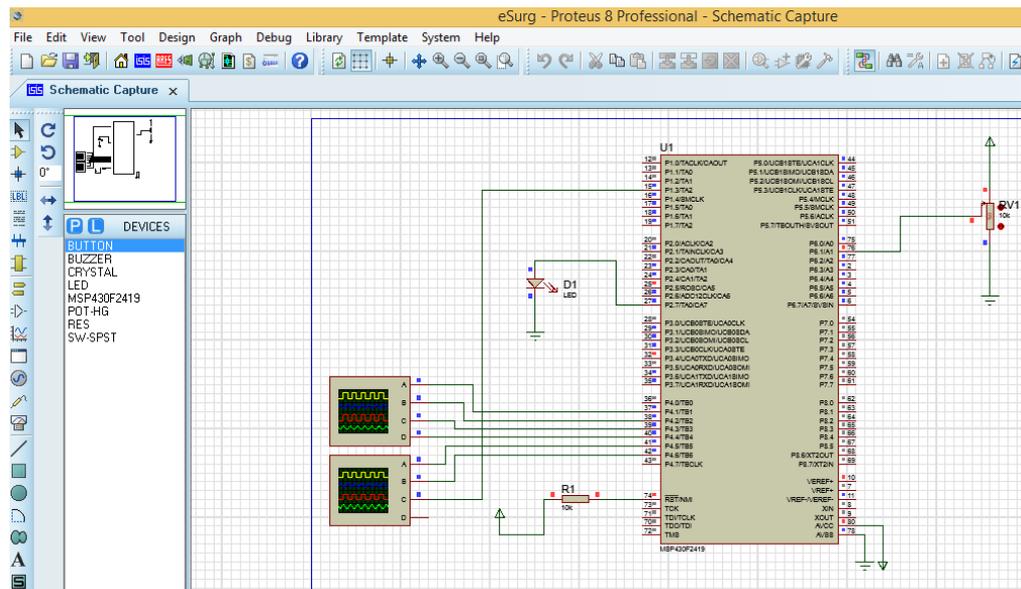


Fonte: Cardoso (2014)

5.1.1.4 Emulação de hardware

Durante a definição das configurações a serem utilizadas no μC , fase anterior à prototipação da PCI, o software Proteus 8 Professional foi usado como ferramenta de emulação de hardware, permitindo simular o funcionamento desse componente. Dessa forma, foi possível executar o código fonte desenvolvido (Figura 19) e, simultaneamente, testar o funcionamento elétrico do componente (Figura 20).

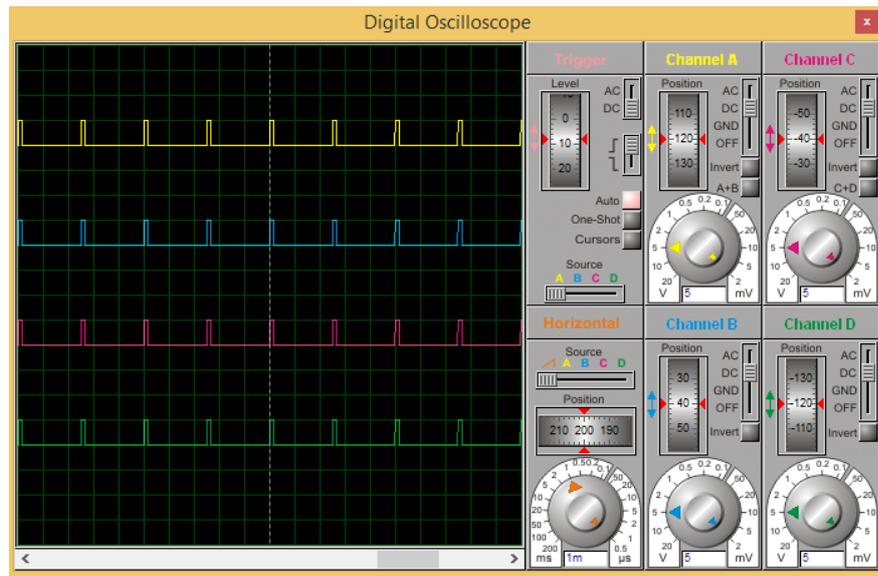
Figura 19 - Janela do software Proteus 8 Professional



Simulação do circuito em desenvolvimento da PCI do hardware principal, contendo o μC , um resistor e dois osciloscópios digitais para visualização dos PWMs gerados.
Fonte: Cardoso (2014).

O sinal gerado na saída dos PWMs do hardware principal foi simulado pela ferramenta, permitindo a verificação do comportamento do software quanto à variação dos sinais analógicos de entrada (*joysticks* e *encoders*), como pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 - Visualização dos sinais captados pelo osciloscópio digital apresentado na Figura 19.



Fonte: Cardoso (2014).

5.1.2 Processo de design e confecção de engrenagens

As engrenagens utilizadas no suporte articulado e no *Pan/Tilt/Roll/Zoom* do eSurg-Arm foram projetadas no software SolidWorks®, com base na velocidade angular e torque de cada servo-motor, bem como com o espaço disponível para instalação de cada engrenagem. Assim, buscou-se obter uma rotação adequada nos diferentes eixos automatizados, onde se estabeleceu uma relação de 5:1 entre as engrenagens de cada junta (conjunto servo-motor/eixo) presente no suporte articulado e nos eixos responsáveis pelo movimento da câmera do *Pan/Tilt/Roll/Zoom*.

Para definição do diâmetro bruto (d) e número de dentes (N) das engrenagens, a equação (4) foi utilizada:

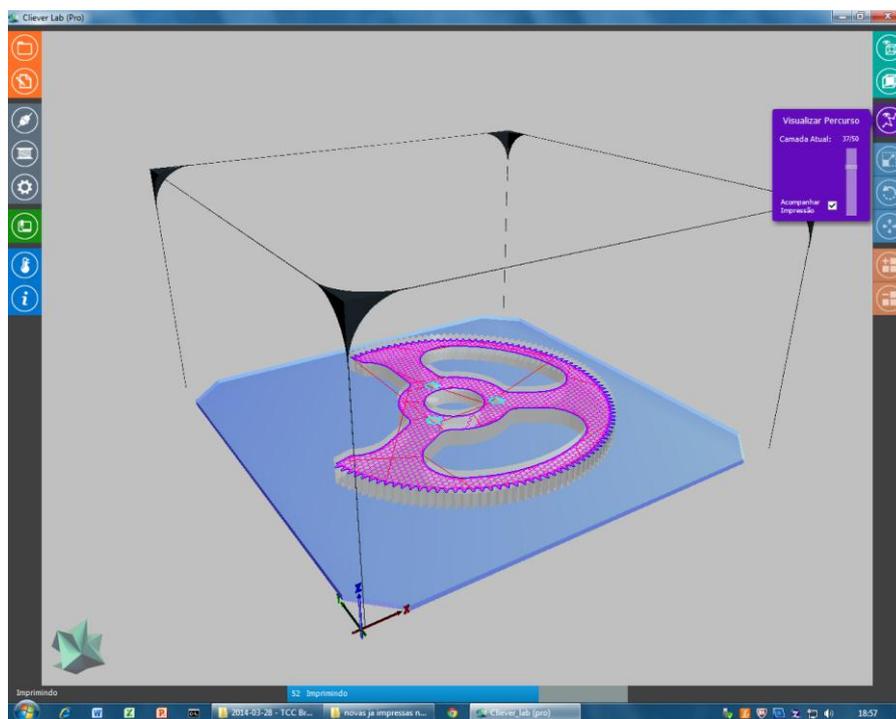
$$m = \frac{d}{N} \quad (3)$$

Onde m representa o módulo da engrenagem.

De forma a tornar o design mais simples, escolheu-se o módulo igual a um, o que determinou que o número de dentes é idêntico ao diâmetro bruto da engrenagem.

A impressão das engrenagens foi feita em PLA, utilizando-se a impressora 3D Cliever CL1 e o software Cliever Lab 3.1 (Figura 21).

Figura 21 - Janela do Software Cliever Lab 3.1 com o acompanhamento da impressão de uma das engrenagens do projeto.

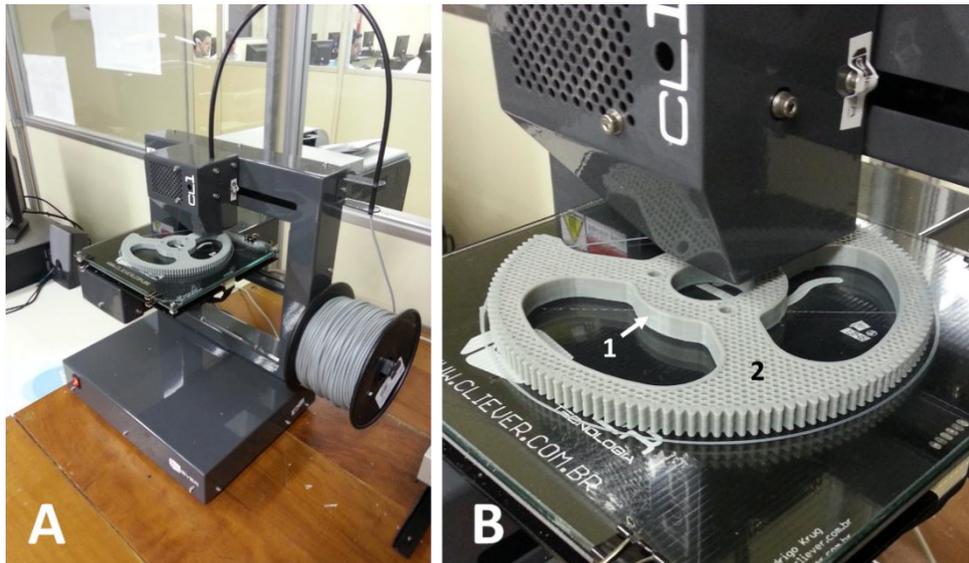


Fonte: Cardoso (2014).

Um estudo piloto foi realizado a fim de definir as melhores configurações da impressora 3D para a confecção das engrenagens (preenchimento da peça, velocidade de impressão e espessura da camada externa da peça - quantidade de perímetros). Com base nas orientações do fabricante, alguns grupos de configurações foram aplicados, permitindo avaliar a qualidade das peças impressas e os erros e/ou deformações encontradas.

A Figura 21 ilustra o processo de impressão de uma das engrenagens do protótipo, mostrando o caminho percorrido pela ponteira de impressão ao depositar PLA na superfície da peça conforme essa é impressa. Na Figura 22, a Cliever CL1 realiza a impressão da mesma engrenagem, onde é possível ver em detalhe o preenchimento da estrutura interna da peça, cujo formato (hexágonos) e espessura das camadas são ajustados nas configurações de preenchimento e perímetro da impressora.

Figura 22 - Impressora Cliever CL1 durante a impressão de uma engrenagem do projeto



(A) vista geral da impressora; (B) detalhe da peça em impressão: 1) camada externa da peça; 2) estrutura interna em forma de hexágonos.

Fonte: Cardoso (2014).

5.1.3 O suporte articulado com base móvel

Inicialmente, foi feita uma análise da altura e quantidade de eixos necessários para o suporte articulado por meio da mensuração do espaço disponível em sala cirúrgica, bem como das distâncias entre os equipamentos e móveis presentes no espaço. Para tanto, foi feita uma visita à sala cirúrgica do Hospital São Lucas da PUCRS, onde são feitas as transmissões de cirurgias.

De modo a facilitar a confecção da estrutura do protótipo, optou-se por adaptar equipamentos médico-hospitalares já existentes. Uma busca por diferentes suportes articulados foi feita junto a empresas de manutenção e revenda de equipamentos médicos e odontológicos, bem como no próprio Hospital São Lucas da PUCRS.

Um suporte articulado de foco odontológico (Figura 11) e um suporte para soro com base móvel (Figura 8), foram modificados mecanicamente, formando uma única estrutura (Figura 23), a qual foi automatizada dentro das necessidades do projeto.

Figura 23 – Imagem 3D da estrutura mecânica do eSurg-Arm, gerada no software SolidWorks®, ilustrado a base móvel e o suporte articulado.



Fonte: Cardoso (2014).

5.1.3.1 Adaptação e montagem da estrutura mecânica

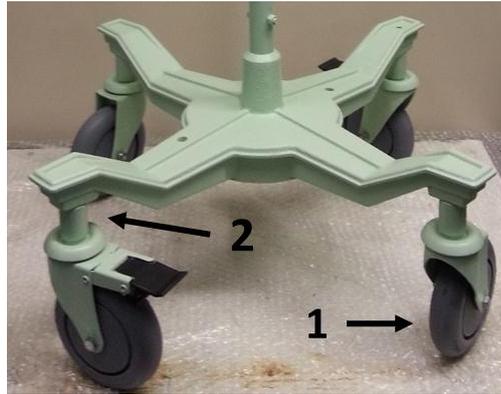
A partir das características definidas para a adaptação da estrutura mecânica, a base móvel e o suporte articulado foram inicialmente modificados de forma separada, para depois serem fixados juntos. Após a montagem, novas modificações foram realizadas a fim de garantir sua correta funcionalidade.

5.1.3.1.1 A base móvel

No processo de adequação da base, foi realizada a colocação de um contrapeso para contrabalançar o efeito de alavanca do suporte articulado, a preparação da base para fixação do suporte e a troca dos rodízios existentes.

O rodízio Performa – Série Leve 12 da Colson foi adquirido (Figura 24.1) para fazer a substituição. Adicionalmente, foi necessário confeccionar 4 tubos em aço carbono para afastar o rodízio da superfície inferior da base (Figura 24.2), pois o seu tamanho era incompatível com o espaço existente na estrutura.

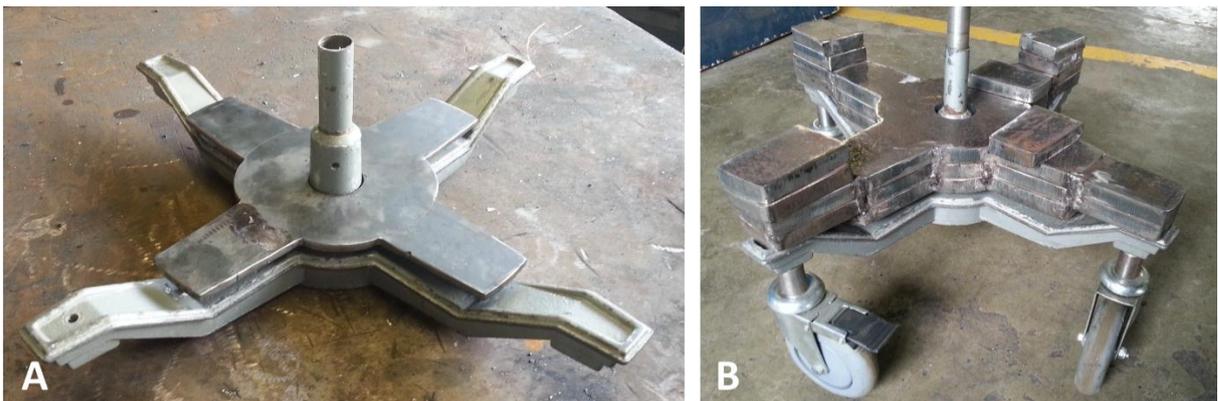
Figura 24 – Imagem da base do eSurg-Arm durante sua adaptação mecânica



1) Rodízios Performa da Colson; 2) tubo de aço carbono confeccionado para afastar o rodízio da base.
Fonte: Cardoso (2014).

Para garantir a estabilidade da base, quando submetida ao efeito do braço alavanca do suporte estendido (considerando-se uma massa de 7kg na extremidade), decidiu-se por fixar contrapesos com massa suficiente, sem que esta carga extra excedesse as especificações dos rodízios. A Figura 25.A ilustra o primeiro ensaio feito com a utilização de uma chapa de aço carbono com 10mm de espessura, contendo quatro hastes de 100mm de comprimento (a partir da circunferência), o qual demonstrou a necessidade de se aumentar o comprimento das hastes (maior efeito alavanca), bem como de uma quantidade maior de massa. No segundo ensaio (Figura 25.B), foram utilizadas três chapas de ferro fundido com 25,4mm de espessura cada, com hastes de 170mm de comprimento.

Figura 25 – Ensaio para definição do contrapeso a serem fixados na base

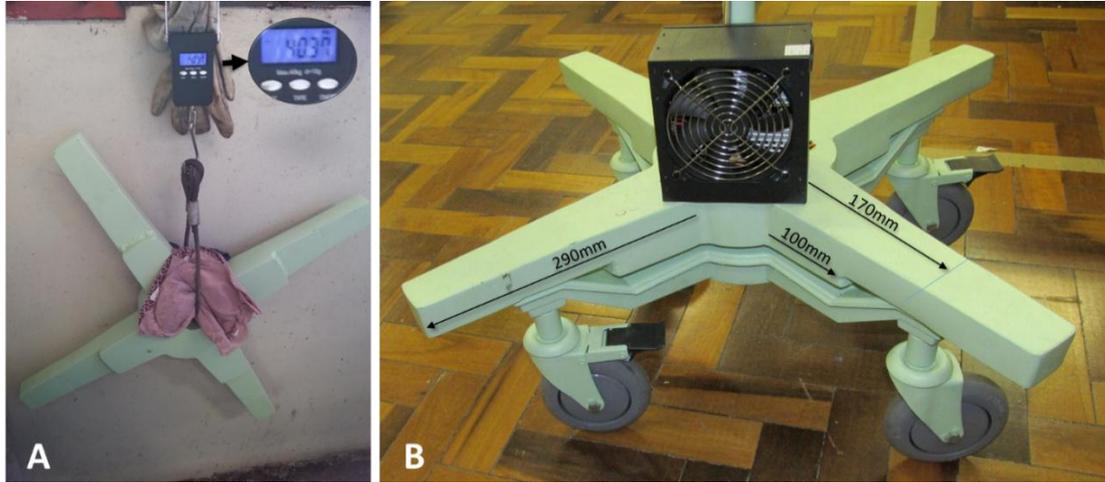


(A) Primeiro ensaio, com uma chapa de aço carbono de 10mm de espessura; (B) Segundo ensaio, com três chapas de ferro fundido com 25,4mm de espessura cada.
Fonte: Cardoso (2014).

O terceiro e último ensaio utilizou-se das mesmas três chapas do teste anterior, porém ampliando as hastes para 290mm. A massa do contrapeso somou um total de 40,37kg (Figura

26.A), sendo suficiente para garantir a segurança da estrutura. A Figura 26.B mostra o aspecto final do sistema de contrapeso e faz uma comparação dos diferentes comprimentos das hastes.

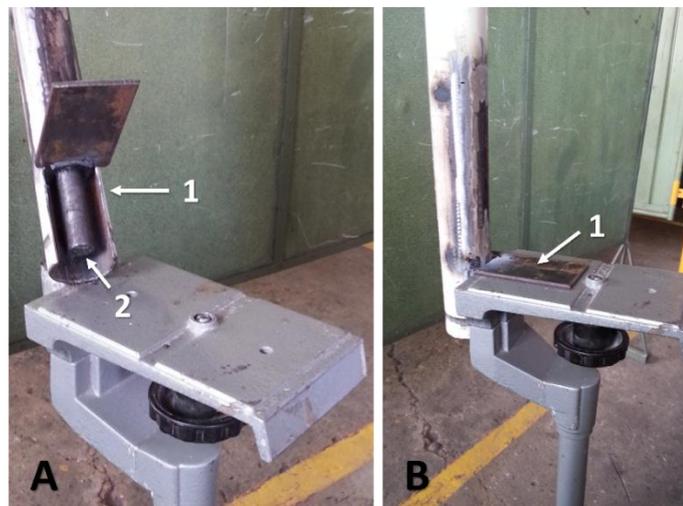
Figura 26 – Contrapeso da base do eSurg-Arm



(A) Aferição do peso total; (B) Medidas das extensões das hastes nos diferentes ensaios realizados.
Fonte: Cardoso (2014).

Com a adaptação da base do suporte articulável, buscou-se utilizar estruturas já presentes no mesmo de modo a permitir uma melhor fixação do sistema. Dessa forma, foi feita a abertura de uma janela na haste de sustentação do suporte (Figura 27.A.1) e a colocação de uma barra de ferro fundido para atuar como pino guia e de sustentação (Figura 27.A.2), não deixando folgas entre as peças. Uma chapa metálica também foi soldada à haste, para servir de apoio junto à plataforma presente na base (Figura 27.B.1).

Figura 27 - Adaptação do suporte articulável na base.

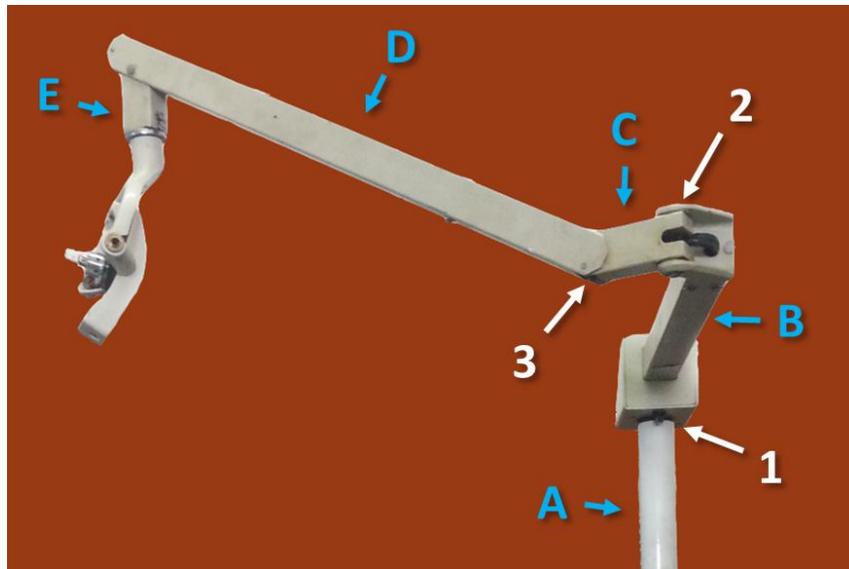


(A) Ilustração da adaptação realizada na haste do suporte: 1) Janela recortada para permitir o encaixe na base, 2) barra de aço utilizada como pino de sustentação; (B) Encaixe montado: 1) chapa de aço soldada a haste para oferecer maior fixação.
Fonte: Cardoso (2014).

5.1.3.1.2 *O suporte articulado*

Para a movimentação automatizada idealizada para o suporte articulado, foi projetado um sistema composto de servo-motores e *encoders* de posição absoluta, conectados às hastes de cada junta por meio de engrenagens e elementos de fixação. Diferentes soluções de ajuste mecânico foram propostas para adaptação desse sistema, tendo sido testadas e reavaliadas, resultando assim em etapas distintas de desenvolvimento. De forma a simplificar a identificação das diferentes partes do suporte, a Figura 28 ilustra a localização das juntas 1, 2 e 3 (flechas 1, 2 e 3) e das hastes A, B, C, D e E (flechas A, B, C, D e E) que compõe o suporte.

Figura 28 – Imagem do suporte articulado do eSurg-Arm, indicando todas as juntas e hastes que compõem o mesmo.

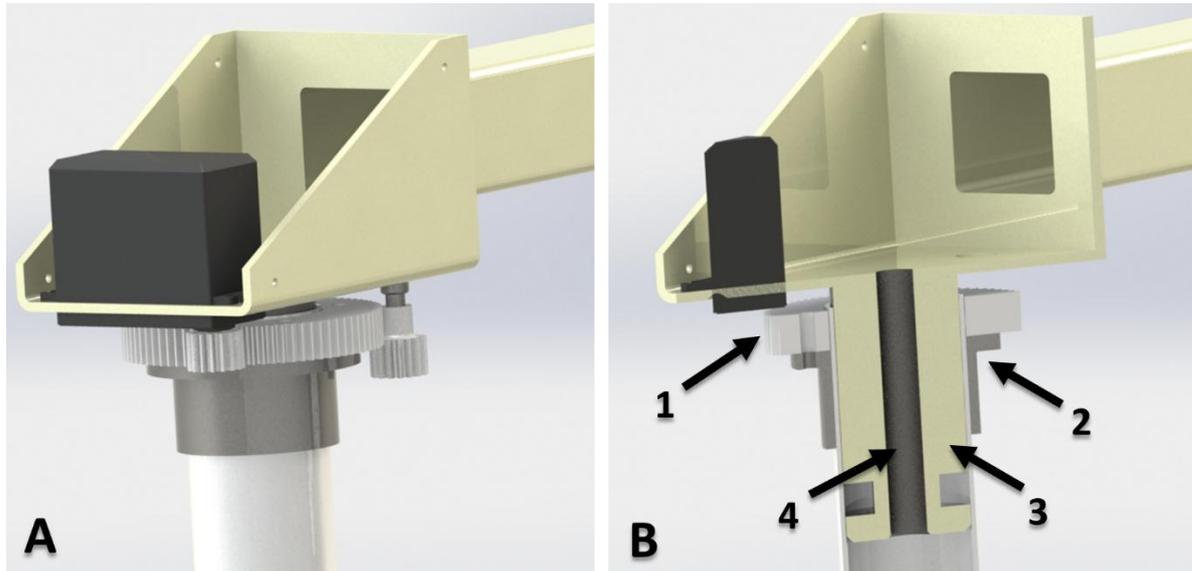


(A), (B), (C), (D) e (E), indicam as hastes, com, respectivamente, 970 mm, 540 mm, 90 mm, 900 mm e 90 mm de comprimento. 1, 2 e 3 indicam as juntas.

Fonte: Cardoso (2014).

Para adaptação da junta 1, decidiu-se por fixar uma engrenagem na haste A, enquanto o servo-motor e o *encoder* foram fixados em 1 (Figura 29.A).

Figura 29 – Imagem 3D gerada no software SolidWorks® da primeira adaptação realizada na Junta 1 do suporte articulado.



(A) Vista completa. (B) Vista cortada: 1) engrenagem, 2) bucha de aço carbono, 3) eixo da haste B, 4) passagem para cabos.

Fonte: Cardoso (2014).

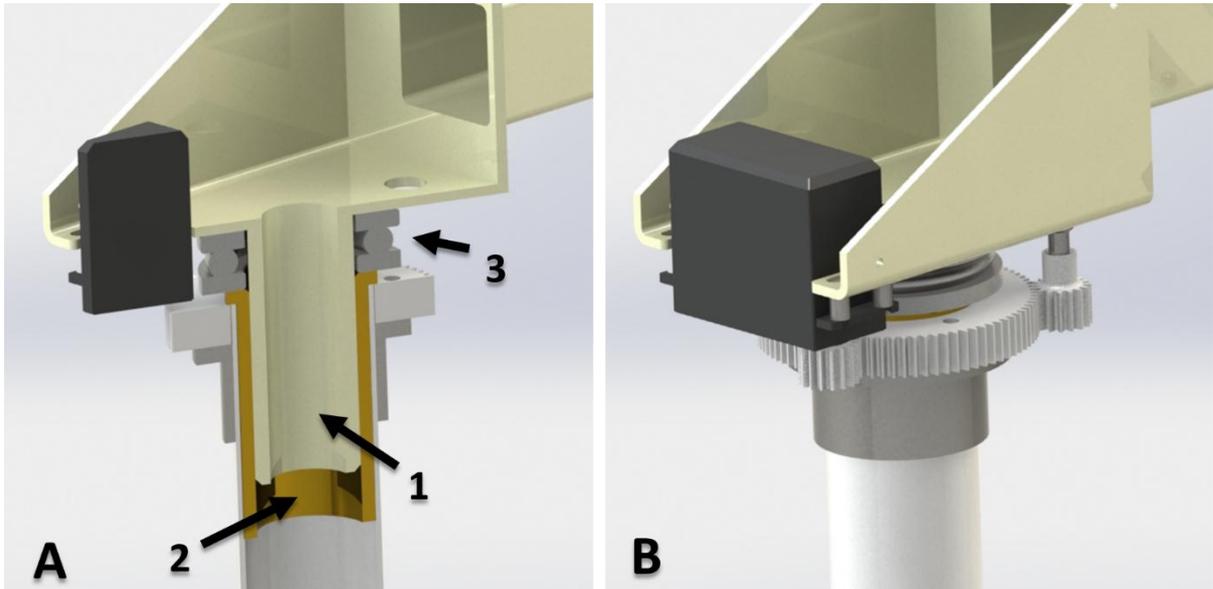
Foi então produzido o conjunto de peças, onde a engrenagem (80mm) foi fixada à haste A por meio de uma flange de aço carbono, conforme mostrado na Figura 29.B (flechas 1 e 2). Duas engrenagens (16mm) foram presas no servo e no *encoder* (Figura 29.A).

No apoio da haste A, foi necessário fazer um recorte retangular para o encaixe do servo-motor, e três furos oblongos, dois com 5mm de diâmetro por 20mm de comprimento para a fixação do motor por parafusos e um com 11mm de diâmetro por 10mm de comprimento para fixação do *encoder*.

Nos testes de rotação realizados, verificou-se uma velocidade variável do movimento da haste B. A avaliação do problema revelou desgaste tanto no eixo da haste B (Figura 29.B.3) quanto na superfície interna da haste A. Essa combinação era responsável por gerar um atrito não uniforme ocasionando uma movimentação irregular. Adicionalmente, observou-se que a carga sobre o eixo também era devida ao volume de cabos necessários para a instrumentação e controle, que foram passados pelo interior do eixo (Figura 29.B.4) provou ser incompatível com o espaço disponível.

Como solução, foi usinado um novo eixo com o dobro do diâmetro interno e um diâmetro externo menor (Figura 30.A.1), possibilitando a colocação de um calço em latão entre o eixo e a superfície interna da haste A (Figura 30.A.2). Finalmente, um rolamento axial foi adicionado entre a haste B e o calço como um elemento a mais de sustentação (Figura 30.A.3). A Figura 30.B ilustra o resultado final dessas alterações.

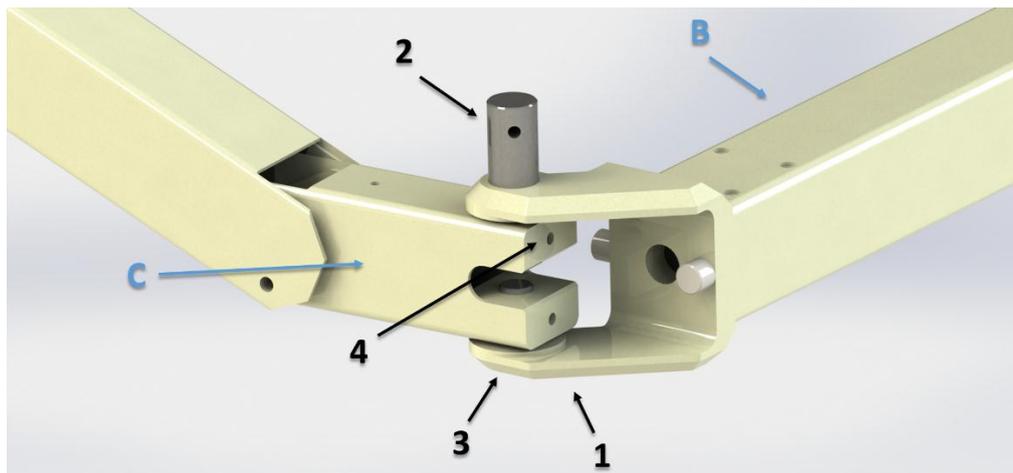
Figura 30 – Imagem 3D gerada no software Orcad® da segunda adaptação realizada na Junta 1 do suporte articulado.



(A) Vista cortada: 1) passagem para cabos, engrenagem, 2- calço em latão, 3- rolamento axial. B) Vista completa. Fonte: Cardoso (2014).

Na junta 2, a conexão entre as hastes B e C foi feita por um encaixe em forma de garfo (Figura 31.1). Dois parafusos são responsáveis por manter as peças unidas (Figura 31.2 e 30.3), porém mantendo a liberdade de movimento das hastes. Como resultado, ambos realizam o movimento junto com a haste C.

Figura 31 – Imagem 3D da Junta 2, ilustrando o encaixe das hastes e os elementos responsáveis

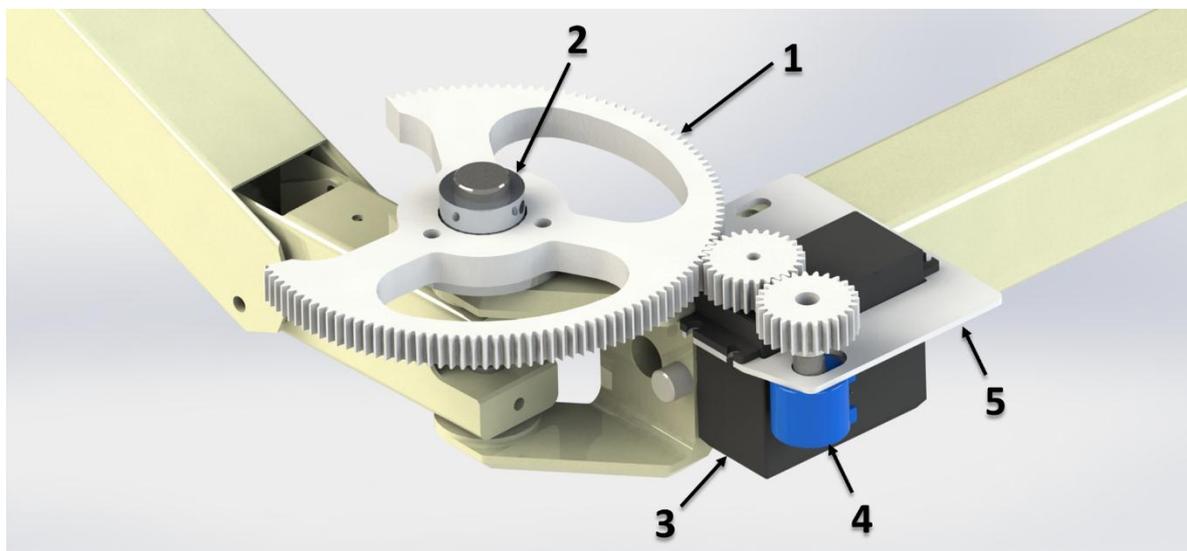


1) Encaixe em forma de garfo; 2) Parafuso modificado para adaptação da engrenagem; 3) Parafuso do encaixe; 4) Parafuso de fixação; C) Haste C; B) Haste B do suporte articulado. Fonte: Cardoso (2014)

Desta forma, para a adaptação, foi proposto substituir o parafuso localizado na face superior do encaixe por uma peça que permitisse fixar uma engrenagem (Figura 32.1) por meio

de uma bucha (Figura 32.2). Assim, o servo-motor (Figura 32.3) e o *encoder* (Figura 32.4) poderiam ser presos à haste B, com auxílio de um apoio confeccionado em alumínio naval (Figura 32.5).

Figura 32 – Imagem 3D da Junta 2, ilustrando a montagem dos elementos de controle.



1) Engrenagem; 2) Bucha de fixação da engrenagem; 3) Servo-motor; 4) *Encoder*; 5) Apoio para fixação do servo-motor e encoder.

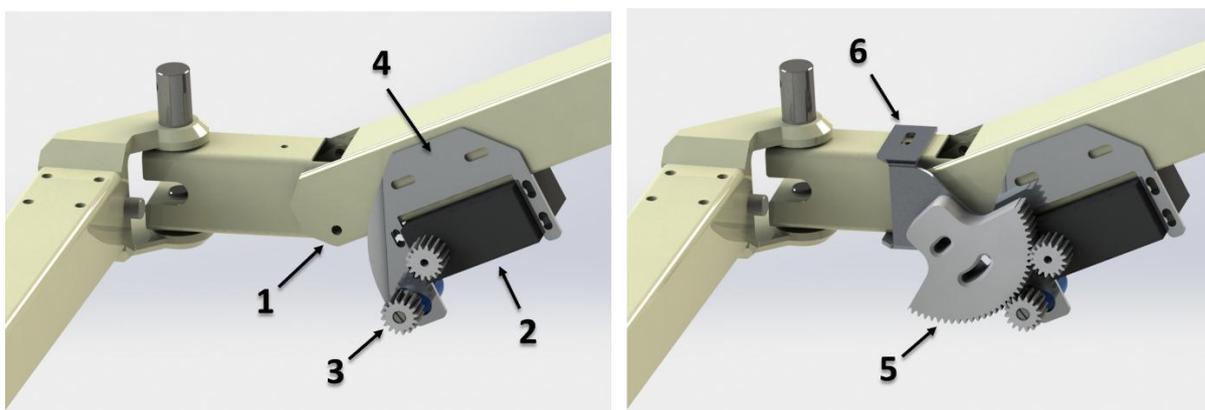
Fonte: Cardoso (2014)

O movimento restrito dessa junta, devido ao formato do encaixe entre as duas hastes e à presença do servo-motor na face lateral da haste B, motivou a criação de uma engrenagem semicircular (Figura 32.1) que se limitasse à amplitude de movimento existente.

O servo-motor (Figura 33.2) e o *encoder* (Figura 33.3) foram presos à haste D com auxílio de um apoio em alumínio naval de 2mm (Figura 33.4). Como solução para o eixo deslocado, foi confeccionada uma engrenagem semicircular com 80mm de diâmetro (Figura 33.5), fixada na haste C por meio de um apoio em alumínio naval com 2mm de espessura (Figura 33.6).

Com as juntas montadas, foram realizados testes de acionamento dos servo-motores para avaliação da integridade das engrenagens e apoios. Em cada teste, as hastes foram movimentadas na velocidade máxima determinada para cada junta, tendo a direção sido alternada de forma abrupta, múltiplas vezes.

Figura 33 – Imagem 3D da Junta 3, ilustrando a montagem dos elementos de controle.



1) Eixo deslocado em relação ao centro da haste D; 2) Servo-motor; 3) *Encoder*; 4) Apoio para fixação do servo-motor e *encoder*; 5) Engrenagem; 6) Apoio para fixação da engrenagem.

Fonte: Cardoso (2014)

5.1.3.2 Instrumentação e automatização

Para automatização das juntas do suporte, foi utilizado um servo-motor Vigor VSD-11AYMB. Adicionalmente, foi utilizado um potenciômetro multivoltas de precisão de 10k Ω como *encoder* de posição absoluta.

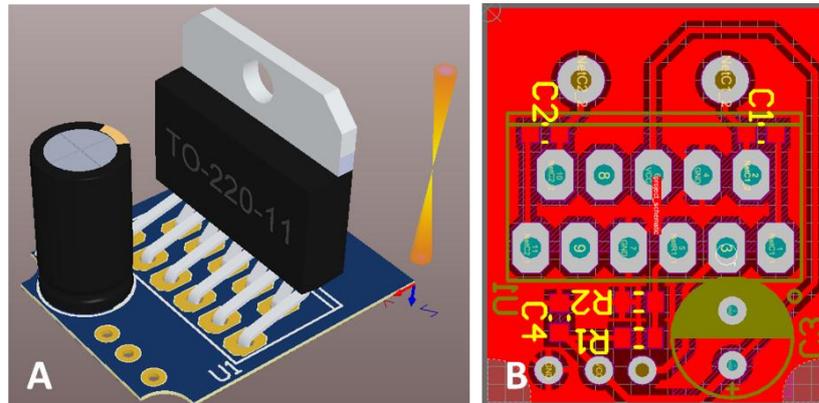
De forma a testar seu funcionamento, o mesmo foi conectado ao gerador de funções BK Precision® 4052, que forneceu o sinal PWM para seu acionamento, ao osciloscópio Tektronix® TPO 2025, que possibilitou visualizar o sinal aplicado, e à fonte de alimentação simétrica, que lhe forneceu energia. Uma carga mecânica variável foi imposta ao servo para avaliar seu desempenho quanto ao consumo de corrente e ao ruído gerado. Entretanto, durante os ensaios, o potenciômetro interno demonstrou fragilidade mecânica, levando o sistema de controle a um funcionamento intermitente e irregular.

Como solução, decidiu-se por substituir o potenciômetro por dois resistores de mesmo valor, fixando a referência do sistema de controle e, conseqüentemente, alterando o funcionamento do mesmo para trabalhar como “servo de velocidade”.

No entanto, a solução se mostrou apenas temporária devido ao mal funcionamento da ponte H do circuito, inutilizando o sistema de controle do servo-motor.

Desta forma, optou-se por se desenvolver um driver para o motor DC restante com uma ponte DRV8801 (Figura 34). O software Altium Designer® foi empregado para o projeto do circuito, tendo em vista que o mesmo possui uma variedade maior de ferramentas, como, por exemplo, a geração da vista em 3D. Esse recurso auxiliou na identificação de erros de projeto, como a verificação do tamanho dos componentes, os quais não poderiam ultrapassar as dimensões internas da caixa do servo-motor (29mm x 24mm x 27mm).

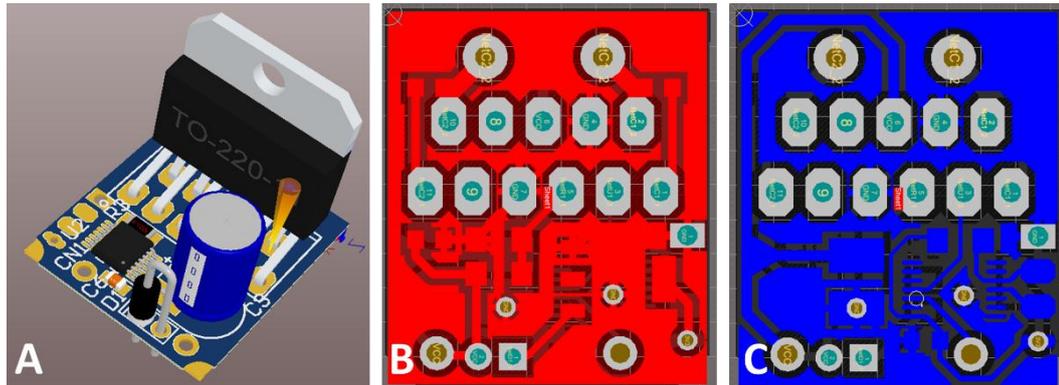
Figura 34 – Primeira versão do driver desenvolvido para substituir o circuito de controle do servo-motor Vigor VSD-11AYMB.



Dimensões: 27,5mm x 23,5mm x 22mm. (A) Simulação 3D; (B) Layout da PCI.
Fonte: Cardoso (2014).

De forma a testar a solução proposta, o circuito foi novamente ensaiado com o uso do gerador de funções BK Precision, do osciloscópio Tektronix e da fonte simétrica iCEL, verificando-se um consumo excessivo de corrente – 1,5A sem torque exigido – na frequência de trabalho dos PWMs (100Hz - período de 10ms). Por meio de diferentes ensaios, utilizando frequências variadas, verificou-se que era possível obter um consumo de apenas 200mA se o sinal PWM fosse alterado para uma frequência de 18KHz (limiar da audição humana), sendo a mesma escolhida para o projeto de um novo circuito de controle. De modo a compatibilizar os sinais necessários da ponte H com a padronização adotada para os servo-motores que trabalham com sinais PWM de 10ms(100Hz), decidiu-se por incluir um μC MSP430F2013 no circuito a ser desenvolvido para compatibilizar o sinal de controle recebido (100Hz) com o sinal de controle da ponte H (18KHz). Para essa versão da PCI, foi necessário utilizar uma placa com duas camadas devido ao aumento da complexidade do circuito, sendo colocado rebites nas vias de passagem e de alimentação a fim de fortalecer a resistência mecânica da mesma. A Figura 35 ilustra a vista 3D (A) e os *layouts* das camadas *bottom* (B) e *top* (C) do circuito.

Figura 35 – Segunda versão do driver desenvolvido para substituir o circuito de controle do servo-motor Vigor VSD-11AYMB.



Dimensões: 27mm x 23mm x 22mm. (A) Simulação 3D; (B) Layout da camada *bottom*; (C) Layout da camada *top*.

Fonte: Cardoso (2014).

Analogamente à programação do MSP430F2619, o desenvolvimento do software para o MSP430F2013 também utilizou a linguagem C, tendo sido escolhido o software Jen's File Editor como IDE de programação. Entretanto, para o upload do firmware, foi utilizado um gravador com interface do tipo spy – be – wire.

As principais configurações utilizadas no μ C MSP430F2013 foram:

- Clock: Ajustar as três fontes de *Clock* principais do μ C.
 - ACLK = 12000 Hz;
 - MCLK = 16028700 Hz (DCO);
 - SMCLK = 16028700 Hz (DCO).

Observação: No reset, estas três fontes são ajustadas em 1MHz para economia de energia (250 μ A/MHz).

- Timer A – saída PWM: É necessário configurar os Timers A e B, definindo quais portas de saída serão utilizadas por estes, o modo de operação (quatro modos distintos e sete configurações de saída), a fonte de *clock* (interna ou externa, rápida ou lenta), o tamanho da contagem e os ajustes de tempo alto e tempo baixo do PWM.
 - Tipo de saída: *reset/set*
 - Fonte de Clock: SMCLK;

- Modo de contagem *Up Mode*;
- Atualização do *duty cycle* do PWM foi feito por interrupção sincronizada, com o início de cada período do PWM.
- Valor máximo para contagem do registrador de 16 bits: 864 – valor que corresponde a 100% de *duty cycle* (56µs);

Observação: No reset, os temporizadores estão desativados (economia de energia) e as portas do µC estão configuradas como entradas digitais (GPIO), sendo necessária sua configuração para obtenção das funções do PWM.

De forma a determinar o *duty cycle* enviado pela saída PWM do MSP430F2619, o software desenvolvido para o MSP430F2013 utilizou a porta P1.1, configurada como I/O de entrada com interrupção ativada para borda de subida, para determinar o início de cada ciclo, realizando a contagem em µs tempo de nível lógico alto (conforme o software do MSP430F2619, a contagem poderia, então, variar de 1000 µs à 2000µs) (Figuras Figura 36, Figura 37 e Figura 38).

Assim, para realizar a conversão das frequências, foram utilizadas as equações (4) e (5).

Na equação (4), $Cont_{Ent}$ corresponde ao valor da contagem (em µs) do período de *duty cycle* da saída PWM do MSP430F2619, enquanto Reg_{PWM} corresponde ao valor do registrador PWM do MSP430F2013.

Na equação (5), λ_{servo} corresponde ao período (em µs) de *duty cycle* gerado pela saída PWM do MSP430F2013.

$$Reg_{PWM} = \frac{8*Cont_{Ent}}{10} + \frac{6*Cont_{Ent}}{100} + \frac{4*Cont_{Ent}}{1000} - 864 \quad (4)$$

$$\lambda_{servo} = \frac{(Reg_{PWM}*53,9)}{864} \quad (5)$$

Figura 36 – Diagrama de funcionamento do algoritmo principal desenvolvido para o MSP430F2013

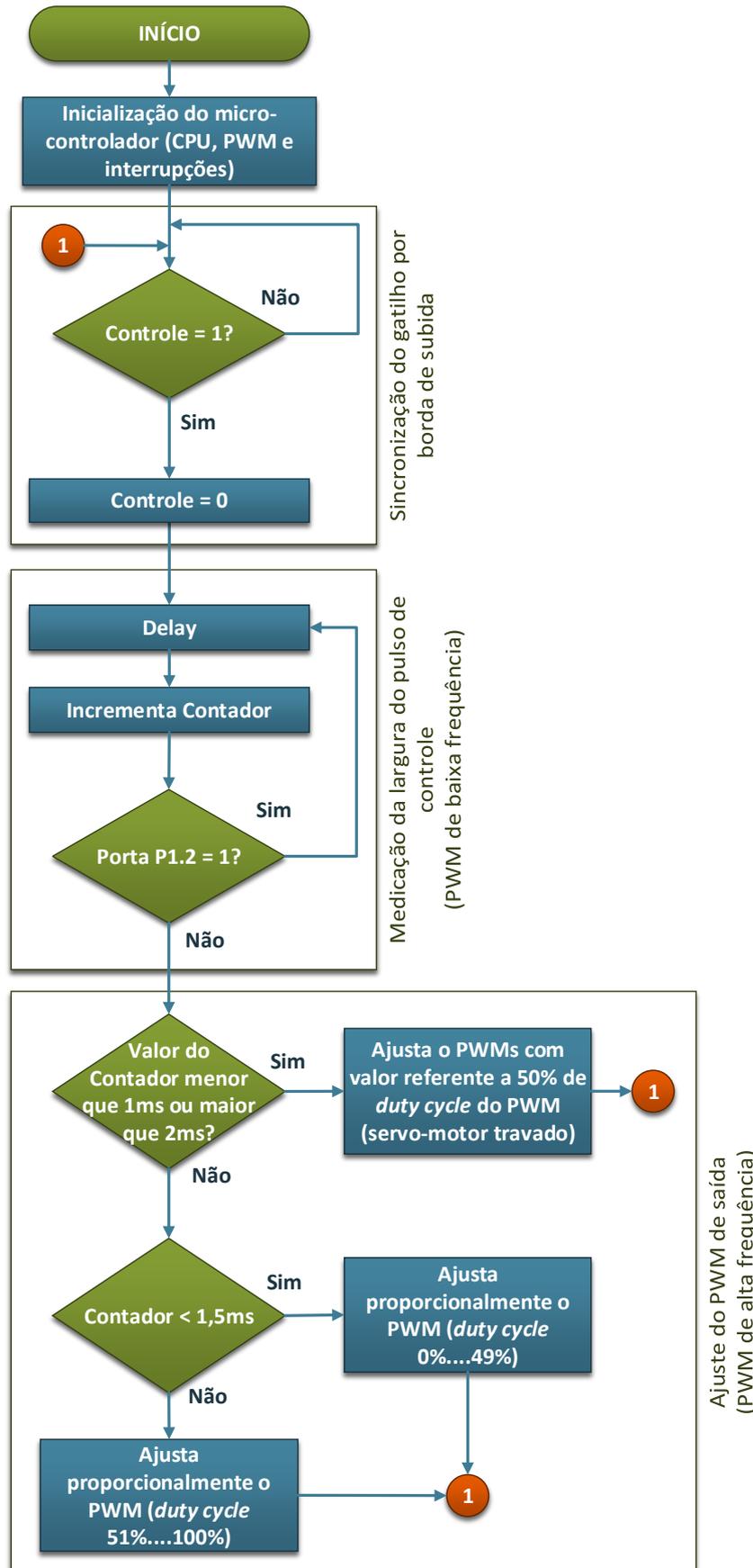
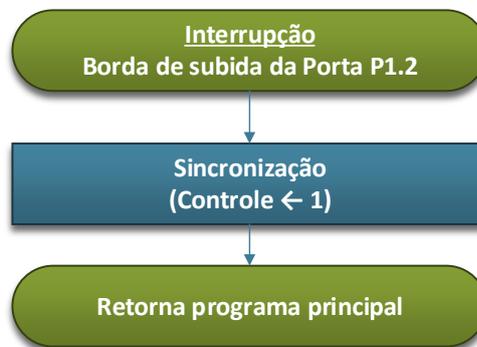


Figura 37 – Diagrama de funcionamento do algoritmo da interrupção do timer do PWM, desenvolvido para o MSP430F2013



Fonte: Cardoso (2014)

Figura 38 - Diagrama de funcionamento do algoritmo da interrupção da Porta P1.2, desenvolvido para o MSP430F2013



Fonte: Cardoso (2014)

5.1.3.2.1 *Ensaios de desempenho*

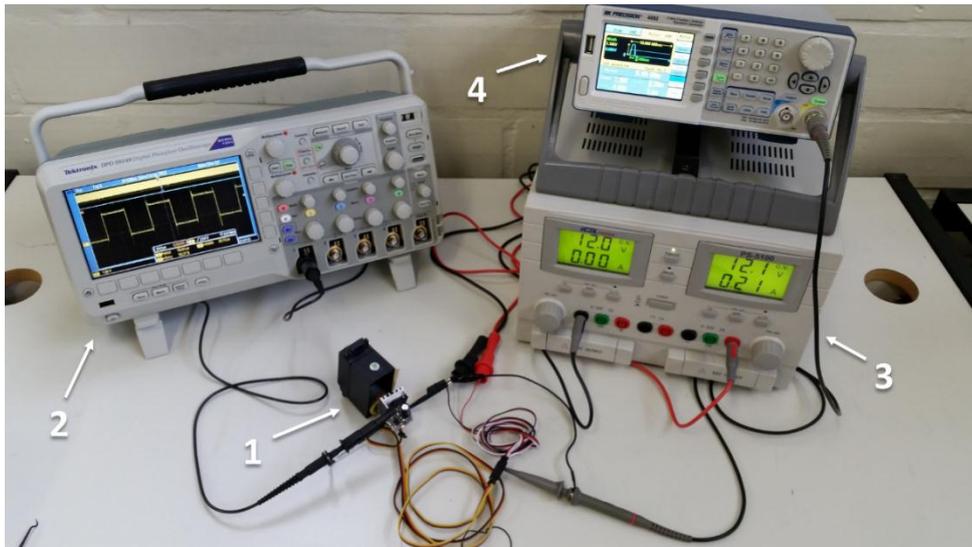
Com a conclusão do desenvolvimento da automatização, três ensaios foram realizados a fim de avaliar o desempenho e funcionamento da instrumentação desenvolvida.

O primeiro avaliou a correlação entre a posição do joystick do hardware de interface com o usuário e o respectivo sinal PWM gerado na saída do μC MSP430F2619. Para sua realização, foram utilizados o osciloscópio Tektronix e a fonte simétrica iCEL.

O segundo ensaio comparou o sinal PWM recebido na entrada do μC MSP430F2013 (Figura 39.1) e o respectivo sinal PWM gerado na saída do CI, de forma a analisar a “tradução” realizada. Adicionalmente aos equipamentos utilizados no primeiro ensaio (Figuras Figura 39.2 e Figura 39.3), o gerador de funções BK Precision também foi necessário (Figura 39.4).

O terceiro e último comparou a velocidade do servo-motor em relação do sinal PWM enviado pelo μC MSP430F2013 e chaveado pela ponte DRV8801. Para a mensuração da velocidade, em RPM, foi usado o tacômetro digital Minipa MDT-2238A. Os equipamentos utilizados no segundo ensaio também foram necessários.

Figura 39 – A imagem ilustra a organização dos equipamentos necessários para a realização dos ensaios



1) Servo- motor em ensaio (μ C MSP430F2013); 2) Osciloscópio Tektronix DPO 2024B; 3) Fonte de alimentação iCEL PS-5100; 4) Gerador de funções BK Precision 4052.
Fonte: Cardoso (2014)

5.1.4 Sistema de Pan/Tilt/Roll/Zoom

Adicionalmente ao posicionamento da câmera junto ao cirurgião, possibilitado pelo suporte articulado, se fez necessário viabilizar o direcionamento da câmera fotográfica/filmadora com uma maior quantidade de graus de liberdade de movimento. Para tanto, um sistema de *Pan/Tilt/Roll/Zoom* foi idealizado.

5.1.4.1 Design do sistema mecânico

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa, por meio da ferramenta de busca Google, com intuito de analisar diferentes propostas de sistema do tipo *Pan/Tilt/Roll/Zoom*, disponíveis comercialmente, que possibilitassem a utilização de uma câmera semiprofissional ou filmadora. O software SolidWorks® foi usado para realizar o design e a simulação das diferentes peças e partes do equipamento proposto.

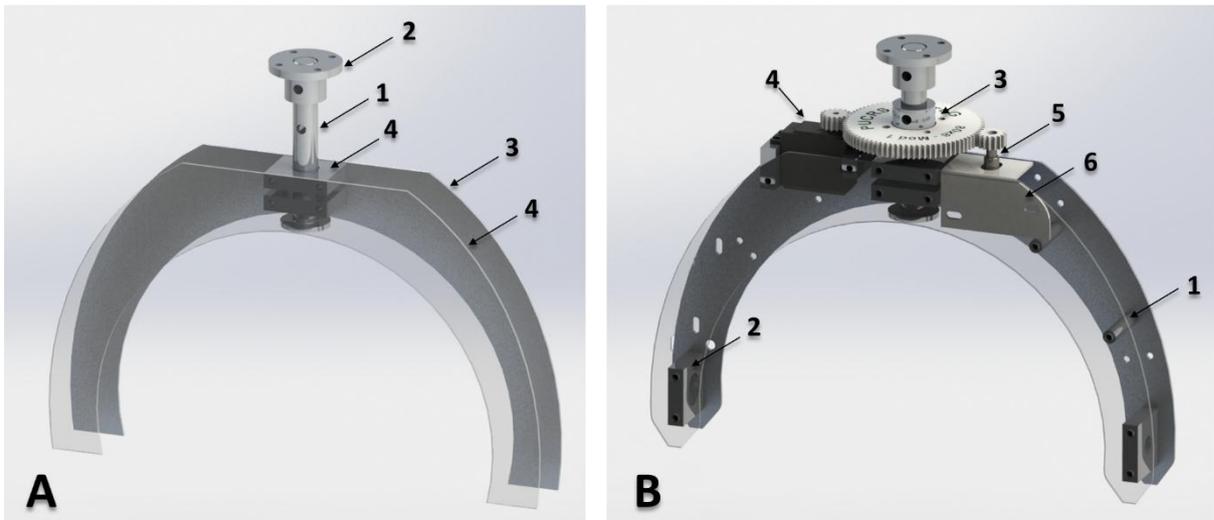
O design do *Pan/Tilt/Roll/Zoom* foi realizado em 4 etapas, uma para cada grau de liberdade.

Para o primeiro grau de liberdade (rotação - *Pan*), foram, inicialmente, desenhados o eixo de rotação (15mm de diâmetro) (Figura 40.A.1), a bucha de fixação no suporte articulado (Figura 40.A.2), as chapas semicirculares (2mm de espessura) (Figura 40.A.3) e os elementos de conexão entre eles: dois blocos contendo um rolamento de esferas blindadas (Figura 40.A.4) e um rolamento axial.

A partir desse primeiro esboço, foram adicionados os espaçadores (Figura 40.B.1) e os blocos de sustentação do segundo eixo (os dois com rolamentos de esferas blindadas) (Figura

40.B.2). Com a estrutura básica montada, pôde-se incluir os elementos de automatização: uma engrenagem fixa ao eixo de rotação por uma bucha (Figura 40.B.3), o servo-motor (Figura 40.B.4), preso por dois blocos, e o *encoder* (Figura 40.B.5), apoiado por uma chapa dobrada e aparafusada em uma das chapas semicirculares (Figura 40.B.6). Com todos os elementos posicionados, furos oblongos foram adicionados nas chapas, definindo onde os parafusos seriam colocados.

Figura 40 – Desenvolvimento do primeiro grau de liberdade do *Pan/Tilt/Roll/Zoom* (rotação - *Pan*).

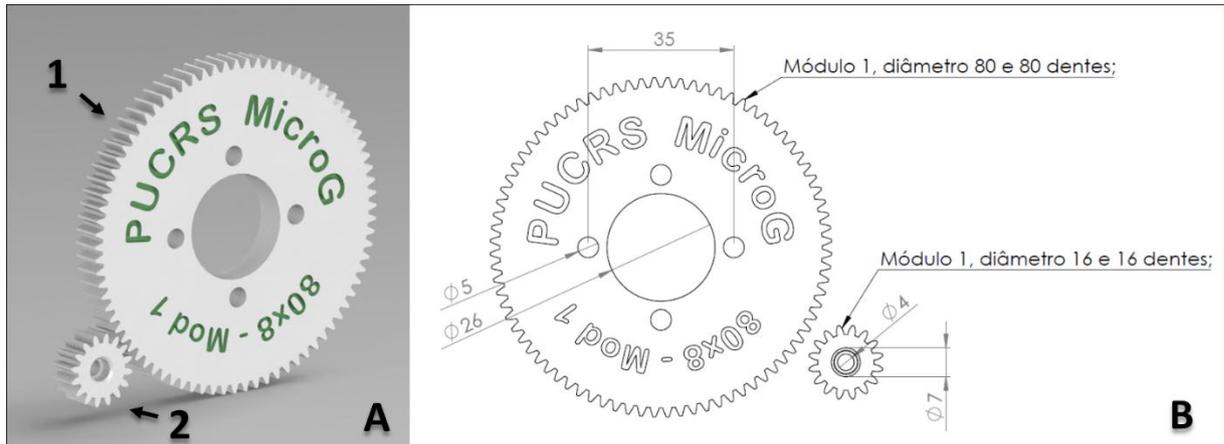


(A) Design inicial: 1) Eixo de rotação; 2) Bucha de fixação com o Suporte Articulado; 3) chapas semicirculares; 4) Blocos com rolamento para fixação do eixo; (B) Segundo estágio: 1) Espaçadores; 2) Blocos de fixação do eixo de inclinação; 3) Engrenagem fixa no eixo de rotação; 4) Servo-motor; 5) Encoder; 6) Chapa de fixação do *encoder*.

Fonte: Cardoso (2014)

A Figura 41 ilustra o conjunto de engrenagens utilizado no *Pan/Tilt/Roll/Zoom*, onde as engrenagens fixadas aos eixos de rotação e inclinação possuem 80mm de diâmetro (Figura 41.A.1) e as utilizadas nos respectivos servo-motores e *encoders* possuem 16mm de diâmetro (Figura 41.A.2), garantindo uma relação de 5:1.

Figura 41 - Conjunto de engrenagens desenvolvido para a automatização do *Pan/Tilt/Roll/Zoom*.

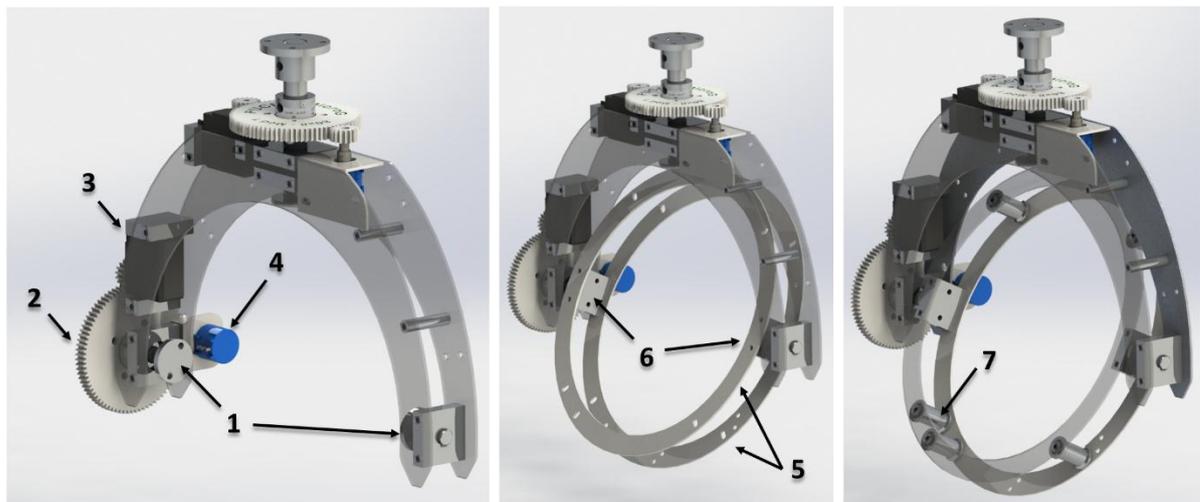


(A) Imagem 3D gerada no software SolidWorks®: 1) peça a ser fixada no eixo, 2) peça a ser presa ao servo-motor e ao *encoder*. (B) Desenho técnico com as dimensões, módulos e número de dentes das peças.

Fonte: Cardoso (2014).

Para o segundo grau de liberdade (inclinação - *Tilt*), foi, inicialmente, inserido o eixo para o movimento de inclinação (Figura 42.1) em ambos os lados das chapas semicirculares, e o sistema de controle desse movimento: uma engrenagem fixada ao eixo (Figura 42.2), um servo-motor (Figura 42.3) e um *encoder* (Figura 42.4). Em seguida, foram dimensionadas e adicionadas as chapas circulares (Figura 42.5) com dois blocos para fixação no eixo (Figura 42.6). Devido à padronização dos parafusos a serem utilizados no *Pan/Tilt/Roll/Zoom* (M4), o menor diâmetro de rolamentos a serem inseridos nos roletes foi de 5mm. Assim, o diâmetro externo dos roletes ficou em 9,5mm (Figura 42.1).

Figura 42 - Desenvolvimento do segundo grau de liberdade do *Pan/Tilt/Roll/Zoom* (inclinação - *Tilt*)



1) Eixos de para movimento de inclinação; 2) Engrenagem fixa no eixo de rotação; 3) Servo-motor; 4) *Encoder*; 5) chapas circulares; 6) Blocos de fixação das chapas nos eixos; 7) roletes.

Fonte: Cardoso (2014)

O terceiro grau de liberdade (giro - *Roll*) foi possibilitado por meio da colocação de duas chapas (Figura 43.1), apoiadas nos roletes indicados na Figura 42.7. Essas possuem um suporte para uma base para uma câmera fotográfica e são fixadas uma na outra por espaçadores recartilhados (Figura 43.2). Uma correia controla o movimento da estrutura, a qual é ligada a um servo-motor (Figura 43.3) e a um *encoder* (Figura 43.4) utilizando duas polias. A Figura 43.5 mostra o mecanismo utilizado para deslocar o *encoder* lateralmente, permitindo, assim, que a correia seja esticada.

Figura 43 - Desenvolvimento do terceiro grau de liberdade do *Pan/Tilt/Roll/Zoom* (giro - *Roll*)

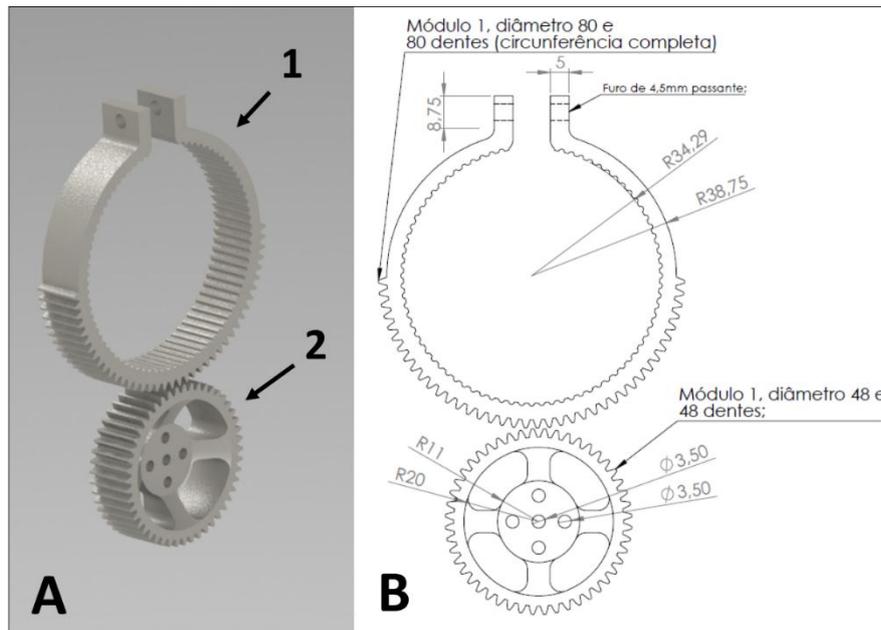


1) Chapas circulares com suporte para encaixe da base para a câmera; 2) Espaçadores recartilhados; 3) Servo-motor; 4) *Encoder*; 5) Mecanismo que possibilita deslocar lateralmente o *encoder*.

Fonte: Cardoso (2014)

O quarto e último grau de liberdade do *Pan/Tilt/Roll/Zoom* (zoom da câmera fotográfica) foi projetado com base na análise da variação de objetivas de câmeras fotográficas semiprofissionais e de sistemas de movimentação manual de zoom utilizados por estúdios de cinema. Para esse projeto, escolheu-se por projetar uma engrenagem adaptável a objetivas entre 78mm e 62mm de diâmetro (Figura 44.1) e outra para ser fixada a um Servo-motor (Figura 44.2).

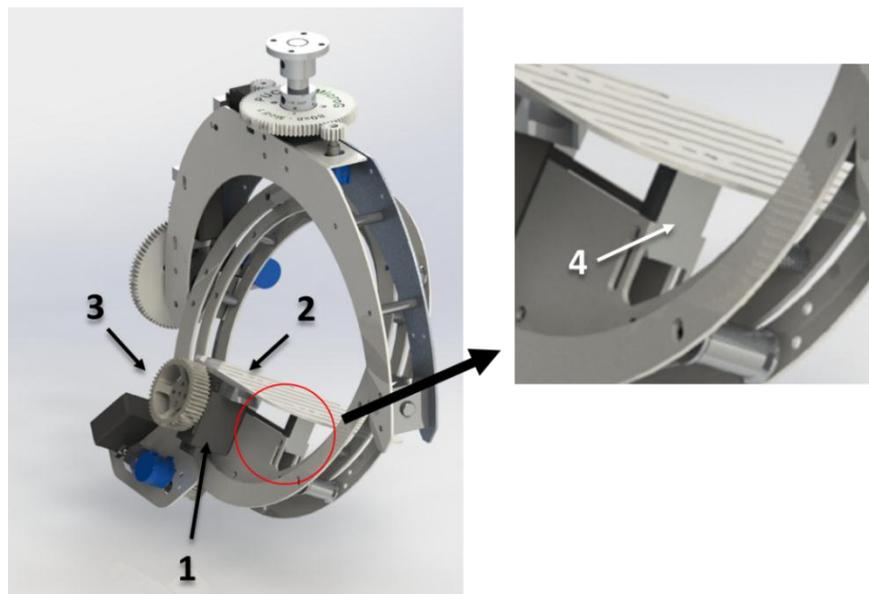
Figura 44 - Conjunto de engrenagens desenvolvido para a automatização do Zoom do *Pan/Tilt/Roll/Zoom*



(A) Imagem 3D gerada no software SolidWorks®: 1) peça a ser fixada na haste C; 2) peça a ser presa ao servomotor e ao *encoder*. (B) Desenho técnico com as dimensões, módulos e número de dentes das peças.
Fonte: Cardoso (2014)

A Figura 45 ilustra essa adaptação no *Pan/Tilt/Roll/Zoom*, com a fixação de um servomotor (Figura 45.1) à base para a câmera (Figura 45.2), a engrenagem projetada para girar a objetiva da câmera (Figura 45.3) e os dois blocos móveis que permitem o ajuste de altura (Figura 45.4).

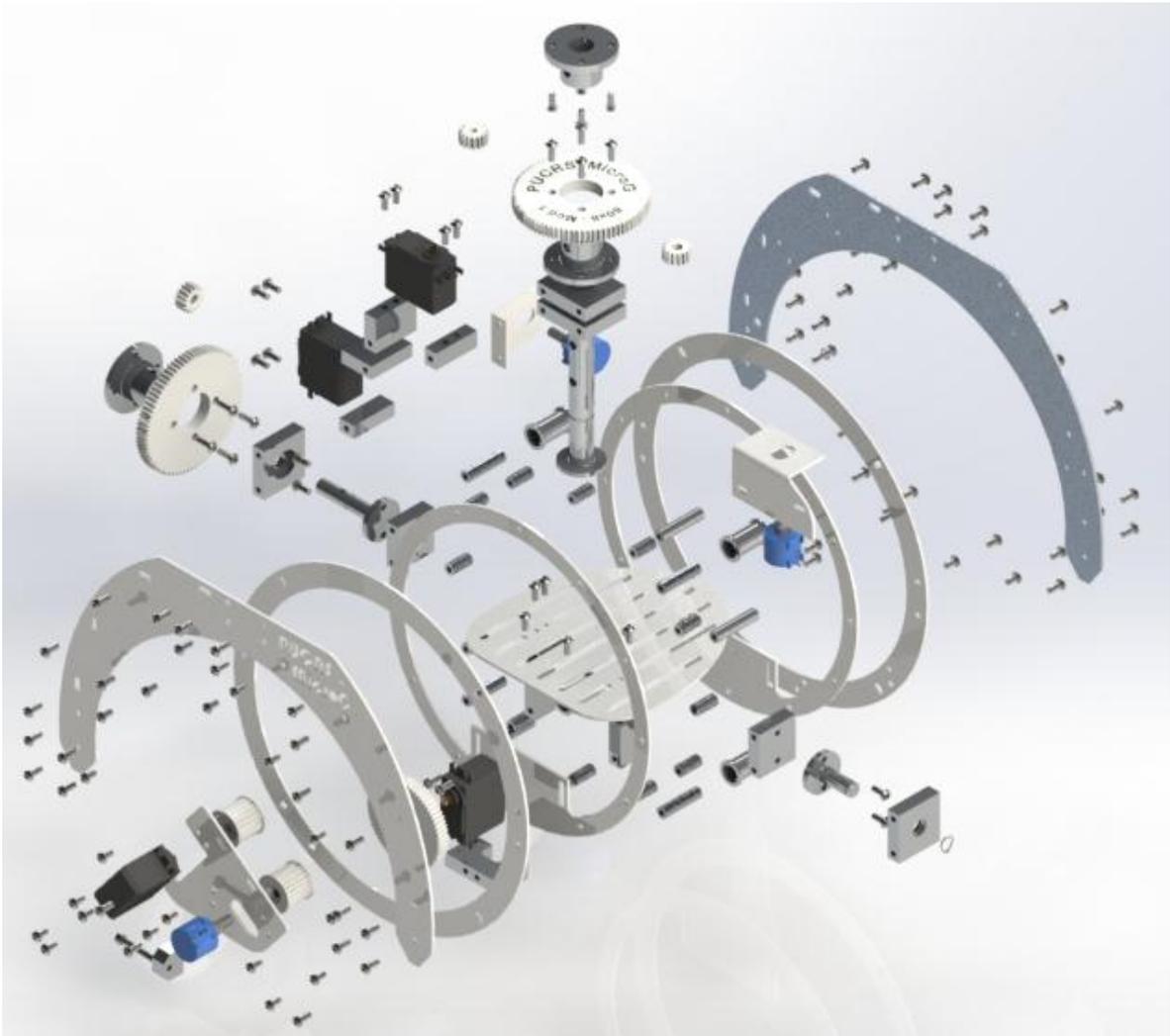
Figura 45 - Desenvolvimento do quarto grau de liberdade do *Pan/Tilt/Roll/Zoom* (zoom da câmera - Zoom)



1) Servomotor; 2) Base para câmera fotográfica; 3) Engrenagem; 4) Blocos móveis para fixação da base da câmera.
Fonte: Cardoso (2014)

Com a finalização do design de todos os graus de liberdade, foram adicionados todos os elementos complementares, como parafusos e anéis de retenção ao projeto 3D do *Pan/Tilt/Roll/Zoom*, permitindo que o mesmo passasse para a fase de prototipação. A Figura 46 mostra a vista explodida do projeto, ilustrando todos os elementos que o compõe e como estão encaixados.

Figura 46 – Vista explodida do *Pan/Tilt/Roll/Zoom* desenvolvido.



Fonte: Cardoso (2014).

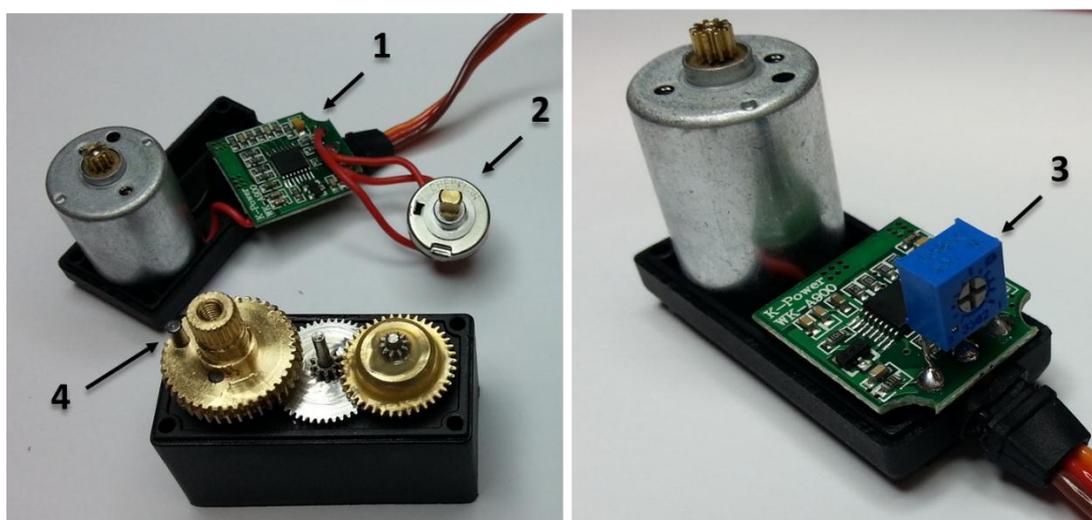
O servo-motor TOWER PRO MG995 foi escolhido para a movimentação dos diferentes graus de liberdade do *Pan/Tilt/Roll/Zoom* devido ao seu torque (13kg/cm); a sua corrente de operação (100mA); seu peso (60g) e à possibilidade de operar em 5V. Essas características atendiam às necessidades do projeto em relação à movimentação da câmera, peso total do equipamento, potência e tensão de alimentação do controle.

Entretanto, a amplitude de movimento desejada para a rotação (360°), inclinação (240°) e giro (360°), em função do torque necessário para tal, levou à definição da relação de 5:1 entre as engrenagens utilizadas. Assim, na sua configuração de fábrica (Figura 47), o servo TOWER PRO MG995 não poderia atender à amplitude de rotação necessária (1800°), tendo uma amplitude de apenas 180°.

Desta forma, como realizado com o servo VIGOR VSD-11AYMB, optou-se por modificar seu funcionamento, removendo o potenciômetro (Figura 47.1) que realimenta o sistema de controle em malha fechada (Figura 47.2) com um sinal de posição e substituí-lo por uma resistência fixa (Figura 47.3), assim, alterando o funcionamento do mesmo para trabalhar como “servo de velocidade”. Adicionalmente, foi necessário remover o pino de fim de curso (Figura 47.4), o qual impede o movimento do servo fora da amplitude original.

Com essa alteração, foi possível garantir a amplitude de movimento necessária. De forma complementar, os *encoders* de posição absoluta, adicionados ao projeto, permitiram a definição do fim de curso via software.

Figura 47 – Modificação do funcionamento do servo-motor Tower Pro MG995 para trabalhar como “servo de velocidade”.



1) Circuito de controle; 2) Potenciômetro de referência de posição absoluta; 3) *Trimpot* para ajuste da resistência a ser definida como fixa; 4) Pino de limitação de amplitude de rotação.

Fonte: Cardoso (2014).

5.1.4.1.1 *Ensaio de ruído*

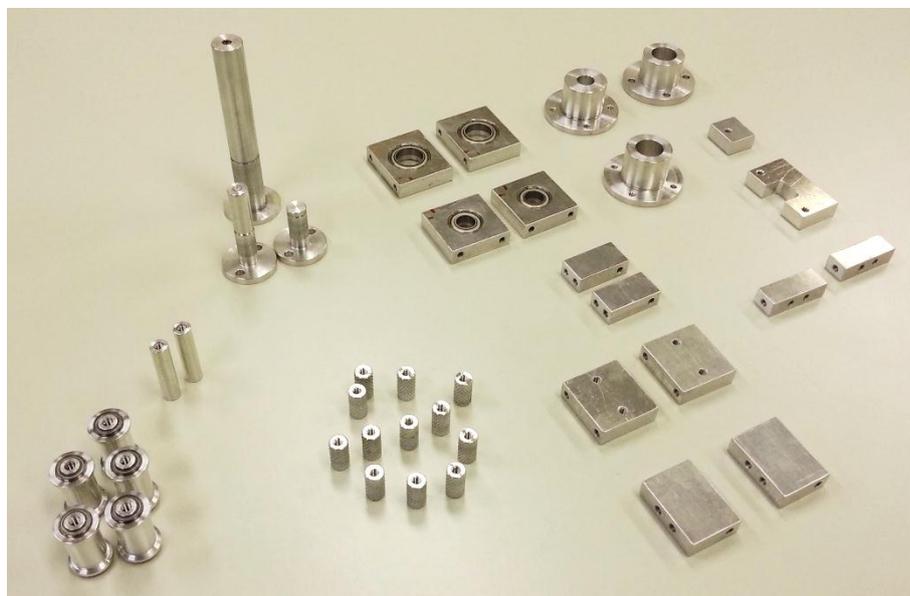
Por serem os servo-motores com cabeamento mais longo para conexão com o hardware principal, decidiu-se por avaliar a presença de ruído no sinal PWM recebido. O ensaio utilizou o osciloscópio Tektronix e a fonte simétrica iCEL.

5.1.4.2 Confeção das peças internas e chapas

As chapas do *Pan/Tilt/Roll/Zoom* foram confeccionadas em alumínio naval 5052-F, tendo sido cortadas a laser e pintadas pela empresa KEHL, conforme os esquemáticos fornecidos.

As peças internas foram também confeccionadas no mesmo material pelo Instituto Idea da PUCRS, utilizando como base os desenhos e materiais fornecidos. Reuniões de acompanhamento foram realizadas de forma a alinhar as necessidades do projeto e as sugestões da equipe técnica do Idea. Ao total, foram confeccionadas 44 peças, conforme ilustra a Figura 48.

Figura 48 – Peças internas do *Pan/Tilt/Roll/Zoom*



44 Peças confeccionadas em Alumínio Naval 5052-F pelo Instituto Idea da PCRS
Fonte: Cardoso (2014).

5.2 DEFINIÇÃO DE UMA SISTEMÁTICA PARA A AQUISIÇÃO E TRANSMISSÃO DE VÍDEOS – ESURG-VIDEO

Essa etapa do projeto contemplou a análise das características da aplicação proposta e, com base na avaliação das mesmas, a definição de uma sistemática para a aquisição e transmissão de vídeos de procedimentos cirúrgicos.

5.2.1 Aquisição de vídeos

De forma a determinar qual sistema de aquisição a ser utilizado, fez-se, inicialmente, um levantamento de softwares de controle a distância profissionais, que possibilitassem comandar o foco, a abertura de diafragma, a ISO, o zoom, a taxa de quadros, a resolução e o

disparo, bem como visualizar a imagem do visor da câmera e, a seguir, uma avaliação quanto aos modelos disponíveis no mercado brasileiro.

A câmera e software escolhidos foram, então, ensaiados a fim de avaliar a funcionalidade e aplicabilidade junto ao eSurg-Arm e de determinar um protocolo de calibração, necessário para a correta aquisição das imagens quando sob iluminação do foco cirúrgico.

5.2.2 Transmissão de Vídeos

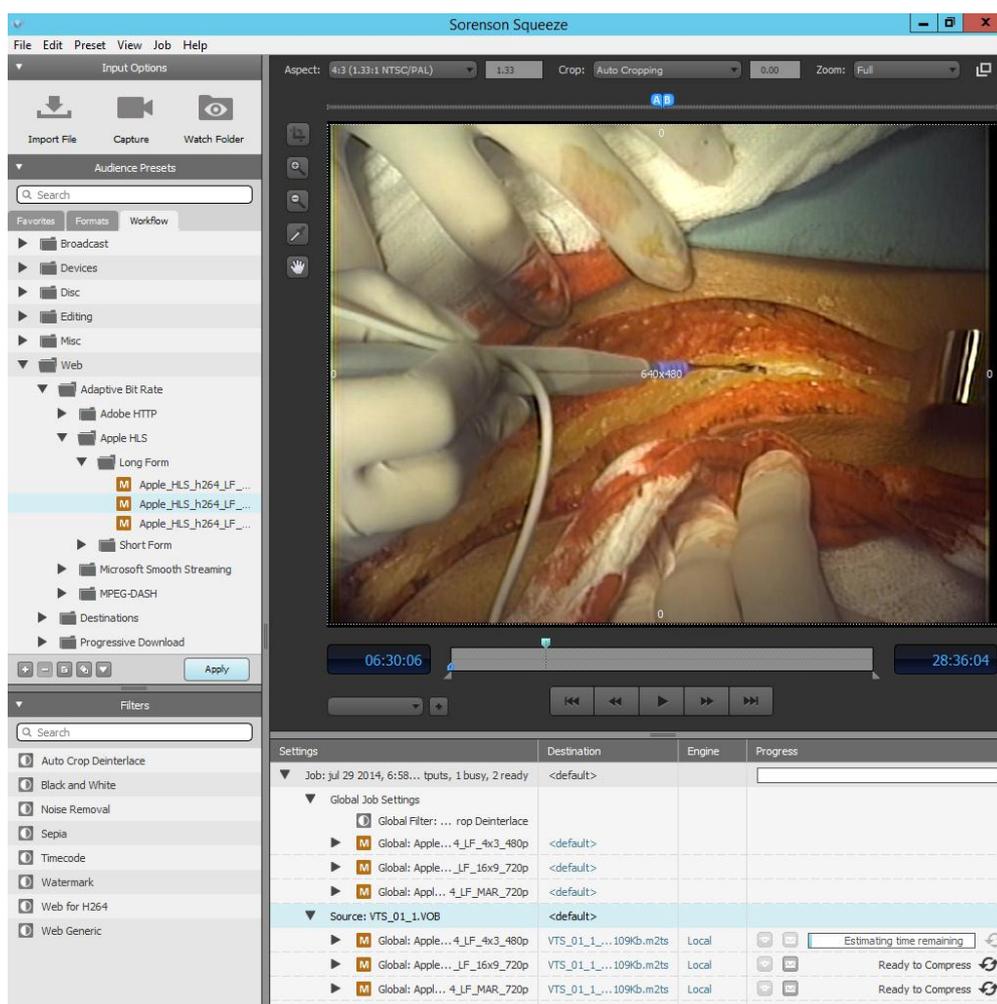
Na definição da transmissão de vídeos, duas modalidades foram criadas: síncrona (videoconferência) e assíncrona (eSurg-Web), sendo, em cada uma dessas, elencado as tecnologias escolhidas e as etapas a serem seguidas.

5.2.2.1 Modalidade Assíncrona

De forma a permitir o acesso a vídeos de cirurgias no eSurg-Web, foi necessário, inicialmente, definir: 1) técnica de streaming; 2) formato de transmissão (*multimedia container format*); 3) formato de compressão (*video coding format*); 4) servidor de mídia; 5) visualizador (*Player*).

A partir dessas definições, o software Sorenson Squeeze Pro foi utilizado para realizar a compressão de vídeo, a conversão de formato e a preparação das informações necessárias para permitir o streaming de vídeos (Figura 49).

Figura 49 – Janela do Software Sorenson Squeeze, ilustrando o processo de compressão e codificação de vídeo.



Fonte: Cardoso (2014)

Três perfis de compressão foram definidos para serem aplicados a cada arquivo, com base nas configurações disponíveis no formato de compressão e na qualidade das imagens obtidas. Testes de qualidade foram realizados, comparando um trecho de um minuto de vídeo (Figura 50), o qual apresentava grupos de quadros com atualização de, pelo menos, 80% da imagem, diferentes níveis de profundidade (cavidade), a presença de pinça ou bisturi de lâmina fria e de gaze e sangue. Essas escolhas tiveram por objetivo testar elementos que representassem a maior quantidade possível de características técnicas a serem avaliadas. O vídeo utilizado foi cedido pelo Laboratório de Telessaúde do Centro de Microgravidade do banco de atividades de telecirurgia, sem qualquer identificação do paciente ou vista externa à cavidade que está sendo manipulada. O mesmo possuía, originalmente, uma compressão MPEG-2, com as seguintes características principais:

- Resolução: 640 pixels x 480 pixels (480p)

- Formato de transmissão: MPEG-PS
- Formato de compressão: H.254
- Taxa de bits total: 4380Kbps (min 4.650Kbps, max 10.000Kbps)
- Método de compressão: VBR;
- Taxa de quadros: 29,970fps
- GOP: M=3, N=15
- Tipo de Scan: Entrelaçado
- Bits por pixel: 0,449 (conforme explicado por OZER (2013))

Figura 50 – Trecho de um minuto de vídeo, selecionado para a avaliação das imagens da cirurgia.



Fonte: Cardoso (2014)

Segundo OZER (2013), uma das formas de avaliar a compressão e a qualidade da imagem transmitida por *streaming* relaciona a taxa de bits, a resolução e a taxa de quadros conforme equação (6), determinando o volume de dados utilizado por pixel para transmissão de um vídeo. O valor sugerido é de 0,1 a 0,15. Ainda, segundo Ozer, para uma mesma qualidade visual da imagem, é esperado que esse valor diminua com o aumento da resolução, devido a melhoria de desempenho dos algoritmos de compressão.

$$\text{Bits por Pixel} = \frac{\text{Taxa de bits}}{(\text{Resolução} * \text{Taxa de quadros})} \quad (6)$$

5.2.2.2 Modalidade Síncrona

Para determinar o sistema de transmissão, foi feito um levantamento bibliográfico em bases científicas e junto a fornecedores, levando em consideração sistemas e equipamentos já disponíveis na infraestrutura da PUCRS.

A partir da seleção do sistema, foram realizados testes de transmissão utilizando a câmera escolhida para a aquisição dos vídeos.

5.3 DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA WEB COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL EM SAÚDE – ESURG-WEB

Esta etapa do projeto contemplou o design e a prototipação da plataforma. A especificação das características utilizadas para o seu desenvolvimento teve como referência as atividades de telecirurgia realizadas no Hospital São Lucas da PUCRS, bem como iniciativas similares estabelecidas por outros grupos, tais como MUTTER et al. (2011) e LARVIN (2009).

5.3.1 Design da plataforma

Para o design, fez-se o levantamento das funcionalidades que a plataforma deveria possuir, com foco na necessidade de se disponibilizar conteúdo de qualidade de forma interativa e instrutiva, dispondo de realimentação sincronizada com o desempenho dos usuários nas atividades propostas. Ainda, para permitir sua viabilidade operacional, observou-se a complexidade de gerenciamento e utilização de sistemas de ensino na modalidade não presencial, optando-se por manter um desenho mais simples de atribuições, funcionalidades e informações.

Para as atividades educacionais a serem realizadas pelos estudantes, selecionou-se um grupo de exercícios que exemplificasse algumas das inúmeras possibilidades de interação dos alunos com o conteúdo. Assim, não se buscou esgotar as alternativas existentes, mas apenas demonstrar sua aplicação dentro da realidade proposta.

Na presente proposta, utilizou-se o nome de usuário e senha para autenticação, cadastrados na plataforma.

5.3.2 Prototipação da plataforma

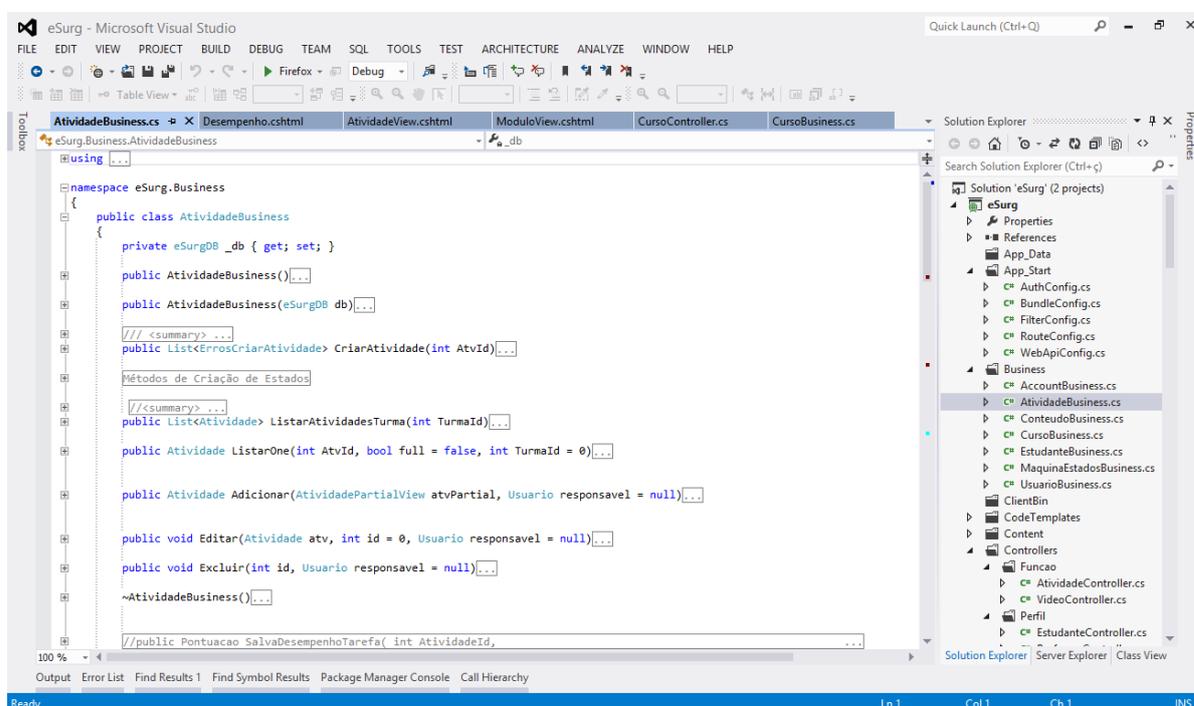
O eSurg-Web foi construído com base no ASP.NET *framework* da Microsoft, utilizando o *Entity Framework* 4.5, a arquitetura de programação *Model-View-Controller* (MVC 4) e a linguagem de programação C#. Adicionalmente, as linguagens *JavaScript* e CSS foram utilizadas para criação de animações e para permitir o design gráfico das páginas HTML. O IDE usado foi o Microsoft Visual Studio 2012, ilustrado na Figura 51. O servidor IIS 6.2, nativo do Windows 8.1, foi usado para os testes e validação do eSurg-Web, tendo sido instalado

um certificado digital para criptografia da transmissão de dados entre o servidor e o navegador do usuário. O navegador Mozilla FireFox e a extensão Firebug foram empregados nos testes e ensaios.

A construção das classes do projeto, conforme indicado pelo modelo MVC, foi dividida em três camadas: *Controller*, *Model* e *View*. Adicionalmente, foi criada uma camada extra de negócios (*Business*), removendo todos os comandos de acesso ao banco de dados das classes da camada *Controller*.

O navegador Mozilla FireFox foi utilizado como padrão para os testes.

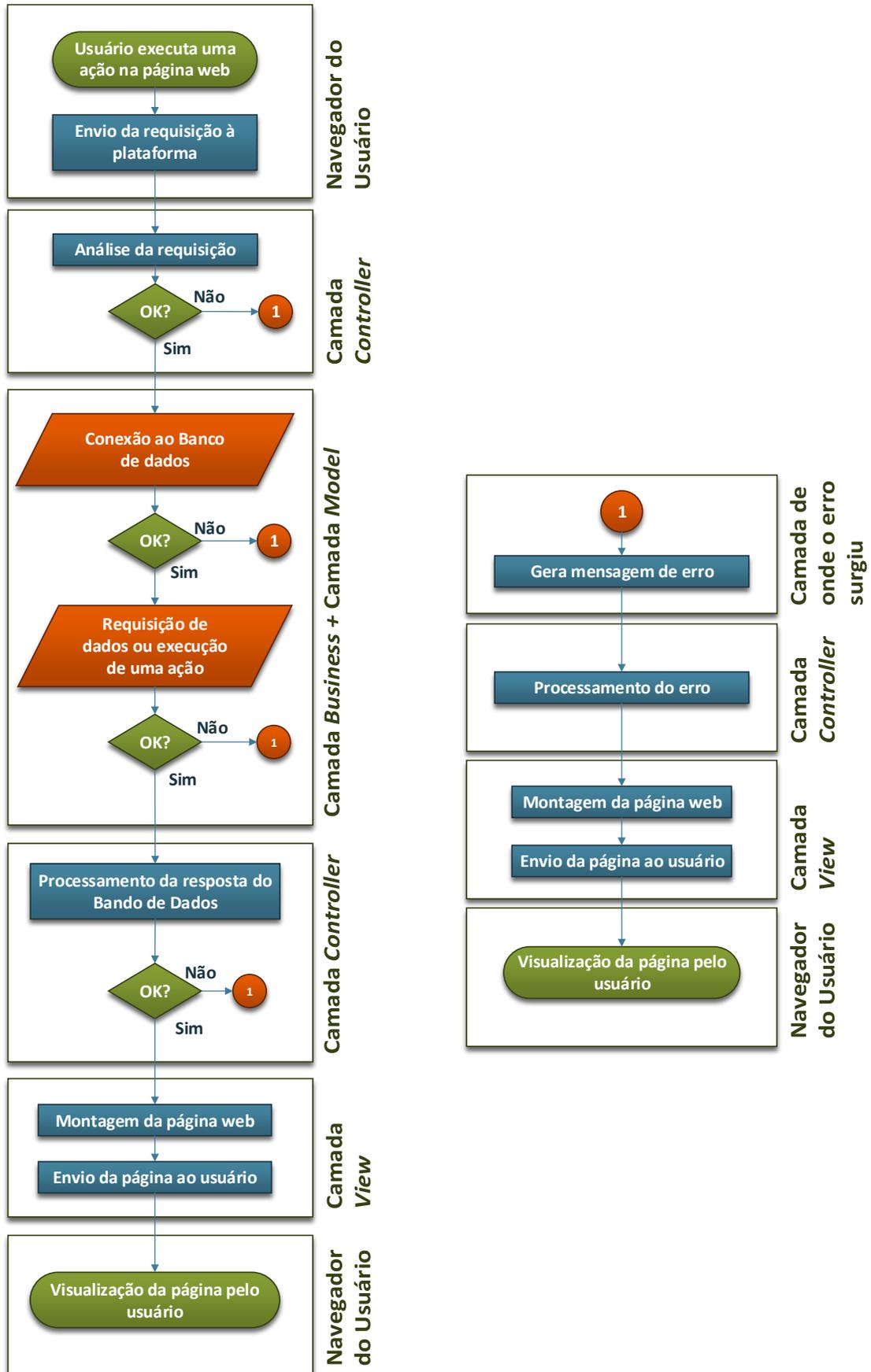
Figura 51 – Janela do Microsoft Visual Studio 2012, ambiente integrado de desenvolvimento utilizado para o design e prototipação do eSurg-Web.



Fonte: Cardoso (2014).

A Figura 52 ilustra a estrutura de camadas utilizada no desenvolvimento do projeto, apresentando o fluxo de requisições, o qual inicia e termina no navegador no usuário.

Figura 52 - Diagrama funcional da estrutura de camadas utilizada para o a construção do projeto



5.3.2.1 Persistência de dados – Camada Model

Dentre as técnicas de modelagem e integração do banco de dados, preferiu-se a utilização do *Entity Framework Code First*, no qual o banco de dados é criado automaticamente com base na estrutura de classes do código. Essa escolha de abordagem permitiu testar e validar o código a cada etapa da prototipação, possibilitando a realização de modificações e adaptações mais facilmente e, assim, tornando o processo de desenvolvimento mais flexível. Para tanto, foi necessário criar a classe eSurgDB (Figura 53), na qual foram especificadas todas as classes a serem persistidas no banco de dados (Figura 53.1), bem como, quando necessário, indicar as relações existentes entre essas classes (um-para-um, um-para-muitos ou muitos-para-muitos).

A Figura 54 mostra uma das classes a serem persistidas no banco de dados, ilustrando suas propriedades (Figura 54.1) e a ferramenta *Code First Data Annotations* (Figura 54.2), a qual permite definir configurações dessas propriedades e da própria tabela criada pela classe no banco de dados.

Figura 53 – Classe eSurgDB, responsável pela criação do banco de dados do projeto por meio da técnica *Code First* do *Entity Framework*, como também estabelece a troca de dados com o mesmo.

```

eSurg
eSurgDB.cs
eSurg.Models.eSurgDB
OnModelCreating(DbM

public partial class eSurgDB : DbContext
{
    public eSurgDB()
        : base("name=eSurgDB") ← 2
    {
    }

    public DbSet<Tema> Temas { get; set; }
    public DbSet<Modulo> Modulos { get; set; }
    public DbSet<Video> Videos { get; set; }
    public DbSet<CasoClinico> CasosClinicos { get; set; }
    public DbSet<DiagnosticoDiferencial> DiagnosticoDiferencial { get; set; }
    public DbSet<ExameComplementar> ExamesComplementares { get; set; }
    public DbSet<Cirurgia> Cirurgias { get; set; }
    public DbSet<Usuario> Usuarios { get; set; }
    public DbSet<Nota> Notas { get; set; }
    public DbSet<Turma> Turmas { get; set; }
    public DbSet<Atividade> Atividades { get; set; }
    public DbSet<Tarefa> Tarefas { get; set; }
    public DbSet<Exercicio> Exercicios { get; set; }
    public DbSet<Registro> Registros { get; set; }
    public DbSet<PalavraChave> PalavrasChave { get; set; }
    public DbSet<Alternativa> Alternativas { get; set; }
    public DbSet<Opcao> Opcoes { get; set; }
    public DbSet<UserProfile> UserProfiles { get; set; }
    public DbSet<Estado> Estados { get; set; }
    public DbSet<EstadoEmCurso> EstadosEmCurso { get; set; }
    public DbSet<RegistroAtividade> ResgistrosAtividades { get; set; }
    public DbSet<DesempenhoAtividade> DesempenhoAtividades { get; set; }
    public DbSet<DesempenhoTarefa> DesempenhoTarefas { get; set; }
    public DbSet<RespostaTarefa> RespostasTarefa { get; set; }
}
120 %
  
```

1) Especificação de classes que serão persistidas no banco de dados; 2) Definição do nome da conexão a ser utilizada para comunicação com o banco de dados.

Fonte: Cardoso (2014)

Com base nas propriedades definidas nas classes de persistência (Figura 55.1) e na descrição realizada em eSurgDB, o *Entity Framework* realizou a criação e atualização do banco de dados eSurg.Models.eSurgDB por meio do *Entity Framework Code First Migrations*. Essa ferramenta é responsável por fazer a comparação entre o estado atual do DB no servidor e a estrutura resultante da descrição das classes (eSurgDB e as de persistência), identificando as diferenças e definindo as mudanças a serem feitas. Cada nova atualização do DB é registrada, possibilitando ao desenvolver reverter o que foi feito, caso necessário. O SQL Server Express 2014 foi o servidor de banco de dados utilizado no projeto.

Para auxiliar na análise desse processo, foi utilizado o software SQL Server Management Studio (Figura 55), o qual possibilita o acesso direto ao DB, sua estrutura de tabelas e respectivos dados.

Ao total, 23 classes foram criadas para persistência de informações (não se considerando as criadas automaticamente pelo Visual Studio), tendo sido traduzidas em 29 tabelas no banco de dados pelo *Entity Framework Code First Migrations*.

Figura 54 – Recorte da classe de persistência de dados `Usuario`, a qual ilustra a descrição de todas as propriedades da classe, e suas respectivas características, bem como as marcações da ferramenta *Code First Data Annotations* do *Entity Framework*.

```

namespace eSurg.Models
{
    [Table("Usuarios")]
    public abstract class Usuario
    {
        [Key, ForeignKey("UserProfile")] ← 2
        [Display(Name="Usuário")]
        public int UsuarioId { get; set; }

        [Display(Name="Nome")]
        [DisplayFormat(ApplyFormatInEditMode=true,
            HtmlEncode=true,
            ConvertEmptyStringToNull=false)]
        [Required(ErrorMessage="Favor inserir o seu nome")] ← 1
        public string Nome { get; set; }

        [Display(Name="Sobremone")]
        [DisplayFormat(ApplyFormatInEditMode=true,
            HtmlEncode=true,
            ConvertEmptyStringToNull=false)]
        [Required(ErrorMessage="Favor inserir o seu sobrenome")]
        public string Sobremone { get; set; }

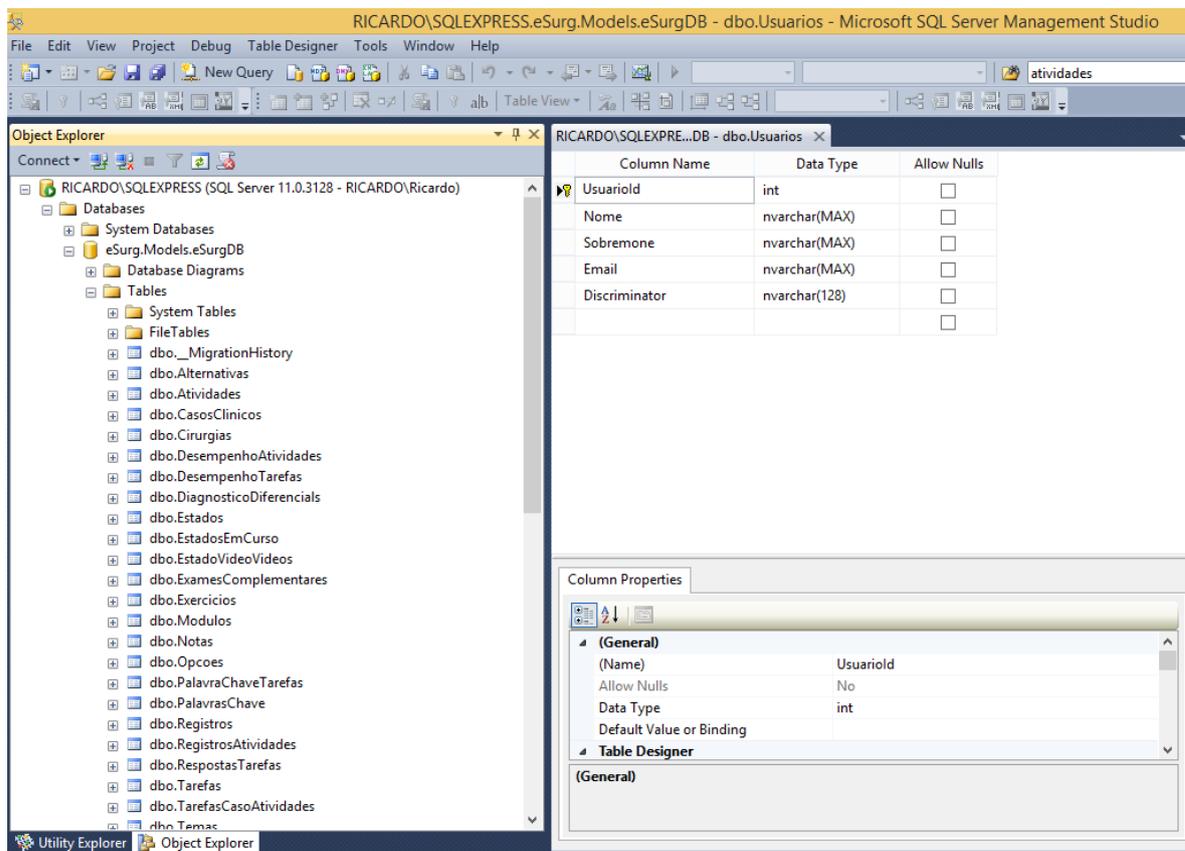
        [Display(Name="E-mail")]
        [DataType(DataType.EmailAddress)]
        [DisplayFormat(ApplyFormatInEditMode=true,
            HtmlEncode=true,
            ConvertEmptyStringToNull=false)]
        [Required(ErrorMessage="Favor inserir o seu e-mail")]
        public string Email { get; set; }
    }
}

```

1) Propriedade da classe, a qual será representada no banco de dados por uma coluna de mesmo nome na tabela Usuários. 2) Especificação da relação entre a classe Usuários e UserProfile por meio da ferramenta *Code First Data Annotations*.

Fonte: Cardoso (2014)

Figura 55 – Janela do software Microsoft SQL Management Studio, ilustrando a lista de tabelas presentes no banco de dados eSurg.Models.eSurgDB (esquerda) e o design da tabela Usuarios (direita).



Fonte: Cardoso (2014)

5.3.2.2 Gestão de requisições - Camada Controller

Essa camada foi dividida em quatro grupos: Autenticação, CRUD, Interação e Perfil (Figura 56).

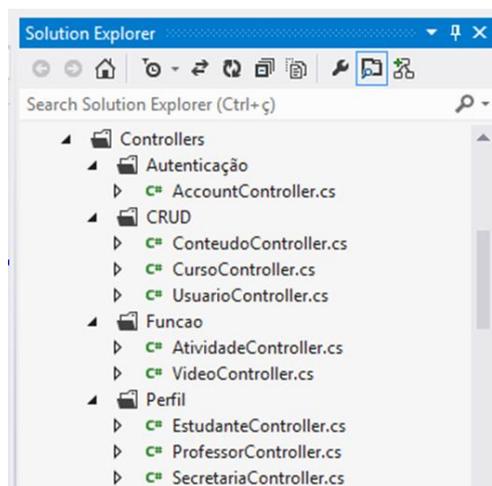
Para o controle da autenticação dos usuários e seu respectivo direcionamento após validado, foi utilizada a classe *AccountController*, fornecida pelo Visual Studio na criação do projeto.

Conforme a especificação do fluxograma da Figura 84, as classes do grupo Perfil (*EstudanteController*, *ProfessorController*, *SecretariaController*) foram desenvolvidas com base nas categorias de usuário, a fim de apresentar, a cada um, as funcionalidades da plataforma disponíveis a este.

Para atender as requisições de criação(C), leitura(R), atualização(U) e exclusão(D) de informações (CRUD) referentes aos cursos, conteúdos e usuários, foram criadas as classes *ConteudoController*, *CursoController* e *UsuarioController*.

Finalmente, as classes do grupo Interação foram desenvolvidas para gerenciar as atividades interativas dos estudantes com o conteúdo dos cursos, com base no fluxograma da Figura 85.

Figura 56 – Classes da Camada *Controller*



Fonte: Cardoso (2014)

5.3.2.3 Apresentação das páginas web- Camada View

A camada *View* do MVC é responsável por apresentar as informações ao usuário, por meio da estruturação das informações geradas pela camada *Controller* em páginas HTML. Para tanto, são utilizados *templates* (modelos) fortemente tipados (*strongly-typed*) com base na estrutura das classes da camada *Model* (Figura 57.1).

No desenvolvimento da plataforma, a linguagem Razor foi escolhida para criação dos *templates*, tendo sido utilizada a ferramenta *HTML Helpers* (Figura 57.2) para facilitar a geração de código HTML. Para tornar mais rápido o desenvolvimento de botões e animações com base em linguagem JavaScript, usou-se o recurso JQueryUI (Figura 57.3), instalado na ferramenta *HTML Helpers*.

De forma a possibilitar a apresentação de páginas com informações provenientes de diferentes entidades (estudante, turmas, atividades, etc), foram criadas classes específicas com as informações relevantes de cada entidade, permitindo que o *template* permanecesse fortemente tipado.

A linguagem CSS foi utilizada na definição das configurações de *layout* das páginas web da plataforma, sendo organizada em classes (Figura 57.4).

Figura 57 – *Template* em linguagem Razor.

```

@model CursoView ← 1
@{
    ViewBag.Title = "Turma";
}
<h2>@ViewBag.Tipo Turma</h2>
@using (Html.BeginForm()) {
    @Html.AntiForgeryToken()
    @Html.ValidationSummary(true) ← 2
    <fieldset>
        <legend>Turma</legend>
        @Html.HiddenFor(model => model.Turma.ModuloId)
        @Html.HiddenFor(model => model.Turma.TurmaId)
        <div class="editor-label">
            @Html.LabelFor(model => model.Turma.Codigo)
        </div>
        <div class="editor-field">
            @Html.EditorFor(model => model.Turma.Codigo)
            @Html.ValidationMessageFor(model => model.Turma.Codigo)
        </div>
        <div class="editor-label"> ← 4
            @Html.LabelFor(model => model.Turma.Inicio)
        </div>
        <div class="editor-field">
            @Html.QueryUI().DatepickerFor(model => model.Turma.Inicio)
                .DefaultDate(date: DateTime.Now)
                .ChangeYear(true)
                .DateFormat("dd/mm/yyyy"); ← 3
        </div>
        @Html.ValidationMessageFor(model => model.Turma.Inicio)
    </div>
    <p>
        <input type="submit" value="Salvar" />
    </p>
</fieldset>

```

1) Especificação do “tipo” a ser utilizado como base para a escrita do *template*; 2) Utilização da ferramenta HTML Helpers para criação automática do código de validação dos campos do formulário presente no *template*. 3) Inserção de um calendário animado em linguagem JavaScript na página web a ser apresentado ao usuário, por meio do recurso JQueryUI; 4) Identificação da classe CSS que possui as configurações de layout reservados para o elemento HTML em questão.

Fonte: Cardoso (2014)

5.3.3 Ensaio da plataforma

Durante o processo de prototipação da plataforma, ensaios e simulações foram realizados para validar o funcionamento dos algoritmos desenvolvidos. Com a evolução dos algoritmos em módulos, simulações de utilização das funcionalidades criadas foram realizadas de forma a determinar falhas e inconsistências no seu funcionamento, permitindo a correção das mesmas. Para todos os ensaios, o navegador Mozilla Firefox foi usado.

Com a finalização do desenvolvimento de cada etapa do método apresentado (eSurg-Arm, eSurg-Video e eSurg-Web), foi iniciada análise dos resultados obtidos.

6 RESULTADOS

A partir do método desenvolvido e dos materiais utilizados, diferentes resultados podem ser apontados. Dessa forma, o presente capítulo relata os resultados obtidos no desenvolvimento do projeto, agrupando-os da seguinte forma: “eSurg-Arm”, “eSurg-Video” e “eSurg-Web”.

6.1 ESURG-ARM

O desenvolvimento do eSurg-Arm resultou na construção mecânica, na instrumentação, no controle e na validação de três sistemas que o compõe: o controle e instrumentação de movimento, o suporte articulado e o *Pan/Tilt/Roll/Zoom*. Esta sessão apresentará a finalização dos protótipos e os resultados dos ensaios e levantamentos realizados.

O levantamento de características da sala cirúrgica nº 1 do Hospital São Lucas da PUCRS, sala comumente utilizada para as transmissões de cirurgia (Figura 58), revelou um espaço em sala de 33,6 m² (8m x 4,2m), onde a distância mensurada entre a mesa cirúrgica e ambas as paredes laterais foi de 1,6m. A altura medida do foco cirúrgico foi de 2,1m e da mesa cirúrgica de 1m.

Figura 58 – Sala cirúrgica nº 1 do Hospital São Lucas da PUCRS



Fonte: Cardoso (2014)

Com base nessas medidas, definiu-se que o sistema deveria ter: 1) uma altura máxima de 2,10 metros e pelo menos três eixos para permitir o posicionamento da câmera sem colidir com os equipamentos em sala; 2) uma altura mínima de 1,90m, de forma a evitar que a equipe cirúrgica esbarre na estrutura e permitir que a mesma possa se aproximar da mesa cirúrgica; e 3) rodízios para a movimentação dentro e fora da sala.

A simulação, realizada a partir dos dados coletados, gerou um estudo em modelo 3D, apresentado na Figura 59.

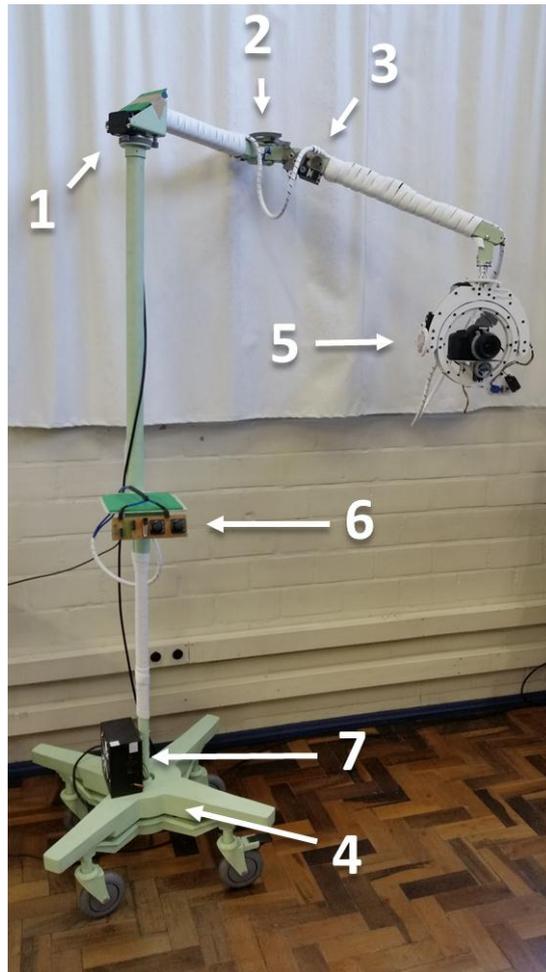
Figura 59 - Imagem 3D da estrutura mecânica do eSurg-Arm



Ambiente simulado no Software SolidWorks® para ensaio e validação das características definidas para sua construção do eSurg-Arm. 1) Suporte articulado com base móvel; 2) Sistema de *Pan/Tilt/Roll/Zoom*.
Fonte: Cardoso (2014).

A Figura 60 apresenta a montagem do eSurg-Arm, contendo a automatização das três juntas do suporte articulado, o *Pan/Tilt/Roll/Zoom*, as PCIs de controle principal e de interface com o usuário, a fonte de alimentação e a base móvel com contrapeso.

Figura 60 – eSurg-Arm



1) Junta 1; 2) Junta 2; 3) Junta 3; 4) Base do suporte articulado; 5) Sistema *Pan/Tilt/Roll/Zoom*; 6) Controle de movimentação do eSurg-Arm (hardware de interface com o usuário); 7) Fonte de alimentação do eSurg-Arm.
 Fonte: Cardoso (2014)

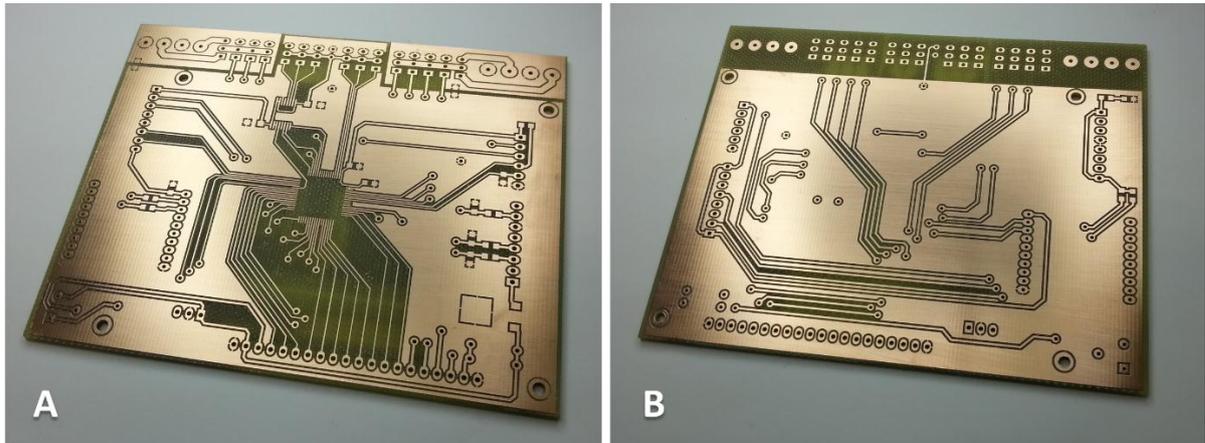
6.1.1 Instrumentação e controle

O desenvolvimento da instrumentação e controle resultou na instalação no eSurg-Arm de sete servo-motores, seis *encoders* de posição, uma interface com usuário por meio de joysticks, botões e LEDs e uma interface gráfica.

Nas Figuras Figura 61 e Figura 62, é possível visualizar as camadas do hardware principal e do hardware de interface com o usuário, ainda exibindo apenas a superfície em cobre, sem a deposição de uma liga de estanho/chumbo.

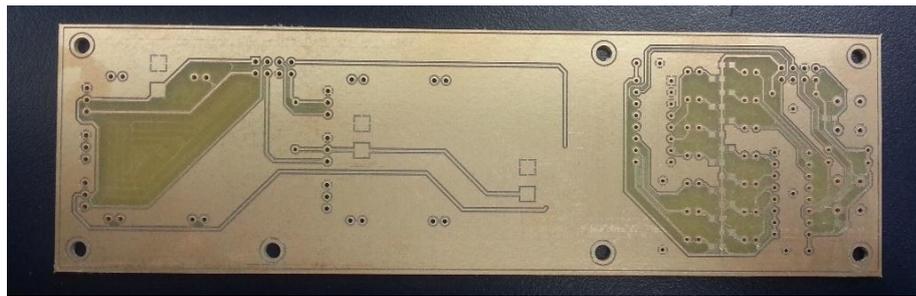
As Figuras Figura 63 e Figura 64 apresentam ambos os hardwares já montados com os componentes, onde a Figura 64 ilustra os diferentes elementos utilizados para a interface, que possibilitam ao usuário movimentar até três graus de liberdade simultaneamente, sendo desses dois configuráveis entre seis dos sete graus de liberdade disponíveis (o *Zoom* no sistema *Pan/Tilt/Roll/Zoom* é controlado apenas pelo potenciômetro *slide* - Figura 64.2).

Figura 61 – Placa do Circuito Impresso do hardware principal de controle, confeccionada na fresadora CNC PLKF S63 em duas camadas.



(A) Camada superior (TOP) da PCI; (B) Camada inferior da PCI (Bottom).
Fonte: Cardoso (2014)

Figura 62 - Placa do Circuito Impresso do hardware de interface com o usuário, confeccionada na fresadora CNC PLKF S63.



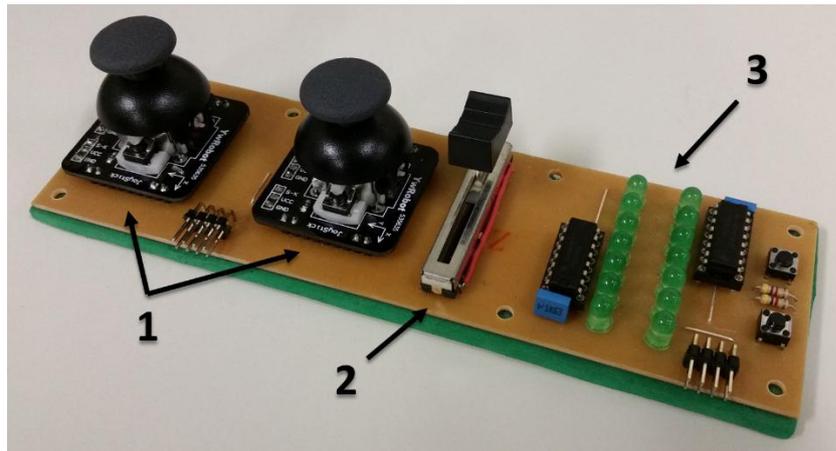
Fonte: Cardoso (2014)

Figura 63 – Hardware principal de controle do eSurg-Arm



Fonte: Cardoso (2014)

Figura 64 – Controle de movimento do eSurg-Arm (hardware de interface com o usuário)



1) *Joysticks* de controle dos servo-motores; 2) potenciômetro slide para controle do servo-motor responsável pelo posicionamento do Zoom no sistema *Pan/Tilt/Roll/Zoom*; 3) Barra dupla de LEDs para indicação do servo-motor sob o comando de cada um dos dois *Joysticks*.

Fonte: Cardoso (2014)

6.1.2 Processo de design e confecção de engrenagens

Como resultado dos ensaios realizados com a impressora Cliever CL1, as seguintes configurações foram escolhidas para impressão das 27 engrenagens utilizadas no projeto:

- Preenchimento: 30%
- Velocidade: 50%
- Perímetro: 3 linhas

6.1.3 Suporte articulado com base móvel

Como resultado das buscas de material realizadas, um suporte articulado de foco odontológico (Figura 11) e um suporte para soro com base móvel (Figura 8) foram selecionados para montagem do protótipo mecânico do eSurg-Arm.

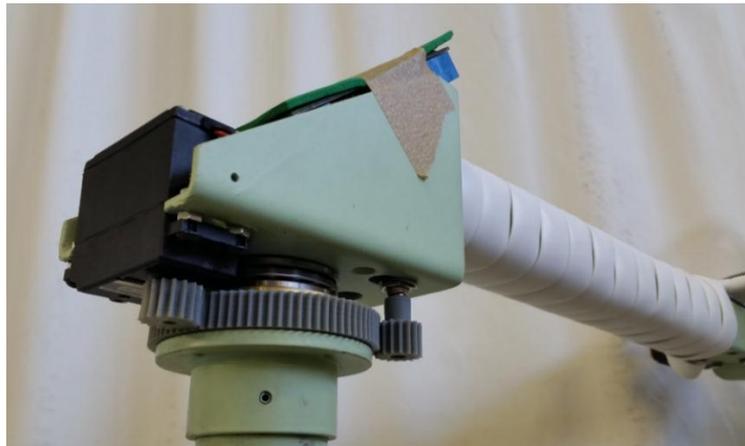
As três juntas do suporte articulado foram adaptadas e automatizadas conforme o design definido no projeto, permitindo a movimentação das hastes com um total de três graus de liberdade. Com as adaptações realizadas e limitações de segurança inseridas, a amplitude de movimento de cada junta ficou limitada em:

- Junta 1: 540° (por *software*)
- Junta 2: 225° (mecânica)
- Junta 3: 60° (mecânica)

Os ensaios realizados verificaram a necessidade de substituição dos apoios do motor e do *encoder* das juntas 2 e 3, pela maleabilidade apresentada nos mesmos, dado o material (alumínio) e espessura escolhidos (2mm). As novas peças foram confeccionadas em aço carbono 1020.

A montagem final de cada junta está ilustrada nas Figura 65 (Junta 1), Figura 66 (Junta 2) e Figura 67 (Junta 3).

Figura 65 - Imagem da Junta 1 automatizada (componentes especificados na Figura 30)



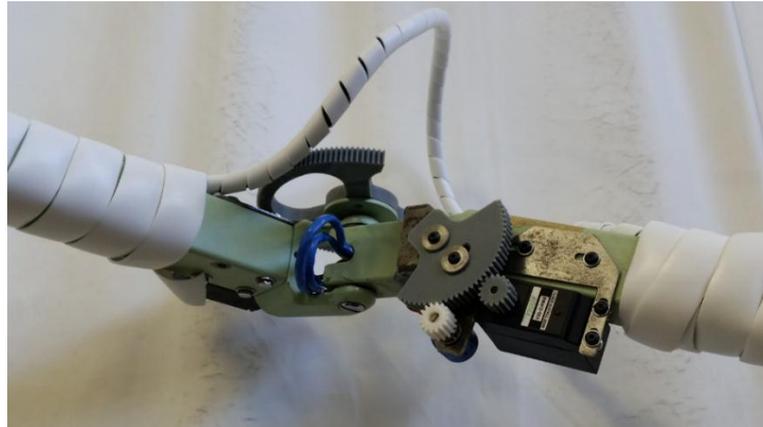
Fonte: Cardoso (2014)

Figura 66 - Imagem da Junta 2 automatizada (componentes especificados na Figura 32)



Fonte: Cardoso (2014)

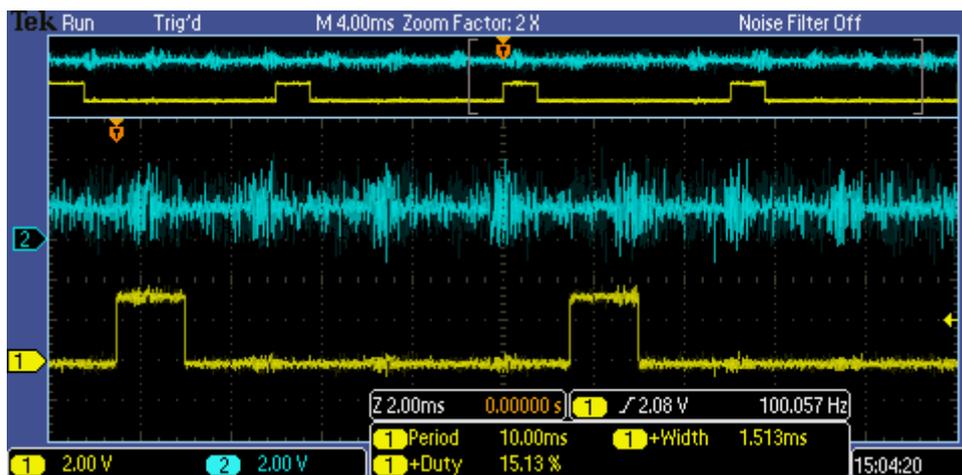
Figura 67 – Imagem da Junta 3 automatizada (componentes especificados na Figura 33)



Fonte: Cardoso (2014)

O primeiro ensaio realizado avaliou a resposta do PWM do μC MSP430F2619 nas três posições do *joystick* (lado esquerdo, direito e em repouso). A Figura 68 mostra a resposta do PWM com 15,13% de *duty cycle* para um sinal de 1,65V, que corresponde a posição de repouso do *joystick*. Na Figura 69, pode-se verificar a mudança do sinal do joystick para 0V (lado esquerdo) e o sinal do PWM em 11,13% de *duty cycle*, valor mínimo permitido pelo software do μC para a rotação no sentido anti-horário. Para a situação oposta, ilustrada na Figura 70, o sinal do joystick encontra-se em 3,3V e o sinal do PWM apresentou um período de 1,889ms, valor máximo para a rotação no sentido horário.

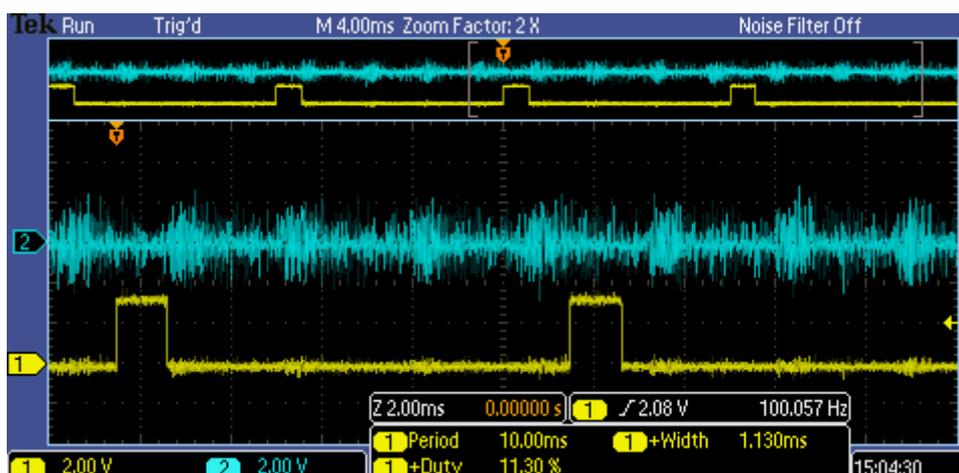
Figura 68 - Ensaio – Posição do *joystick* (repouso) x Sinal PWM gerado



Sinal 1 – Sinal gerado pela saída PWM do μC MSP430F2619. Período total de 10ms, *Duty Cycle* de 15,13% (1,513ms). Sinal 2 – Sinal da queda de tensão no potenciômetro (*joystick*) da placa de controle (interface com usuário) quando em repouso. Valor lido igual a 1,65V. Equipamento: osciloscópio Tektronix DPO 2024B.

Fonte: Cardoso (2014)

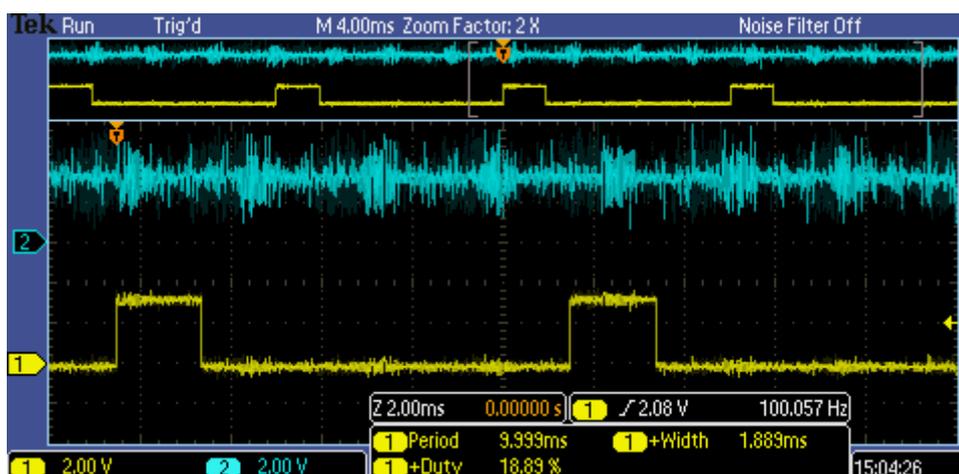
Figura 69 – Ensaio – Posição do *joystick* (lado esquerdo) x Sinal PWM gerado



Sinal 1 – Sinal gerado pela saída PWM do μC MSP430F2619. Período total de 10ms, *Duty Cycle* de 11,30% (1,130ms). Sinal 2 – Sinal da queda de tensão no potenciômetro (*joystick*) da placa de controle (interface com usuário) quando totalmente inclinado para o lado esquerdo. Valor lido igual a 0,0V. Equipamento: osciloscópio Tektronix DPO 2024B.

Fonte: Cardoso (2014)

Figura 70 - Ensaio – Posição do *joystick* (lado direito) x Sinal PWM gerado

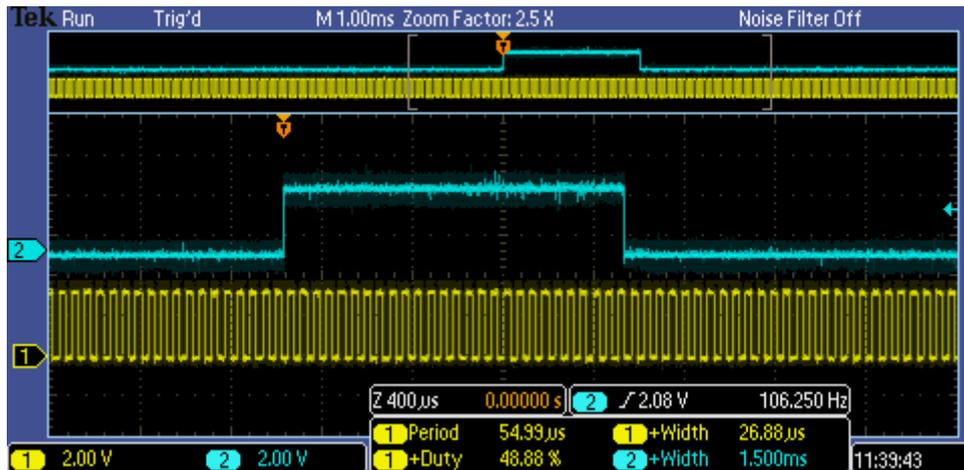


Sinal 1 – Sinal gerado pela saída PWM do μC MSP430F2619. Período total de 10ms, *Duty Cycle* de 18,89% (1,889ms). Sinal 2 – Sinal da queda de tensão no potenciômetro (*joystick*) da placa de controle (interface com usuário) quando totalmente inclinado para o lado direito. Valor lido igual a 3,3V. Equipamento: osciloscópio Tektronix DPO 2024B.

Fonte: Cardoso (2014)

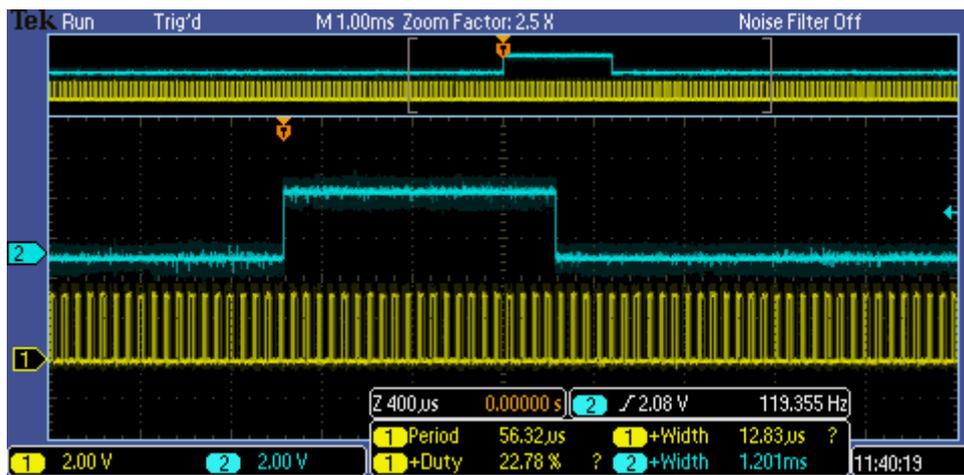
O segundo ensaio foi responsável por comparar o sinal PWM na entrada e na saída do μC MSP430F2013 em diferentes cenários. Na Figura 71, o sinal de entrada de 1,500ms de período em nível lógico alto é convertido em 48,88% de *duty cycle* do sinal de saída (esperado: 50%). A Figura 72 mostra um sinal de entrada de 1,201ms de período em nível lógico alto, enquanto o sinal de saída apresenta 22,78% de *duty cycle* (esperado: 20,1%). Na Figura 73, o sinal e entrada de 1,801ms de período em nível lógico alto resulta em um *duty cycle* de saída de 74,99%, divergindo em 5,01% do esperado.

Figura 71 - Ensaio – Sinal PWM de entrada ($T = 1,500\text{ms}$) x Sinal PWM de saída – $\mu\text{C MSP430F2013}$



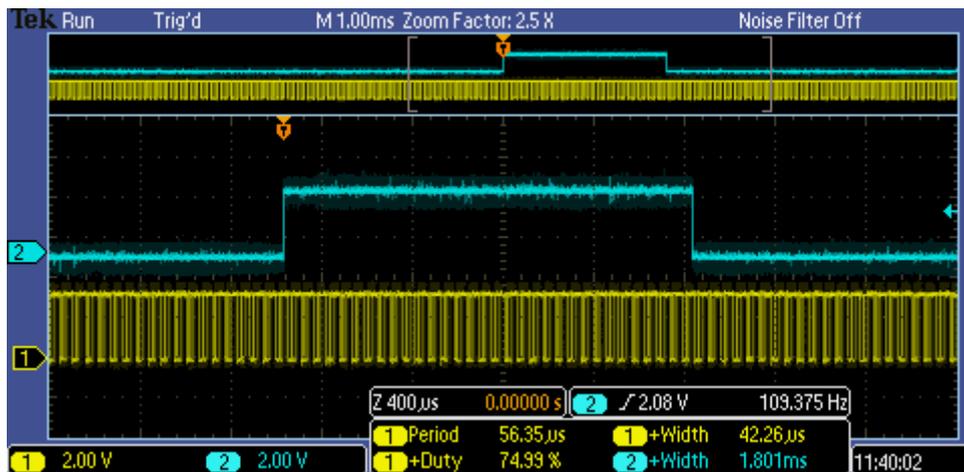
Sinal 1 – Sinal na saída PWM do $\mu\text{C MSP430F2013}$. Período total de $54,99\mu\text{s}$, *Duty Cycle* de $48,88\%$ ($26,88\mu\text{s}$).
 Sinal 2 – Sinal PWM recebido na entrada do $\mu\text{C MSP430F2013}$. Período total de 10ms , *Duty Cycle* de $15,00\%$ ($1,500\text{ms}$). Equipamento: osciloscópio Tektronix DPO 2024B.
 Fonte: Cardoso (2014)

Figura 72 – Ensaio – Sinal PWM de entrada ($T = 1,201\text{ms}$) x Sinal PWM de saída – $\mu\text{C MSP430F2013}$



Sinal 1 – Sinal na saída PWM do $\mu\text{C MSP430F2013}$. Período total de $56,32\mu\text{s}$, *Duty Cycle* de $22,78\%$ ($12,83\mu\text{s}$).
 Sinal 2 – Sinal PWM recebido na entrada do $\mu\text{C MSP430F2013}$. Período total de 10ms , *Duty Cycle* de $12,01\%$ ($1,201\text{ms}$). Equipamento: osciloscópio Tektronix DPO 2024B.
 Fonte: Cardoso (2014)

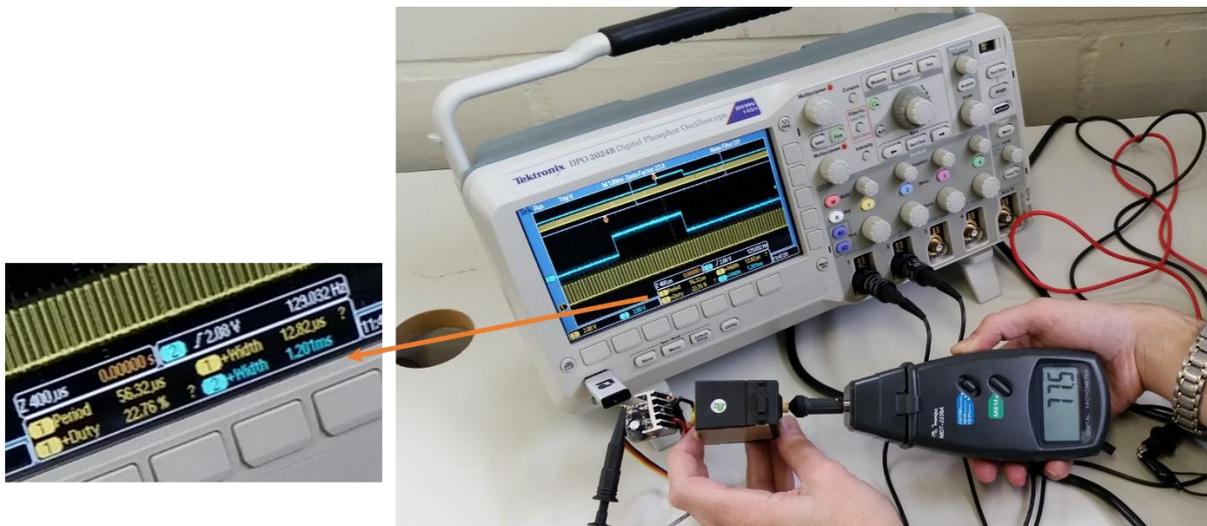
Figura 73 - Ensaio – Sinal PWM de entrada ($T = 1,801\text{ms}$) x Sinal PWM de saída – μC MSP430F2013



Sinal 1 – Sinal na saída PWM do μC MSP430F2013. Período total de $56,35\mu\text{s}$, *Duty Cycle* de 74,99% ($42,26\mu\text{s}$). Sinal 2 – Sinal PWM recebido na entrada do μC MSP430F2013. Período total de 10ms, *Duty Cycle* de 18,01% ($1,801\text{ms}$). Equipamento: osciloscópio Tektronix DPO 2024B.
Fonte: Cardoso (2014)

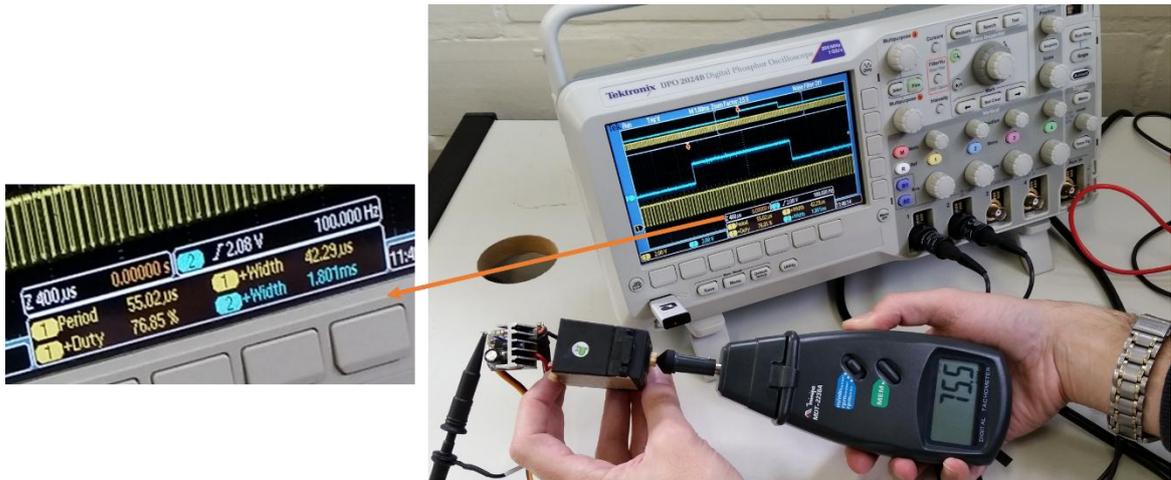
O terceiro ensaio avaliou a velocidade resultante do servo-motor quanto na presença dos sinais PWM do ensaio anterior. A Figura 74 ilustra a ativação com o sinal de $1,201\text{ms}$, o qual resultou em uma velocidade de 77,5 rpm. Na Figura 75, onde o sinal foi de $1,801\text{ms}$, a velocidade resultante 75,5 rpm.

Figura 74 – Ensaio – Sinal PWM μC MSP430F2619 ($T=1,201\text{ms}$) x Velocidade do servo-motor



Sinal 1 – Sinal na saída PWM do μC MSP430F2013. Período total de $56,32\mu\text{s}$, *Duty Cycle* de 22,76% ($12,82\mu\text{s}$). Sinal 2 – Sinal na saída PWM do μC MSP430F2619. Período total de 10ms, *Duty Cycle* de 12,01% ($1,201\text{ms}$). Velocidade do servo-motor: 77,5 rpm. Equipamentos: osciloscópio Tektronix DPO 2024B e tacômetro digital Minipa MDT-2238A.
Fonte: Cardoso (2014)

Figura 75 - Ensaio – Sinal PWM μ C MSP430F2619 ($T=1,801\text{ms}$) x Velocidade do servo-motor



Sinal 1 – Sinal na saída PWM do μ C MSP430F2013. Período total de 55,02 μ s, *Duty Cycle* de 76,85% (42,29 μ s).
 Sinal 2 – Sinal na saída PWM do μ C MSP430F2619. Período total de 10ms, *Duty Cycle* de 18,01% (1,801ms).
 Velocidade do servo-motor: 75,5 rpm. Equipamentos: osciloscópio Tektronix DPO 2024B e tacômetro digital Minipa MDT-2238A.
 Fonte: Cardoso (2014)

6.1.4 Sistema Pan/Tilt/Roll/Zoom

A busca de materiais para a construção do *Pan/Tilt/Roll/Zoom* resultou na seguinte lista de opções (considerando chapas de 2mm de espessura):

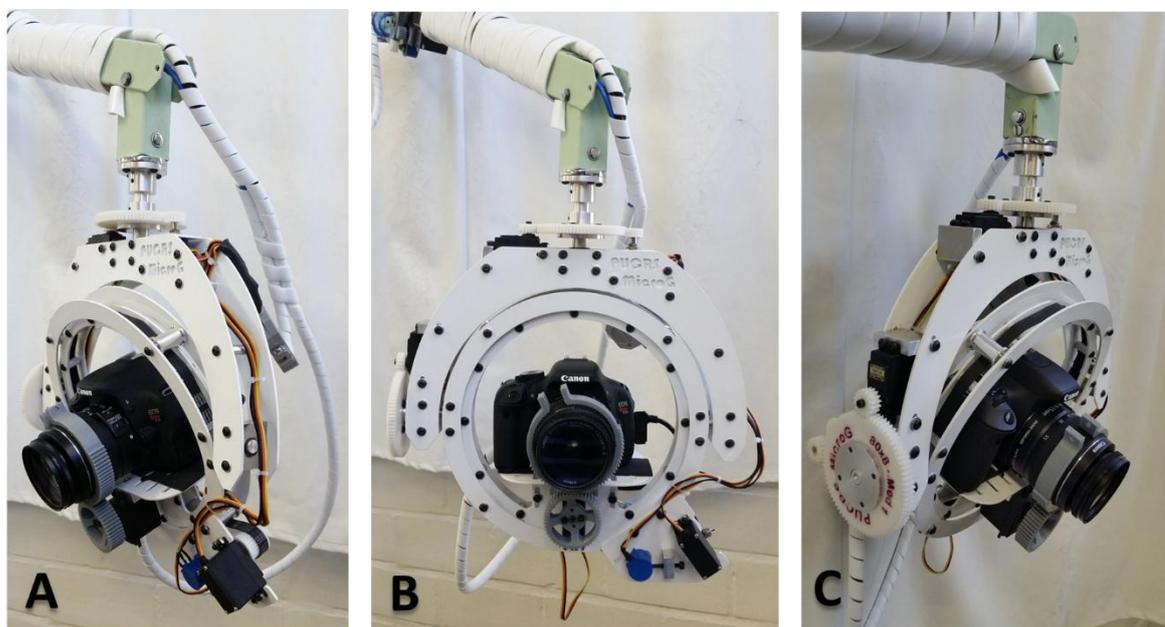
- Fibra de carbono: amplamente utilizado na construção de aeromodelos, sendo resistente e leve. Foi encontrado em lojas especializadas por um custo acima do orçamento para o projeto.
- Poliacetal: material leve, muito utilizado para diferentes projetos de automação, porém sua maleabilidade e resistência mostram-se inadequadas devido à possibilidade das chapas flambarem ou quebrarem com ação do peso da câmera e demais componentes. Nos testes, foi possível dobrar o material com o emprego das mãos.
- Aço carbono 1020: material resistente e rígido, amplamente encontrado para venda, porém seu peso se mostrou excessivo para a aplicação.
- Acrílico: fácil de ser encontrado, requer cuidado no processo de usinagem, porém é sensível aos produtos químicos utilizados na assepsia de salas cirúrgicas.

- Alumínio naval: leve, resistente e rígido, tendo um custo compatível com os valores estipulados para o orçamento. Foi o material escolhido para a confecção do *Pan/Tilt/Roll/Zoom*.

O *Pan/Tilt/Roll/Zoom* foi prototipado e instrumentado, resultando em um equipamento para movimentação de câmera com 192mm de diâmetro interno e quatro graus de liberdade (Figura 76). Com a colocação da câmera e as limitações de segurança inseridas, a amplitude de movimento de cada grau de liberdade ficou limitada em:

- *Pan*: 540° (por *software*)
- *Tilt*: 270° (mecânica)
- *Roll*: 360° (software)
- *Zoom*: 30° (mecânica – objetiva da câmera)

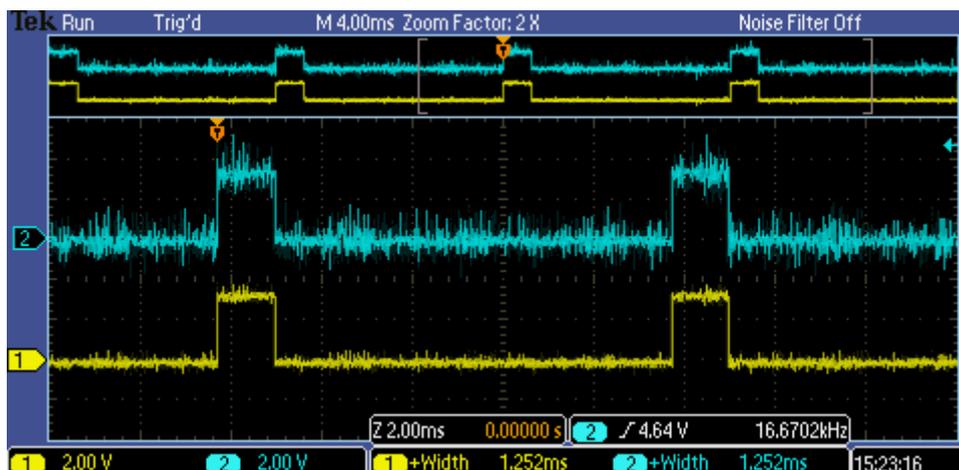
Figura 76 – Imagem do sistema *Pan/Tilt/Roll/Zoom* montado, com a câmera Canon instalada.



(A) Vista lateral direita; (B) Vista posterior; (C) Vista lateral esquerda.
Fonte: Cardoso (2014)

Os ensaios realizados para a análise de ruído devido ao cabeamento verificaram uma diminuição da relação sinal ruído (Figura 77), porém sem repercussão na movimentação dos servo-motores.

Figura 77 – Ensaio – Avaliação da diminuição da relação sinal ruído do sinal PWM devido ao cabeamento.



Sinal 1 – Sinal na saída PWM do μ C MSP430F2013. Sinal 2 – Sinal PWM recebido na entrada do servo-motor. Equipamento: osciloscópio Tektronix DPO 2024B. Fonte: Cardoso (2014)

6.2 ESURG-VIDEO

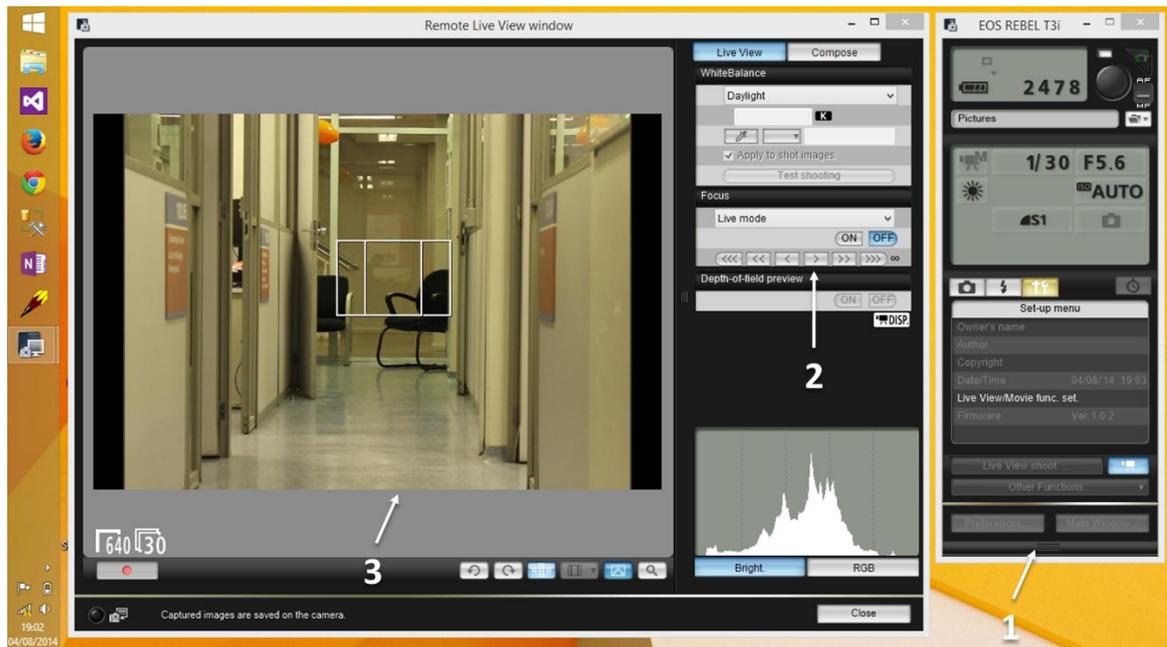
Na definição de uma sistemática para aquisição e transmissão de vídeos, os sistemas especificados no método foram testados e avaliados com o intuito de verificar sua adequação para a aplicação proposta, tendo seus resultados apresentados nessa sessão.

6.2.1 Aquisição de vídeos

O levantamento realizado apontou o software Canon EOS Utility (Figura 78) para o controle a distância da câmera fotográfica em sistemas Windows, o software DLSR Controller (Figura 79) como opção para smartphone e tablete e a Canon EOS 600D para a aquisição das imagens.

Para a calibração da câmera, prévia à chegada do paciente na sala cirúrgica, foi definido o seguinte protocolo: (1) Colocação de alvos de avaliação de resolução (Figura 80.A) e cor (Figura 80.B) na mesa cirúrgica; (2) Posicionamento da câmera, simulando a aquisição de imagens de uma cirurgia real; (3) Configuração da ISO e da abertura de diafragma com base na iluminação da sala e profundidade de campo pretendida; (4) Configuração do balanço de cor, com base no alvo de avaliação de cor, utilizando o sistema de calibração manual da câmera; (5) Configuração da resolução e da taxa de quadros com base no alvo de avaliação de resolução; (6) Ensaio de zoom e foco, de forma a estimar, para cada um, a amplitude de variação necessária para a aquisição das imagens da cirurgia.

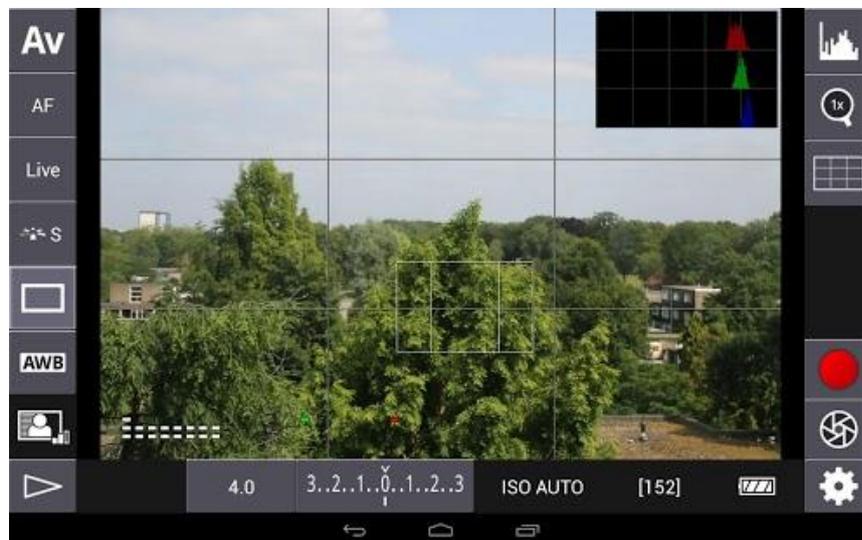
Figura 78 – Janela do aplicativo EOS Utility



1) Painel principal de controle das configurações da câmera; 2) Controle de foco (manual e automático); 3) Visualização da imagem do visor da câmera em tempo real.

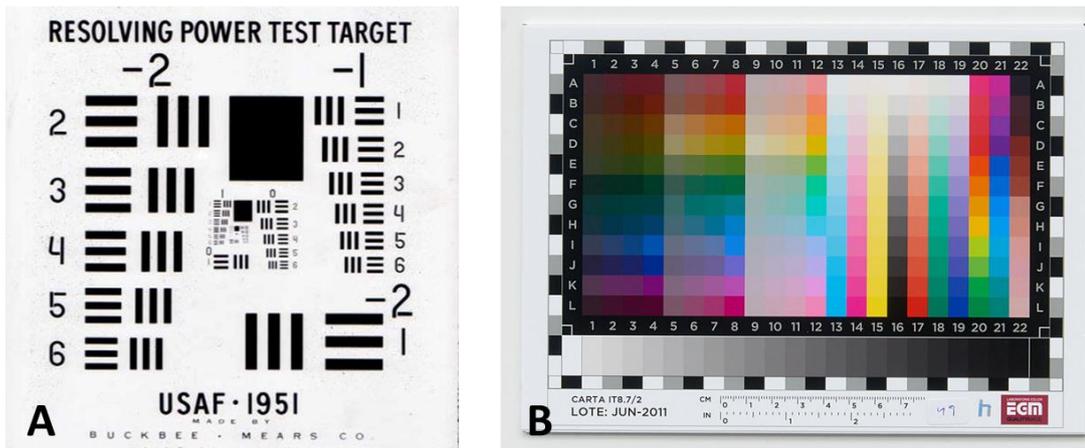
Fonte: Cardoso (2014)

Figura 79 – Janela do aplicativo DSLR Controller versão Beta, ilustrando as opções de controle remoto da Câmera Canon.



Fonte: Google Play - DSLR Controller (BETA)

Figura 80 – Alvos de avaliação para calibração de câmeras

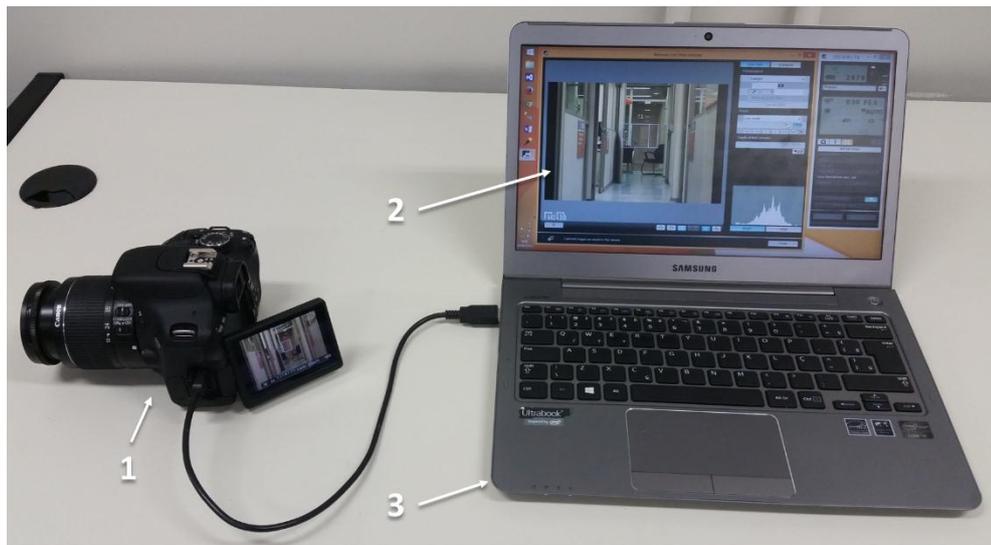


Exemplos de alvos de avaliação de (A) resolução e (B) de cor;

Fonte: (A) JAMKO TECHNICAL SOLUTIONS (2013); (B) EGM LABORATORIES (2013)

O primeiro ensaio realizado analisou o uso do software EOS Utility, ilustrado pela Figura 81, o qual teve sucesso no controle das diferentes funções da câmera.

Figura 81 - Ensaio do controle das funcionalidades da Canon EOS 600D pelo software EOS Utility

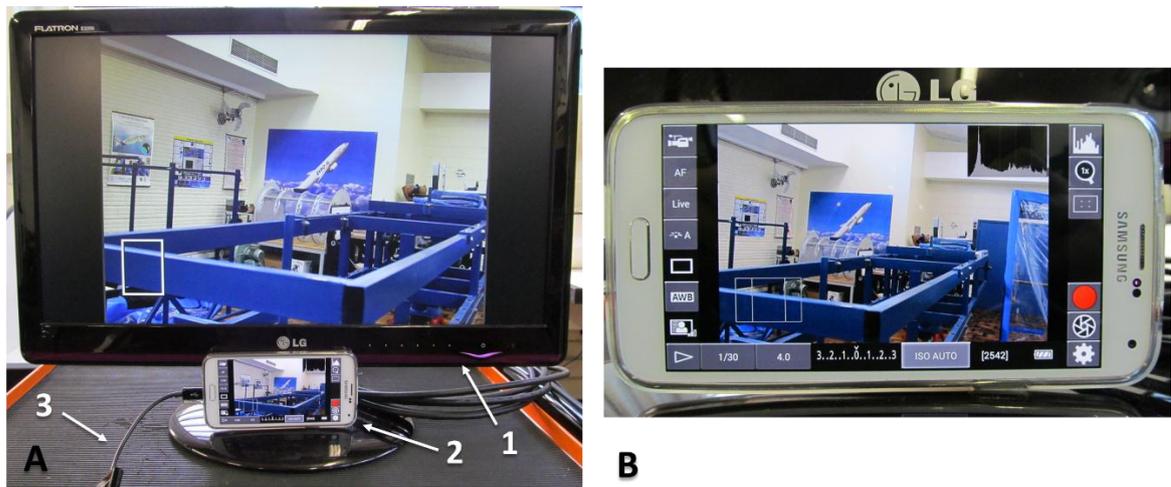


1) Câmera Canon EOS 600D; 2) Software EOS Utility; 3) Notebook Samsung Série 5 Ultra.

Fonte: Cardoso (2014)

A Figura 82 mostra o segundo ensaio realizado, no qual foi possível visualizar a transmissão da câmera para um monitor (Figura 82.A.1) conectado via HDMI, bem como controlar remotamente as suas funções, utilizando um smartphone Samsung Galaxy S5 (Figura 82.B) com o aplicativo DSLR Controller.

Figura 82 – Ensaio do controle e transmissão do vídeo capturado pela câmera Canon EOS 600D em tempo real, utilizando um Samsung Galaxy S5.



(A) Visão geral do controle e transmissão das imagens. 1) Monitor LCD LG Flatron E2250 exibindo a imagem transmitida da câmera por conexão HDMI; 2) Smartphone Samsung Galaxy S5 conectado via USB à câmera Canon; 3) Conector Samsung USB ET-R205UBE que permite a conexão da câmera no smartphone; (B) Janela do aplicativo DLSR Controller, na qual é possível comandar remotamente as funções da câmera Canon.

Fonte: Cardoso (2014)

A Figura 83 ilustra a transmissão, em tempo real, da câmera Cânon (Figura 83.1), já instalada no eSurg-Arm.

Figura 83 – Ensaio da visualização do vídeo capturado pela câmera Canon EOS 600D em tempo real



1) Câmera Canon EOS 600D transmitindo, por HDMI, o vídeo capturado em tempo real; 2) Monitor LCD LG exibindo as imagens transmitidas pela câmera.

Fonte: Cardoso (2014)

6.2.2 Transmissão de vídeos

Na modalidade assíncrona, foi possível realizar a compressão de vídeos utilizando as tecnologias propostas, o que resultou na capacidade da plataforma de oferecer diferentes

resoluções de vídeo para seus usuários e, assim, melhor atender suas disponibilidades de banda.

As tecnologias escolhidas foram:

- Técnica de streaming: o *adaptive bit rate*, por possibilitar a disponibilização de múltiplas versões de um mesmo arquivo, cada uma utilizando uma taxa de compressão e/ou resoluções diferentes, para *streaming* de vídeo para o usuário.
- Formato de transmissão: o MPEG-TS (MPEG 2 *Transport Stream*), utilizado pela tecnologia Apple HLS, escolhida para o projeto em virtude de sua abrangência de mercado (OZER, 2013).
- Formato de compressão: o H.264 (MPEG-4 Part 10) por suas características de compressão eficiente e rápida, amplamente utilizado de forma comercial e também em aplicações similares.
- Servidor de mídia: não é utilizado pela tecnologia escolhida.
- Visualizador: o JW Player por possuir uma versão sem custo e trabalhar com Apple HLS, tecnologia escolhida para o projeto.

Com base na equação (6), foram propostas as seguintes resoluções @ taxas de bits (bits por pixel): 320x240@320Kbps (0,139), 512x384@680Kbps (0,115) e 640x480@1100Kbps (0,119), valores superiores aos descritos por MUTTER et al. (2011).

Com base na avaliação visual das imagens e a utilização da equação (6), foram definidos os seguintes perfis de compressão:

- Configurações comuns a todos os perfis de compactação.
 - Intervalo de Keyframe: 3 seg
 - Duração de fragmento: novo a cada 6 seg
 - Filtros: desentrelaçamento e corte
- Perfil de 240p
 - Resolução: 320x240 pixels
 - Taxa de quadros: 1:1 (29,970fps)
 - Taxa de bits: 320 Kbps
 - Método de compressão: 1-Pass VBR (max data rate 150%)
 - Perfil AVC: main

- Perfil de 384p
 - Resolução: 512x384
 - Taxa de quadros: 1:1 (29,970fps)
 - Taxa de bits: 680 Kbps
 - Método de compressão: 1-Pass VBR (max data rate 150%)
 - Perfil AVC: main
- Perfil de 480p (resolução máxima devido à resolução do vídeo de origem)
 - Resolução: 640x480 pixels
 - Taxa de quadros: 1:1 (29,970fps)
 - Taxa de bits: 1.100 Kbps
 - Método de compressão: 1-Pass VBR (max data rate 150%)
 - Perfil AVC: main

Como resultado, foi possível para o usuário escolher a versão que melhor atendia a sua velocidade de conexão, podendo alterá-la a qualquer momento caso necessário.

Na modalidade síncrona, o sistema selecionado foi o Polycom HD7000. Os testes resultaram na transmissão bem sucedida do áudio e vídeo capturados pela câmera Canon EOS 600D, sendo possível visualizar as imagens com nitidez e perceber o som com clareza.

6.3 ESURG-WEB

Os resultados obtidos pelo design e prototipação do eSurg-Web são apresentados nessa sessão, ilustrando suas funcionalidades e uso como ferramenta educacional de conteúdos relacionados à saúde.

6.3.1 Design da plataforma

O design da plataforma resultou múltiplos conjuntos de informações, os quais foram estruturados em quatro blocos: Cursos, Conteúdos, Atividades e Usuários, como segue:

- Cursos
 - Estabeleceu a organização das atividades educativas, definindo temas, módulos e turmas e utilizando o conhecimento do bloco Conteúdos que será explorado pelos estudantes. Contém os seguintes elementos:

- Tema
Título e descrição.
- Turma
Código e data de início.
- Módulo
Título.
- Registro de desempenho
Data, acertos e erros dos estudantes.
- Conteúdos
Definiu a organização e relação entre todas as informações referentes ao caso clínico, procedimento cirúrgico, exames complementares e tarefas, servindo de repositório de conhecimento para ser utilizado pelo bloco Curso. Contém os seguintes elementos:
 - Caso clínico e procedimento cirúrgico
Diagnóstico, diagnóstico diferencial, história clínica, sexo, idade e peso do paciente, QP, HDA, HMP, exame físico, procedimento realizado, nome do cirurgião, local e data.
 - Exames complementares
Tipo de exame, laudo e imagens.
 - Vídeos
Título, formato, nome do arquivo, dimensões da janela, configurações do visualizador, manifesto para o servidor (Designação das informações fornecidas ao final da etapa de edição/compressão/conversão pelo software Sorenson Squeeze).
 - Tarefas
Orientação, explicação da resposta correta, tipo de exercício da tarefa, exercícios.
- Atividades

Estabeleceu a interação dos estudantes com o conteúdo selecionado, apresentando as informações relativas ao caso e possibilitando a visualização dos vídeos das cirurgias, bem como a realização de exercícios.

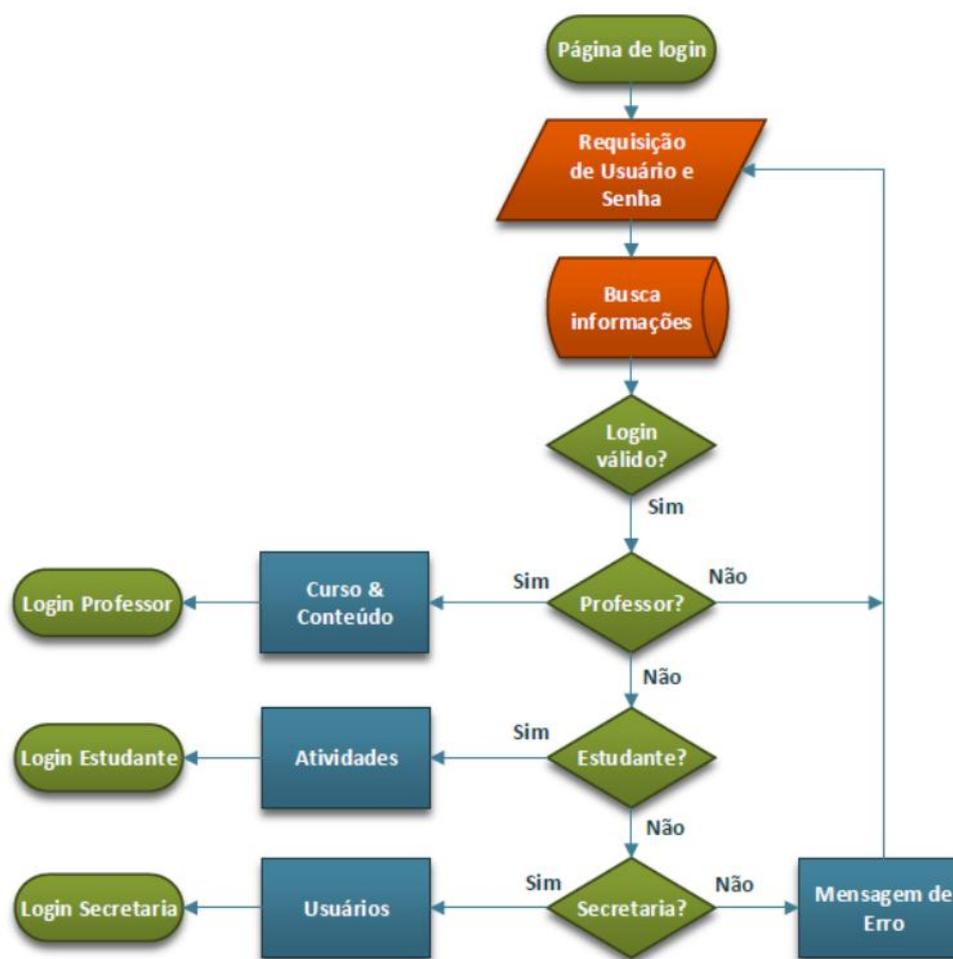
- **Usuários**

Definiu os papéis necessários para o funcionamento e o gerenciamento da plataforma, garantindo o acesso conforme a área de atuação. Contém os seguintes elementos:

- Professor: responsável pela criação, edição e exclusão de conteúdo, cursos e atividades;
- Estudante: responsável por realizar as atividades associadas a ele;
- Secretaria: responsável por incluir, editar e excluir alunos, professores e secretários do cadastro de usuários, bem como por vincular os estudantes às suas respectivas turmas.

O fluxograma da Figura 84 ilustra o processo estabelecido para a autenticação de cada usuário, o qual identifica o papel do mesmo no sistema e o encaminha para a interface correta.

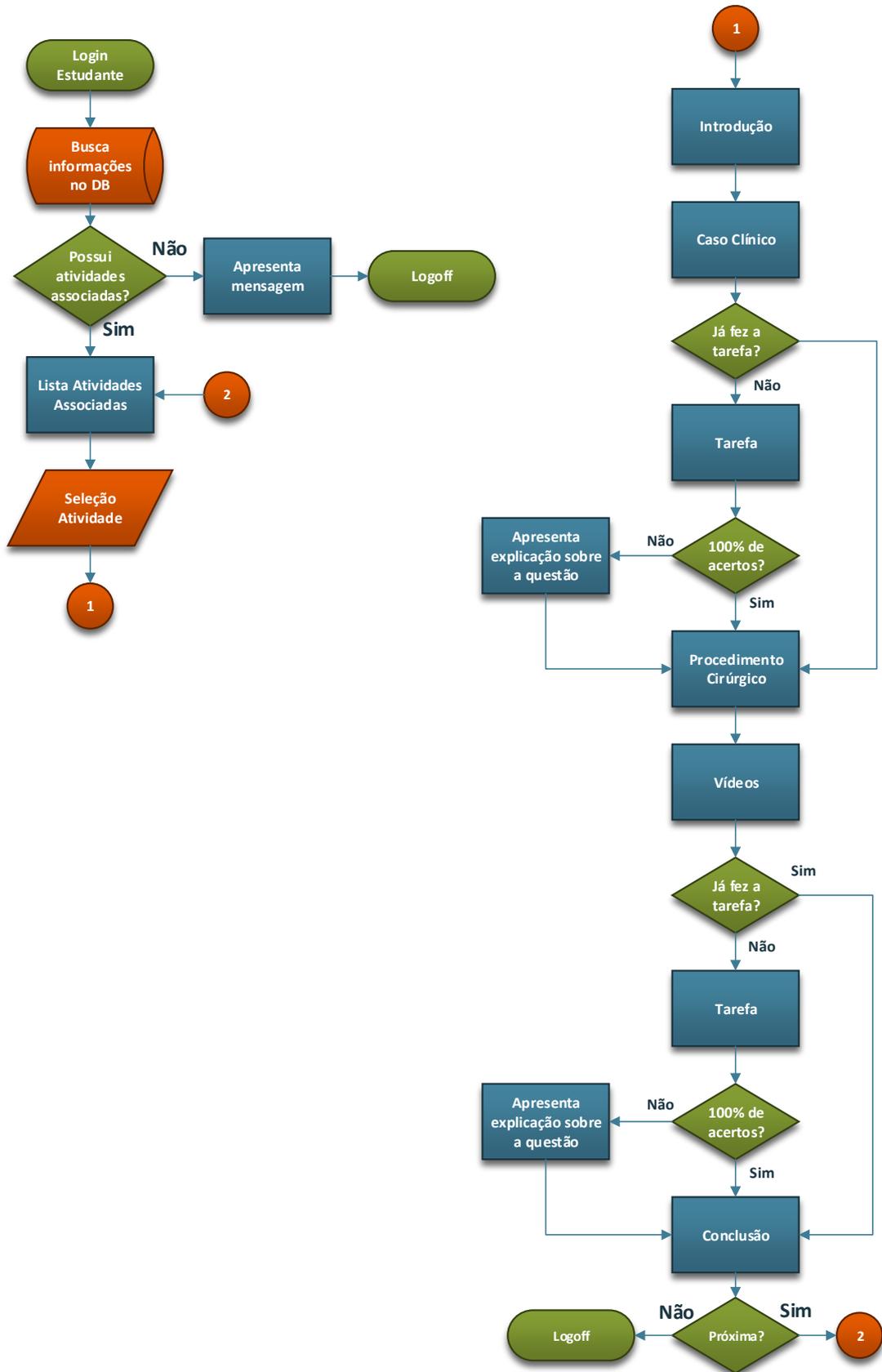
Figura 84 – Fluxograma de acesso por autenticação de usuário.



Fonte: Cardoso (2014)

A partir da autenticação de um estudante, o fluxograma da Figura 85 estabelece o desenvolvimento das atividades dos alunos por meio da visualização do conteúdo e realização as tarefas interativas de forma estruturada. Esse encadeamento de ações tem como início a autenticação do estudante.

Figura 85 – Fluxograma da realização das atividades, tendo como ponto inicial a autenticação do estudante na plataforma.



Foram definidos cinco tipos de tarefas, onde para cada um foi criado um exemplo de forma a guiar o desenvolvimento das classes e do layout da plataforma para a inclusão, apresentação e registro de tarefas, como segue:

- Associação múltipla (Figura 86);
- Associação simples (Figura 87);
- Verdadeiro ou falso (Figura 88);
- Múltipla escolha (Figura 89);
- Ordenação (Figura 90);

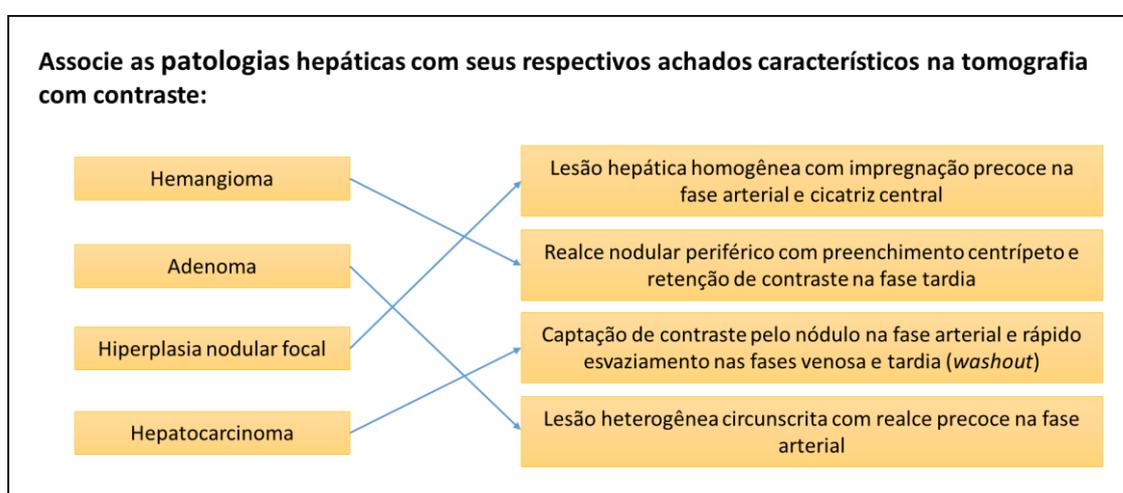
Figura 86 – Estudo para construção de exercício do tipo associação múltipla.

Associe as patologias com os sintomas do seu quadro clínico mais comum:

	Adenocarcinoma em antro gástrico	Doença do refluxo gastroesofágico	Úlcera péptica	Carcinoma epidermóide de esôfago
História de tabagismo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Emagrecimento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Disfagia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pirose	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fonte: Cardoso (2014)

Figura 87 - Estudo para construção de exercício do tipo associação simples.



Fonte: Cardoso (2014)

Figura 88 – Estudo para construção de exercício do tipo verdadeiro ou falso.

Sobre as doenças do fígado, marque as afirmativas falsas (F) e verdadeiras (V):

A hiperplasia nodular focal é uma malformação vascular, mais frequente em mulheres e na maioria dos casos assintomáticos com diagnóstico acidental	V
O adenoma hepatocelular tem forte relação com o uso de anticoncepcional hormonal e esteroides	V
Na hidatidose hepática o homem é o hospedeiro definitivo do cestódeo e causa muitos sintomas	F
Hemangioma hepático é pouco comum sendo o tratamento cirúrgico realizado na maioria dos casos independente do tamanho da lesão	V
Hepatocarcinoma pode ocorrer na presença ou ausência de cirrose hepática	F

Fonte: Cardoso (2014)

Figura 89 - Estudo da construção de exercício do tipo múltipla escolha.

Sobre o adenocarcinoma gástrico, marque as alternativas verdadeiras:

Toque retal e exame das fossas supra-claviculares fazem parte do exame físico inicial para avaliar a extensão da doença	
Seus sintomas são semelhantes ao de patologias gástricas benignas, sendo o emagrecimento sintoma prevalente e que ajuda no diagnóstico diferencial com estas patologias	
A biópsia de lesões ulcerosas gástricas é obrigatória para excluir neoplasia pois podem ter aspecto semelhante a lesões malignas	
Apenas I	<input type="checkbox"/>
I e II	<input type="checkbox"/>
I e III	<input type="checkbox"/>
II e III	<input type="checkbox"/>
I, II, III	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Cardoso (2014)

Figura 90 - Estudo para construção de exercício do tipo ordenação.

Ordene as camadas da região inguinal, da mais externa à mais interna:

4	Fascia Transversalis
2	Músculo oblíquo interno
5	Peritôneo
1	Músculo oblíquo externo
3	Músculo transverso do abdome

Fonte: Cardoso (2014)

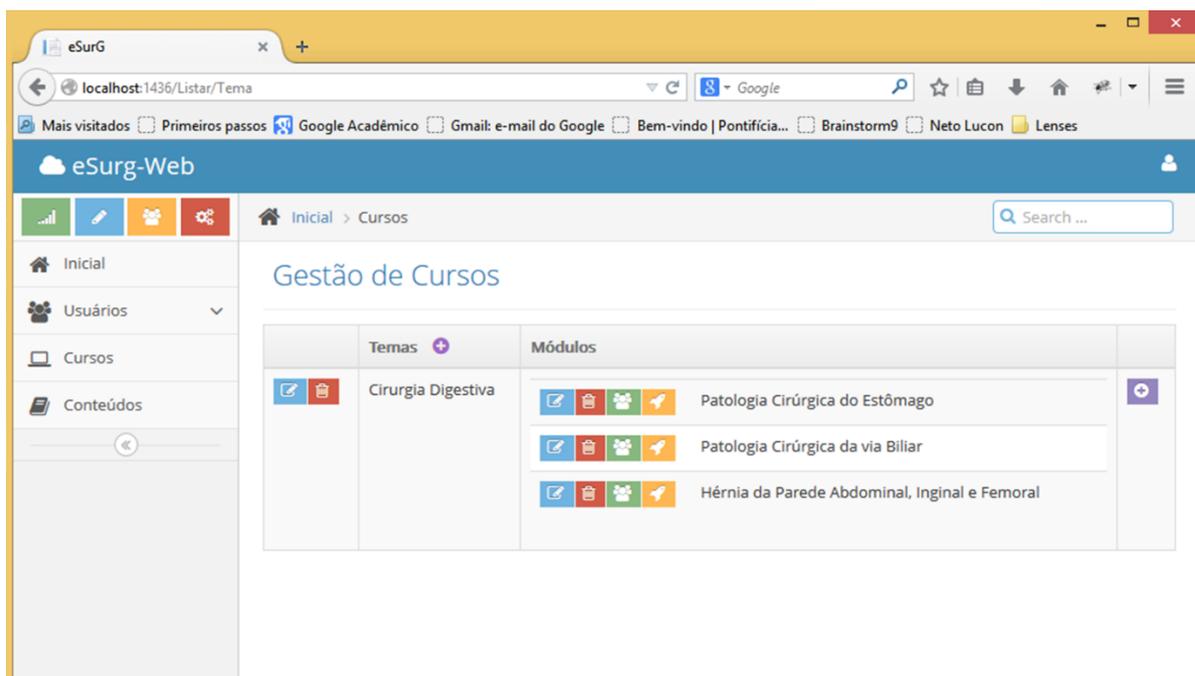
6.3.2 Prototipação da plataforma

Nessa sessão, escolheu-se por dar um enfoque maior às funcionalidades desenvolvidas, sem detalhar em excesso as classes e algoritmos elaborados, devido ao volume de código fonte desenvolvido (112 classes) e as especificidades da prototipação de software. Para tanto, os resultados foram agrupados em quatro blocos: Cursos, Conteúdos, Atividades e Usuários.

6.3.2.1 *Bloco Cursos*

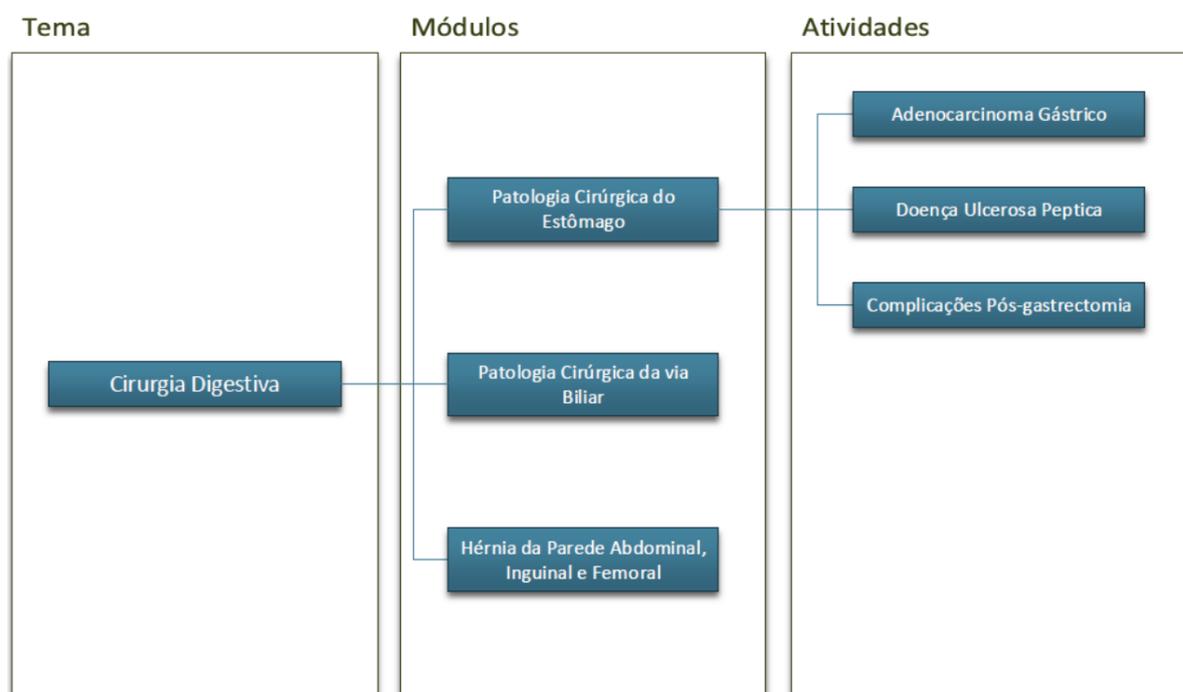
O bloco Cursos possibilitou a criação de uma interface (Figura 91) para estruturação e organização do conteúdo armazenado na plataforma, permitindo ao professor propor diferentes temas a serem estudados pelos acadêmicos. Cada tema pode ter um ou mais módulos com atividades, onde cada atividade apresenta um caso clínico e seu respectivo procedimento cirúrgico (Figura 92).

Figura 91 - Exemplo da janela de gerenciamento dos temas e seus respectivos módulos



Fonte: Cardoso (2014)

Figura 92 – Exemplo da distribuição dos módulos de um tema e suas respectivas tarefas.

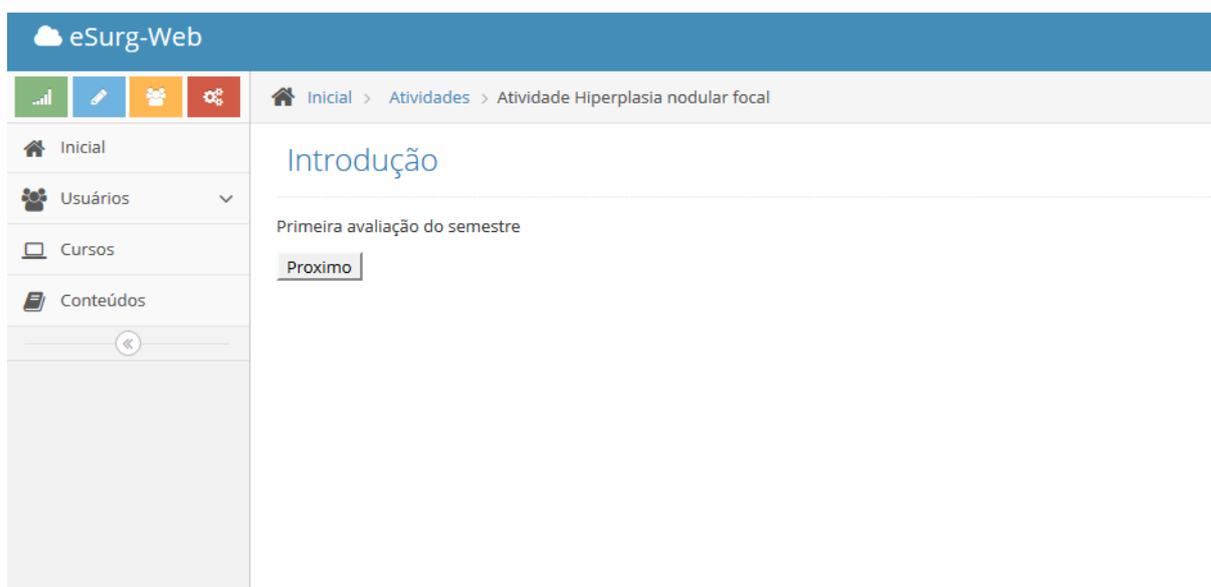


Fonte: Cardoso (2014)

6.3.2.2 Bloco Atividades

A partir da especificação do fluxograma de encadeamento dos conteúdos durante a atividade (Figura 85), foi criada uma página para cada etapa a ser visualizada pelo usuário: início (Figura 93), caso (Figura 94), cirurgia, vídeo(s), conclusão e tarefa(s).

Figura 93 - Exemplo da etapa inicial da atividade



Fonte: Cardoso (2014)

Figura 94 - Exemplo da etapa de apresentação do caso clínico do paciente

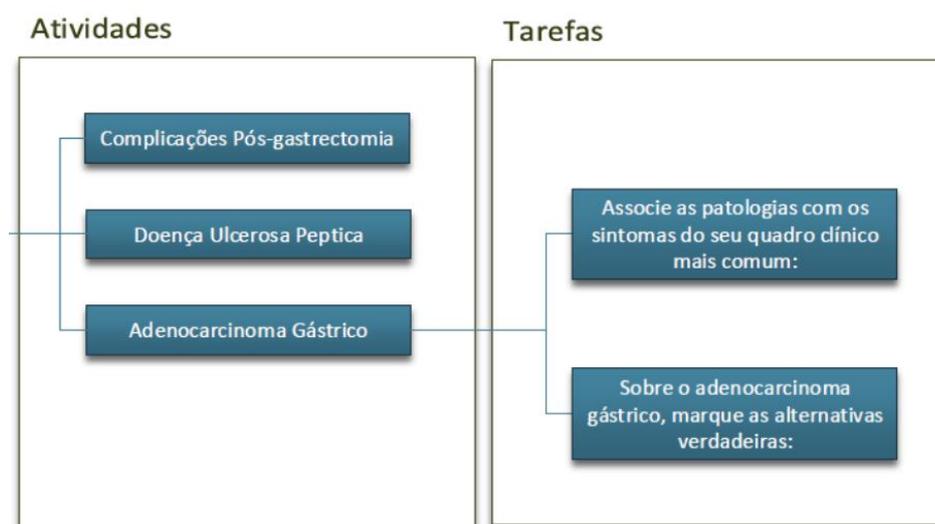


Fonte: Cardoso (2014)

A visualização dos vídeos dos procedimentos cirúrgicos pôde ser feita com sucesso. O *player* utilizado permitiu a troca de resolução das imagens por meio de uma lista de opções presente no canto inferior direito do mesmo.

Para permitir a interatividade dos alunos com o conteúdo, uma ou mais tarefas podem ser adicionadas a cada atividade (Figura 95), onde cada tarefa pode ser estruturada em um dos cinco tipos propostos: associação múltipla, associação simples (Figura 96), verdadeiro ou falso (Figura 97), ordenação e múltipla escolha, como ilustrado pelas imagens a seguir:

Figura 95 – Exemplo da distribuição das tarefas de uma atividade.



Fonte: Cardoso (2014)

Figura 96 – Exemplo de tarefa do tipo associação simples

Fonte: Cardoso (2014)

Figura 97 – Exemplo de tarefa do tipo verdadeiro ou falso

Resposta	Verdadeiro?
A hiperplasia nodular focal é uma malformação vascular, mais frequente em mulheres e na maioria dos casos assintomáticos com diagnóstico acidental	<input type="checkbox"/>
O adenoma hepatocelular tem forte relação com o uso de anticoncepcional hormonal e esteroides	<input type="checkbox"/>
Na hidatidose hepática o homem é o hospedeiro definitivo do cestódeo e causa muitos sintomas	<input type="checkbox"/>
Hemangioma hepático é pouco comum sendo o tratamento cirúrgico realizado na maioria dos casos independente do tamanho da lesão	<input type="checkbox"/>
Hepatocarcinoma pode ocorrer na presença ou ausência de cirrose hepática	<input type="checkbox"/>

Enviar e Próximo

Fonte: Cardoso (2014)

6.3.2.3 Bloco Conteúdos

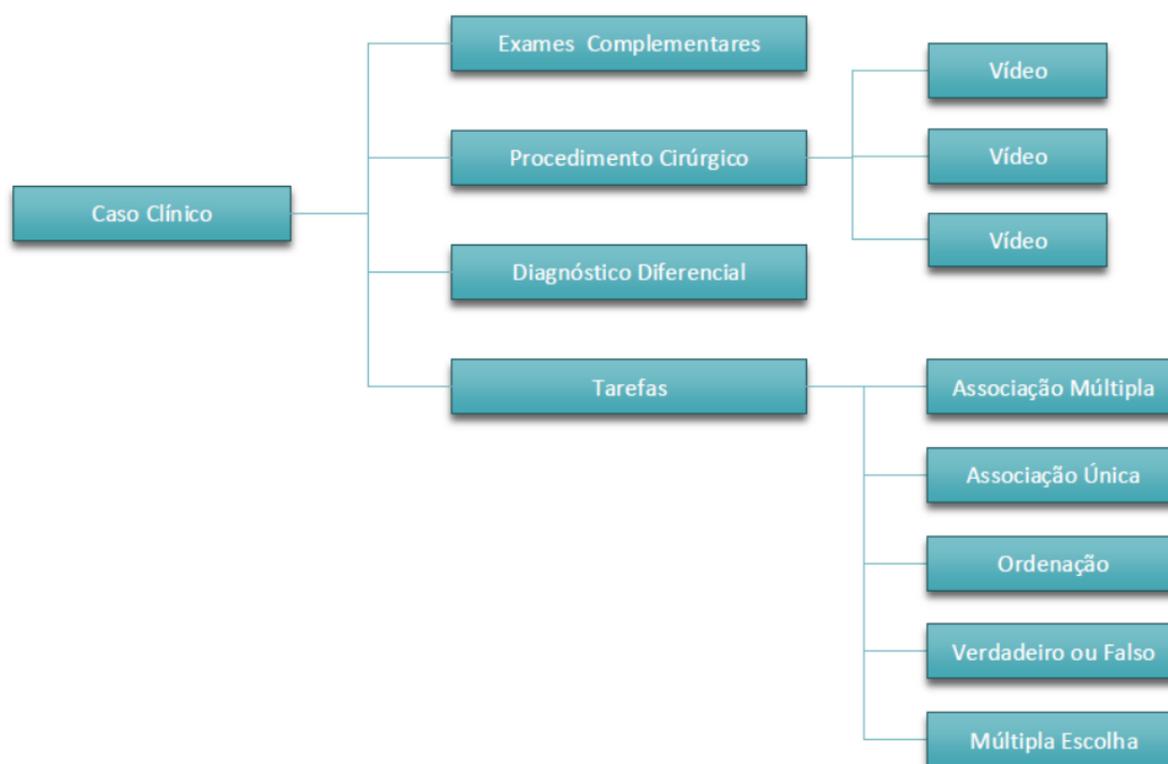
A interface do bloco Conteúdos (Figura 98) foi desenvolvida de forma a permitir o gerenciamento de toda a base de conhecimento armazenado na plataforma (Figura 99), a qual é utilizada pelo bloco Cursos para a criação de temas, módulos e atividades.

Figura 98 – Exemplo da janela de gerenciamento do conteúdo da plataforma.

Data	Diagnósticos	História Clínica	Procedimento	Vídeos
ago-2007	Adenocarcinoma gástrico tipo intestinal	Paciente iniciou com episódios de epigastralgia, principalmente à noite, pirose, eructação e náusea associados a emagrecimento de 10 kg nos últimos 3 meses. Nega hematêmese, melena e disfagia. Sintomas aliviavam parcialmente com o uso de analgésicos e de antiácidos. Realizada endoscopia digestiva alta com biópsia onde foi observada a presença de lesão localizada em antro gástrico. Tomografia de tórax, abdome e pelve não identificaram alterações.	Gastrectomia subtotal com linfadenectomia D2 modificada e reconstrução do trânsito gastrointestinal em Y de Roux	Completo
dez-2009	Hiperplasia nodular focal	Paciente com dor abdominal há 4 meses localizada em quadrante superior direito de moderada intensidade, intermitente, sem irradiação e sem relação com fatores desencadeantes e de alívio. Sem alteração nas provas de função hepática. Realizada ecografia abdominal que evidenciou lesão hepática isoecóica e tomografia de abdome com contraste que mostrou lesão hepática homogênea com impregnação precoce na fase arterial e cicatriz central.	Segmentectomia hepática - segmento III	Parte I Parte II

Fonte: Cardoso (2014)

Figura 99 – Distribuição dos diferentes conteúdos da plataforma.

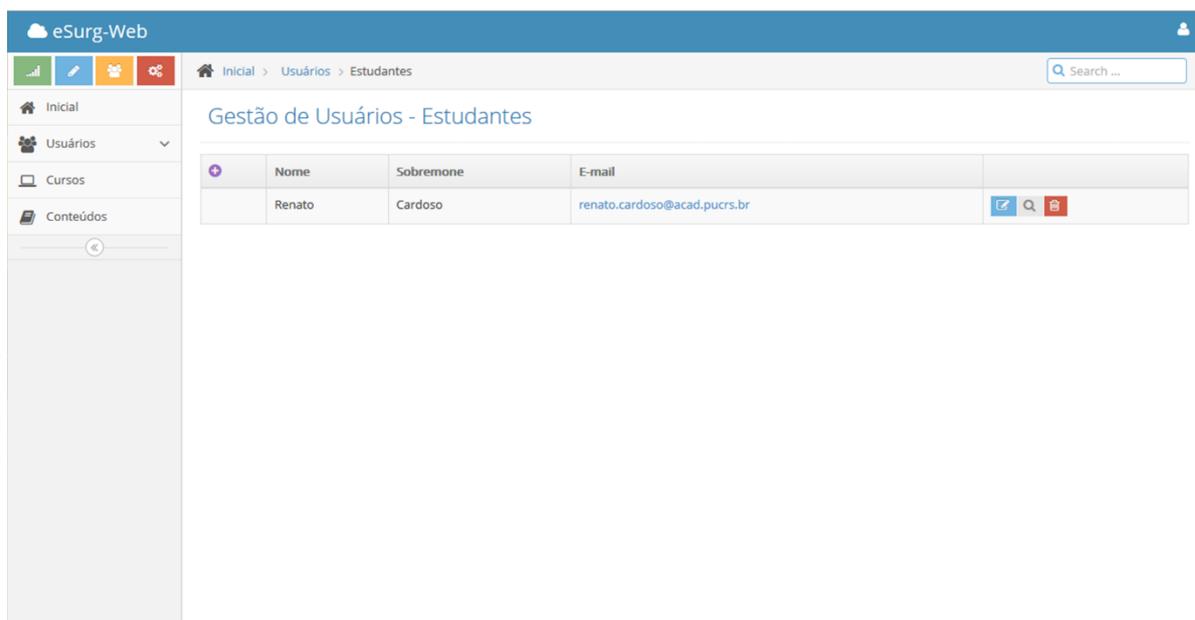


Fonte: Cardoso (2014)

6.3.2.4 *Bloco Usuários*

A vinculação dos usuários (estudantes e professores) às turmas de cada módulo é realizada pelo bloco Usuários por meio de uma interface desenvolvida (Figura 100), a qual também permite a inclusão, a adição e a exclusão de usuários. Para a autenticação, a janela ilustrada pela Figura 101 foi empregada.

Figura 100 - Exemplo da janela de gerenciamento dos usuários da plataforma.



The screenshot shows the 'eSurg-Web' user management interface. The top navigation bar includes 'Inicial', 'Usuários', and 'Estudantes'. The main content area is titled 'Gestão de Usuários - Estudantes' and displays a table with the following data:

	Nome	Sobremome	E-mail	
	Renato	Cardoso	renato.cardoso@acad.pucrs.br	  

Fonte: Cardoso (2014)

Figura 101 – Janela de login da plataforma



The screenshot shows the login page for 'eSurg Web' by 'eHealthLab'. The page features a central login form with the following elements:

- Header: 'eSurg Web' logo and '© eHealthLab' text.
- Form Title: 'Por Favor, Insira Seus Dados'.
- Input Fields: Two text boxes for username and password.
- Form Elements: A 'Lembrar' checkbox and an 'Entrar' button.
- Alternative Login: 'Ou faça seu Login usando' with social media icons for Facebook, Twitter, and Google+.
- Footer: 'Esqueci minha senha' link and 'Registrar' button.

Fonte: Cardoso (2014)

7 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Para melhor permitir a discussão das diferentes etapas de desenvolvimento realizadas, bem como dos resultados obtidos, optou-se por dividir esse capítulo em duas partes: “Design da solução”, a qual teve como foco a utilização da solução proposta, e “Desenvolvimento do eSurg”, onde foram abordados os aspectos de engenharia de sua construção e validação.

7.1 DESIGN DA SOLUÇÃO

O design do eSurg-Arm teve como base a sua aplicação em sala cirúrgica, considerando-se as diferentes características do ambiente (Capítulo 6, item 6.1, p. 84). Assim, o suporte articulado foi idealizado para o posicionamento da câmera fotográfica ou filmadora dentro da sala, de forma a possibilitar que a imagem fosse adquirida o mais próximo possível do cirurgião sem restringir sua movimentação (Figura 59).

Outras soluções, já disponíveis no mercado, utilizam câmeras acopladas ao foco cirúrgico ao invés de suportes articulados, como apresentado por AMICO CORPORATION (2014) e BRANDON MEDICAL (2014). Esse sistema permite integrar a aquisição de vídeo a equipamentos já existentes na sala cirúrgica, bem como o seu manuseio pela equipe em campo. No entanto, o alinhamento do foco não necessariamente corresponde ao ângulo de visão do cirurgião durante toda a cirurgia, estando, muitas vezes, em uma posição oblíqua, empobrecendo a qualidade do conteúdo adquirido. Da maneira similar, alternativas onde a câmera é fixada na parede da sala (MESSINA, 2013) não garantem um posicionamento adequado que permita visualizar com clareza o procedimento realizado.

Os resultados encontrados na análise do espaço (Capítulo 6, item 6.1, p. 84), considerando-se os diferentes posicionamentos do cirurgião e de sua equipe junto à mesa cirúrgica e dos equipamentos presentes na sala, demonstraram a necessidade de três graus de liberdade para o suporte articulado (Figura 58). Isso se deve, principalmente, ao espaço reduzido, o qual não permite que o suporte fique esticado (180°) e, assim, torna necessária a presença de uma junta intermediária (junta 2) para tornar possíveis movimentos angulados com um raio menor do braço (Figura 60). Com a circulação da equipe em sala durante o procedimento cirúrgico, a altura mínima selecionada para o suporte (1,90m) visou a garantir um trânsito menos obstruído ao redor da mesa cirúrgica.

Em comparação, segundo ATIT (2014) e VIDEO-ATELIER KEEL AG (2014), a utilização do serviço de empresas especializadas garante uma qualidade superior na aquisição e na transmissão de imagens, quando comparado a soluções como o eSurg-Arm, sendo essa avaliação atribuída, principalmente, à disponibilização de uma infraestrutura e ao recurso humano similar ao de um estúdio de TV. No entanto, com ilustrado na Figura 7 e nos resultados

encontrados na análise do espaço, é possível identificar como limitações desse modelo: 1) a disponibilidade de salas, pois é necessário que comportem o espaço requerido para as câmeras e o sistema de iluminação; 2) a movimentação dos focos de luz, equipamentos cirúrgicos e da equipe que pode ser afetada, tornando-se restrita e, assim, dificultando a realização do procedimento; 3) a qualidade da assepsia dos equipamentos, os quais não foram projetados de maneira a facilitar sua limpeza contra o acúmulo de partículas ou material orgânico (ex. fluídos corpóreos); 4) a praticidade e viabilidade de inclusão dessa prática na rotina diária do bloco cirúrgico, devido ao tempo de montagem, e posterior remoção, de todo o sistema.

No desenvolvimento da sistemática de aquisição de imagens de cirurgias proposta, foi observado, principalmente, a importância de um operador de câmera que estivesse fora do campo cirúrgico e a distância mínima entre ele e a mesa cirúrgica. No caso de soluções como a Sala Multimídia Integrada, desenvolvida por KLINGER et al. (2014), e a Sala Cirúrgica Digital, projetada pela Siemens (Figura 5) (SIEMENS AG, 2014), a aquisição de imagens é realizada de maneira similar a apresentada por AMICO CORPORATION (2014) e BRANDON MEDICAL (2014), onde a equipe em campo realiza o controle da câmera, porém nesse caso por câmeras fixadas em um braço auxiliar preso ao teto, ao invés de no foco de luz (Figura 3.A.1). Entretanto, segundo KONINCKX et al. (2013), a realização de atividades adicionais que necessitem constante atenção do cirurgião ou de sua equipe, como o posicionamento correto da câmera para visualização das nuances do procedimento, pode ser prejudicial para o bom andamento da cirurgia.

Dessa forma, a câmera a ser utilizada para aquisição das imagens deveria permitir a integração com um sistema de controle a distância (preferencialmente produzidos e atualizados pelas próprias fabricante da câmera), que possibilitasse, pelo menos, comandar o foco, a abertura de diafragma, a ISO, o zoom e o disparo. Adicionalmente, o mesmo teria de disponibilizar a imagem do visor da câmera, uma vez que não se teria acesso ao mesmo para ajustes de posição. Ainda, para a transmissão das imagens na modalidade síncrona, seria necessário possuir uma saída de vídeo que pudesse ser utilizada, concomitantemente, com o sistema de controle remoto durante a gravação.

A transmissão síncrona de áudio e vídeo, para aplicações em saúde, requer utilização de tecnologias robustas, adequadas à infraestrutura disponível e que atendam aos requisitos de qualidade exigidos (AUGESTAD; LINDSETMO, 2009; KONINCKX et al., 2013). Segundo CAO et al. (2012), sistemas de videoconferência oferecem essa solução para transmissão e recepção de áudio e vídeo em alta resolução (*High Definition – 720p*), com grande interoperabilidade de equipamentos, devido à ampla implementação do protocolo de

comunicação H.323 por fabricantes. Sua compressão de vídeo, utilizando o protocolo H.264, permite o uso de 2 a 8Mbps de largura de banda de conexão, muito inferior a outros sistemas quando comparando a mesma resolução de imagens. Adicionalmente, diferentes aplicativos já utilizam esses protocolos, ampliando ainda mais as possibilidades de conexão. O custo elevado desses equipamentos ainda restringe sua utilização, porém com a adoção desse padrão pela RNP e, conseqüentemente, pela RUTE (MESSINA; FILHO, 2013), foi estabelecida uma rede de nível nacional compatível com essa tecnologia. Dessa forma, optou-se pela utilização do Polycom HDX7000, sistema já adotado pela Faculdade de Medicina e Hospital São Lucas da PUCRS.

7.2 DESENVOLVIMENTO DO ESURG

O desenvolvimento do eSurg foi realizado etapa por etapa, e não de forma paralela, devido à dependência das decisões da etapa seguinte com a sua anterior. Essa característica foi presente na quase totalidade do projeto, gerando, muitas vezes, gargalos, como, por exemplo, o aguardo pela chegada de materiais, da realização de processos construtivos ou da ocorrência de imprevistos. Assim, mudanças de abordagem foram empregadas em diferentes momentos, com objetivo de propor soluções criativas e de baixo custo para o desenvolvimento do projeto.

O sistema de controle e a instrumentação do eSurg-Arm tomaram como base a automatização dos três graus de liberdade do suporte articulado (Juntas 1, 2 e 3) (Figura 28) e os quatro graus (inclinação, rotação, giro e movimentação do zoom óptico do grupo de lentes objetivas) definidos para a criação do sistema de movimentação da câmera fotográfica (Capítulo 4, item 4.1, p. 40). Assim, para a automatização do eSurg-Arm, foi necessário a instalação de um servo-motor para cada um dos sete graus de liberdade definidos (Capítulo 6, item 6.1.1, p. 86).

No design dos circuitos, foram escolhidos componentes do tipo SMD de forma a possibilitar a diminuição das dimensões da placa, devido ao seu tamanho e por dispensarem furos de passagem para a sua fixação, tornando mais simples o roteamento da placa (Figuras Figura 14 e Figura 15).

A diferença de tensão de alimentação do μC (3,3V), dos servo-motores (5V e 12V) e do display gráfico (5V) levou a escolha do regulador de tensão TLV2217, com intuito de permitir a padronização da alimentação em 5V e 12V, tensões mais comumente encontradas em fontes de alimentação comerciais.

O hardware de interface com usuário (Figura 64) buscou estabelecer uma interação homem-máquina *user friendly* e segura, com a disponibilização de dois *joyticks* analógicos e um potenciômetro do tipo *slide* para controle dos servo-motores. Dois *push buttons* foram

incluídos para a seleção dos motores em atividade, enquanto que duas barras de sete LEDs indicam a escolha realizada. A utilização da comunicação I²C na troca de comandos entre as placas, possibilitou a redução da quantidade de portas do microcontrolador, necessárias para a conexão, de 14 para apenas duas. Assim, pode-se evitar, principalmente, a utilização de um cabeamento com um volume excessivo de vias e um roteamento mais complexo da placa.

A centralização do μ C na PCI do hardware principal possibilitou uma otimização no roteamento das trilhas, levando à redução da extensão das conexões analógicas. Essa redução, combinada com a definição um plano de GND, resultou em uma melhor relação de sinal/ruído. O plano GND permitiu também a diminuição do desgaste da ferramenta de desbaste da CNC utilizada para prototipação, a qual possibilitou maior qualidade e robustez dos circuitos impressos em comparação com a técnica de corrosão por percloro de ferro.

A deposição de uma liga de estanho/chumbo sobre a superfície de cobre da PCI melhorou o acabamento superficial, facilitou a soldagem dos componentes e evitou a oxidação do cobre devido ao manuseio, como ilustra a Figura 63.

A programação do μ C, a configuração dos sinais PWMs e o desenvolvimento do respectivo algoritmo de controle basearam-se na norma que descreve o funcionamento dos servo-motores, ou seja, um sinal PWM com 10ms de período e 10% a 20% de *duty cycle* (Capítulo 5, item 5.1.1.3, p. 42). Nessa etapa, o software Proteus foi de grande auxílio, pois permitiu a validação dos primeiros estágios do software, antes mesmo de se dispor das PCIs para testes (Capítulo 5, item 5.1.1.4, p. 47).

No primeiro, foi possível verificar que a relação entre o sinal do joystick e a resposta do PWM correspondeu ao esperado nas três diferentes situações avaliadas. Foi possível observar a presença de ruído no sinal do joystick durante todos os testes, porém sem alteração do sinal PWM (Figuras Figura 68, Figura 69 e Figura 70).

Já no segundo, foi avaliada a “tradução” do sinal de controle padrão de rádio controle (100Hz) para o sinal de controle da ponte H do driver de potência desenvolvido (18KHz). Nos três testes realizados, não se verificou diferença significativa entre os valores encontrados e calculados (Figuras Figura 71, Figura 72 e Figura 73).

A variação de 2 rpm, verificada no terceiro ensaio, foi considerada aceitável para a aplicação, pois não influi no movimento do equipamento (Figuras Figura 74 e Figura 75).

Para definição do material a ser utilizado na prototipação do sistema *Pan/Tilt/Roll/Zoom*, buscou-se por características como maior resistência, menor peso, menor custo e maior disponibilidade comercial. O alumínio naval se mostrou uma excelente escolha, pois atendeu a esses requisitos e resultou em um equipamento robusto mecanicamente.

Na definição e design do quarto grau de liberdade, levou-se em consideração o sistema exclusivamente manual para controle de zoom presente nas câmeras profissionais e semiprofissionais. Assim, para que se possa controlar o avanço e recuo do zoom com maior precisão ou à distância, é necessário adaptar, na objetiva, um sistema de engrenagens, rodízios, polias ou outro mecanismo que permita sua rotação. Com base nessas informações, o sistema de engrenagens, principalmente, pela praticidade de sua prototipação em impressora 3D, possibilitando a confecção de peças sob medida para a câmera utilizada (Figura 45).

A troca dos rodízios da base móvel foi necessária devido ao aumento da carga total, resultado do acréscimo da estrutura proposta. Esses foram escolhidos pela sua capacidade de 65kg e por seu material termoplástico macio, tendo sido adquirido quatro peças. A nova capacidade instalada permitiu a colocação do contrapeso e, assim, o aumento da estabilidade de toda a estrutura (Figura 26). As travas presentes em dois dos quatro rodízios evitaram o deslocamento da estrutura durante a movimentação do suporte articulado (Figura 24).

Na seleção da câmera para aquisição das imagens da cirurgia, optou-se, com base nas características descritas no item 7.1 deste Capítulo, por restringir a escolha por câmeras fotográficas DSLR, pois possuem uma variedade de modelos que dispõem dessas características. Dentre as opções de mercado levantadas (Sony, Canon, Panasonic, Nikon, Olympus, Fujifilm e Kodak), foram identificadas as fabricantes Canon, Sony e Nikon, as quais disponibilizam softwares mais completos para controle remoto de suas câmeras. O Sony's Camera Remote Control é disponibilizado de forma gratuita, no entanto não possui controle de foco (SONY CORPORATION, 2012). O Nikon Camera Control Pro 2 permite o controle de todas as funcionalidades da câmera (NIKON IMAGING GLOBAL, 2014), porém não possui versão gratuita disponível. Assim, conforme apresentado nos resultados, o software Canon EOS Utility foi selecionado por apresentar controles para as diferentes funções das câmeras DSLR da fabricante e ser distribuído sem custo (CANON PROFESSIONAL NETWORK, 2008). No desenvolvimento do eSurg-Web, a criação da camada adicional de negócios (*Business*) buscou tornar o desenvolvimento da plataforma ainda mais completo e eficiente. Assim, a reutilização de classes tornou-se mais simples, permitindo uma maior padronização e sistematização dos acessos ao banco de dados SQL (Capítulo 5, 5.3.2, p. 75).

A extensão Firebug (Firefox) possibilitou analisar diferentes aspectos dos códigos presentes em páginas web, bem como visualizar a troca de pacotes entre o navegador e o servidor web, sendo uma ferramenta valiosa no desenvolvimento do eSurg-Web.

Quanto à autenticação dos usuários na plataforma, existem diferentes técnicas e sistemas passíveis de utilização, como, por exemplo, a autenticação por meio usuário e senha,

por servidor de domínio ou serviços externos como Google, Facebook ou Outlook. Porém, quando em ambiente corporativo, a definição tem de ser feita com base na infraestrutura e bases de dados disponíveis. Visto que seria necessário desenvolver uma ponte de acesso às bases de dados e a serviços de validação de usuário da universidade, não estando as mesmas disponíveis, optou-se pela autenticação por nome de usuário e senha cadastrados na própria plataforma (Figura 101).

Conforme os resultados apresentados (Capítulo 6, item 6.3.2, p. 108), foi possível desenvolver uma plataforma web seguindo os conceitos de interatividade apresentados por LARVIN (2009), proporcionando acesso a imagens com características técnicas superiores às apresentadas por MUTTER et al. (2011).

8 CONCLUSÃO

O projeto apresentado nessa dissertação de mestrado atingiu os objetivos inicialmente definidos, tendo sido possível desenvolver: 1) o eSurg-Arm, um equipamento articulado micro-controlado com 7 graus de liberdade, o qual tem a capacidade de posicionar uma câmera Canon para a aquisição de imagens; 2) o eSurg-Video, uma especificação de equipamentos, aplicativos, formatos e configurações para aquisição e transmissão de vídeos, à luz das especificidades do ambiente de sala cirúrgica, bem como das características de apresentação de conteúdo para os diferentes modelos de atividade virtual; 3) o eSurg-Web, uma aplicação web, em linguagem C#, com recursos de banco de dados relacional, que permite o acesso, por alunos e professores, ao conteúdo dos casos clínicos e procedimentos cirúrgicos adquiridos.

9 PROJETOS FUTUROS

O projeto eSurg possibilitou o estabelecimento de uma base de conhecimento que permitirá o desenvolvimento de diferentes estudos futuros, os quais poderão se aprofundar ainda mais na proposta de soluções para os desafios apresentados. Concomitantemente, o constante e rápido avanço das tecnologias de informação, telecomunicações e computacionais implicam na reavaliação periódica do estado da arte de sistemas, equipamentos e protocolos utilizados como referência na concepção de soluções em engenharia biomédica.

9.1 ESURG-ARM

Sugere-se para o eSurg-Arm estudos que se dediquem a estudar:

- a compatibilidade eletromagnética do sistema de controle proposto para a movimentação dos servo-motores;
- os materiais construtivos e de cobertura que facilitem a esterilização do equipamento;
- o desenvolvimento de redundâncias e algoritmos de alto teste que garantam a propagação de falhas de componentes em erros detectáveis e controláveis;
- a usabilidade com profissionais de saúde na aquisição de imagens de procedimentos cirúrgicos, de forma a identificar melhorias de interface e de recursos.

9.2 ESURG-VIDEO

Sugere-se para o eSurg-Video a avaliação:

- da qualidade das imagens adquiridas, com a utilização de configurações de compressão de vídeo, câmeras, óticas e iluminações alternativas;
- de novos protocolos de calibração de câmera, com a especificação de alvos de avaliação de cor e de resolução para cada tipo de cirurgia.

9.3 ESURG-WEB

Sugere-se para o eSurg-Web:

- a inclusão de ferramentas de busca de usuários e informações dos casos ou procedimentos;

- o desenvolvimento de interfaces de conexão com outras ferramentas de ensino à distância, como o Moodle®;
- o estudo de sistemas alternativos de cadastramentos de alunos na plataforma, tendo em vista a possibilidade de integração com ferramentas de autenticação institucionais;
- a avaliação da usabilidade com alunos e professores de Faculdades da PUCRS, como Medicina e Odontologia, de forma a identificar melhorias de interface e de recursos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, D. et al. First Brazilian Real Time Network DGPS through the Internet: Development, Application and Availability Analyses. **Journal of Geodetic Science**, v. 2, n. 1, p. 1-7, 23/11/2011 2011.
- AMICO CORPORATION. iCE LED Surgical Lighting System. 2014. Disponível em: < <http://www.amico.com/ice-led-surgical-lighting-system#product-tabs=0> >. Acesso em: 19/10/2014.
- ARCHER, W.; GARRISON, R.; ANDERSON, T. Adopting Disruptive Technologies in Traditional Universities: Continuing Education as an Incubator for Innovation. **Canadian Journal of University Continuing Education**, v. 25, n. 1, p. 13-44, 1999.
- ATIT. live @ ATIT. Bélgica, 04/07/2014 2014. Disponível em: < <http://www.atit.be/category/live> >. Acesso em: 19/10/2014.
- AUGESTAD, K. M.; LINDSETMO, R. O. Overcoming distance: video-conferencing as a clinical and educational tool among surgeons. **World J Surg**, v. 33, n. 7, p. 1356-65, Jul 2009.
- BATTAGLIN, P. D.; BARRETO, G. REVISITANDO A HISTÓRIA DA ENGENHARIA ELÉTRICA. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 30, n. 2, p. 49-58, 2011.
- BHATI, C. S. et al. Web-based image transmission: a novel approach to aid communication in split liver transplantation. **Clin Transplant**, v. 24, n. 1, p. 98-103, 2010 Jan-Feb 2010.
- BLASCA, W. Q. et al. Novas tecnologias educacionais no ensino da Audiologia. **CEFAC**, v. 12, n. 6, 01/12/2010 2010.
- BRANDON MEDICAL. Operating Theatre Camera Systems. 2014. Disponível em: < <http://brandon-medical.co.uk/products/medical-av-systems/symposia-components/operating-theatre-camera-systems> >. Acesso em: 19/10/2014.
- CANON PROFESSIONAL NETWORK. Getting the most from EOS Utility. 2008. Disponível em: < http://cpn.canon-europe.com/content/product/canon_software/eos_utility.do >. Acesso em: 07/08/2014.
- CAO, M. D. et al. Emerging technologies for telemedicine. **Korean J Radiol**, v. 13 Suppl 1, p. S21-30, 2012 Jan-Feb 2012.
- CARDOSO, R. et al. Telessaúde como Ferramenta de Aprendizado: As Experiências e Atividades da Liga de Telessaúde da PUCRS (LITESA). IV Congresso Brasileiro de Telemedicina e Telessaúde e o II Workshop do Laboratório de Excelência e Inovação em Telessaúde – América Latina e Europa, 2009. Belo Horizonte, Brasil. 9 a 12 dezembro.
- CARDOSO, R. et al. A successful telemedicine experience in the Brazilian Amazon Region. **Acta Informatica Medica**, v. 15, n. 4, p. 211-215, 2007.
- CISCO. Immersive TelePresence. 2014. Disponível em: < <http://www.cisco.com/c/en/us/products/collaboration-endpoints/immersive-telePresence/index.html> >. Acesso em: 01/08/2014.
- COHEN, M. Surgical Video: The Cutting Edge. **Art of the Edit**, 2012. Disponível em: < https://library.creativecow.net/articles/cohen_mike/surgical_video.php >. Acesso em: 19/10/2014.

DANCIU, E.; GROSSECK, G. Social aspects of web 2.0 technologies: Teaching or teachers' challenges? **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 15, n. 0, p. 3768-3773, // 2011.

DEBAKEY, M. E. Telemedicine Has Now Come of Age. **Telemedicine Journal**, v. 1, n. 1, p. 2, 1995/01/01 1995.

E-LEARNING FOR HEALTHCARE, E.-L. e-Learning for Healthcare. 2013. Disponível em: < <http://www.e-lfh.org.uk/home/> >. Acesso em: 03 de novembro.

EGM LABORATORIES. Color chart. 2013. Disponível em: < http://en.wikipedia.org/wiki/Color_chart >. Acesso em: 30/10/2014.

ENDERLEIN, R. **Microeletrônica: uma introdução, ao universo dos microchips, seu funcionamento, fabricação e aplicações**. 1. EdUSP, 1994. 232 ISBN 978-85-314-0141-0.

GALLAGHER, A. G. et al. Prospective, Randomized Assessment of Transfer of Training (ToT) and Transfer Effectiveness Ratio (TER) of Virtual Reality Simulation Training for Laparoscopic Skill Acquisition. **Annals of Surgery**, v. 257, n. 6, p. 1025-1031 10.1097/SLA.0b013e318284f658, 2013.

GAMBADAURO, P.; TORREJÓN, R. The "tele" factor in surgery today and tomorrow: implications for surgical training and education. **Surg Today**, v. 43, n. 2, p. 115-22, Feb 2013.

GARRISON, D. R. **E-Learning in the 21st Century: A Framework for Research and Practice**. 2. Routledge, 2011. 184 ISBN 978-0415885836; 0415885833.

GLOBO. **O homem vai à Lua**. O Globo. Online: O Globo 2013.

GOOGLE INC. Google Glass. 2014. Disponível em: < <https://www.google.com/glass/start/> >. Acesso em: 19/10/2014.

GRAY, K.; ANNABELL, L.; KENNEDY, G. Medical students' use of Facebook to support learning: Insights from four case studies. **Medical Teacher**, v. 32, n. 12, p. 971-976, 2010.

GREER, S. L. et al. Health law and policy in the European Union. **Lancet**, v. 381, n. 9872, p. 1135-44, Mar 2013.

HADLEY, G. P.; MARS, M. Postgraduate medical education in paediatric surgery: videoconferencing--a possible solution for Africa? **Pediatr Surg Int**, v. 24, n. 2, p. 223-6, Feb 2008.

HISTORY.COM. The Invention of the Internet. 2010. Disponível em: < <http://www.history.com/topics/inventions/invention-of-the-internet> >. Acesso em: 01/08/2014.

HOLLAND, A. J.; SOUNDAPPAN, S. V.; OLDMEADOW, W. Videoconferencing surgical tutorials: bridging the gap. **ANZ J Surg**, v. 78, n. 4, p. 297-301, Apr 2008.

HORGMO, Ø. Filming surgery with camcorders. 25/11/2011 2008. Disponível em: < <http://sterileeye.com/2008/05/15/filming-surgery-with-camcorders/> >. Acesso em: 19/10/2014.

HUA WANG; WELLMAN, B. Social Connectivity in America: Changes in Adult Friendship Network Size From 2002 to 2007. **American Behavioral Scientist**, v. 53, n. 8, p. 1148-1169, April 1, 2010 2010.

JAMKO TECHNICAL SOLUTIONS. Imaging System Resolution. 2013. Disponível em: <
<http://www.jamkocorp.com/knowledge/technology/resolution/>>. Acesso em: 30/10/2014.

KLINGER, A. et al. **A low cost digital operating room**. Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing. Gyeongju, Republic of Korea: ACM: 36-37 p. 2014.

KONINCKX, P. et al. The digital operating room and the surgeon. **Gynecological Surgery**, v. 10, n. 1, p. 57-62, 2013/02/01 2013.

LARVIN, M. E-Learning in surgical education and training. **ANZ Journal of Surgery**, v. 79, n. 3, p. 133-137, 2009.

LUCAS, H. C. Can the Current Model of Higher Education Survive MOOCs and Online Learning? **EDUCAUSE Review**, v. 48, n. 5, p. 54-56, 07/10/2013 2013.

LUSTIG, T. A. **The Role of Telehealth in an Evolving Health Care Environment: Workshop Summary**. Whashington, D.C. - USA: The National Academies Press, 2012. ISBN 9780309262019.

LUTCH, M. J. et al. Google Glass in Head and Neck Surgery. **Otolaryngology -- Head and Neck Surgery**, v. 151, n. 1 suppl, p. P40-P41, September 1, 2014 2014.

MEREGE, A. L. A história da escrita: uma introdução. In: RIBEIRO, M. V. T. (Ed.). **Anais da Biblioteca Nacional**. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, v.129, 2009. p.167-176.

MESSINA, L. A.; FILHO, J. L. R. **Impactos da Rede Universitária de Telemedicina: ações de educação contínua, pesquisa colaborativa, assistência, gestão e avaliação remota: Fase I (2006-2009)**. Rio de Janeiro: E-Papers, 2013. 332 ISBN 978-85-7650-371-2.

MUENSTERER, O. J. et al. Google Glass in pediatric surgery: An exploratory study. **International Journal of Surgery**, v. 12, n. 4, p. 281-289, 4// 2014.

MULLER-PUTZ, G. R. et al. Tools for Brain-Computer Interaction: A General Concept for a Hybrid BCI. **Front Neuroinform**, v. 5, p. 30, 2011.

MUTTER, D. et al. WeBSurg: An innovative educational Web site in minimally invasive surgery-- principles and results. **Surg Innov**, v. 18, n. 1, p. 8-14, Mar 2011.

NELSON, R.; STAGGERS, N. **Health Informatics: An Interprofessional Approach**. Elsevier - Health Sciences Division, 2013. ISBN 9780323100953.

NIAMTU, J. I. Google Glass: Dermatologic and Cosmetic Surgery Applications. **Dermatologic Surgery**, v. 40, n. 10, p. 1150-1152 10.1097/01.DSS.0000452655.37260.c5, 2014.

NICOGOSSIAN, A. E.; POBER, D. F.; ROY, S. A. Evolution of Telemedicine in the Space Program and Earth Applications. **Telemedicine Journal and e-Health**, v. 7, n. 1, p. 1-15, 09/07/2004 2001.

NIKON IMAGING GLOBAL. **Camera Control Pro 2**: Nikon Imaging Global. 2014 2014.

OZER, J. **Producing Streaming Video for Multiple Screen Delivery**. Doceo Publishing, 2013. ISBN 978-0976259541.

PLODERER, B. et al. Social interaction and reflection for behaviour change. **Personal and Ubiquitous Computing**, p. 1-10, 2014/07/04 2014.

PROCTER, R. HSRIC: Health Informatics. 2009. Disponível em: < <http://www.nlm.nih.gov/hsrinfo/informatics.html> >. Acesso em: 29 setembro 2013.

RNP. História da RNP. 2009. Disponível em: < <http://www.rnp.br/rnp/historico.html> >. Acesso em: 14/08/2014.

RUSSOMANO, T. et al. Tele-surgery: a new virtual tool for medical education. **Stud Health Technol Inform**, v. 150, p. 866-70, 2009.

RUSSOMANO, T. et al. eHealth Projects of the Microgravity Centre. In: OLSZTYNSKA, D. S. (Ed.). **Biomedical Engineering, Trends, Research and Technologies: InTech**, 2011. cap. 23, p.529 - 550. ISBN 978-953-307-514-3.

SABBATINI, R. M. E. História da Informática em Saúde no Brasil. **Informática Médica**, 01/09/1998 1998. Disponível em: < <http://www.informaticamedica.org.br/informaticamedica/n0105/sabbatini.htm> >. Acesso em: 5.

SBIS. A História da SBIS. 2005. Disponível em: < <http://www.sbis.org.br/> >. Acesso em: 14/08/2014.

SEEBURGER, J. et al. Live broadcasting in cardiac surgery does not increase the operative risk. **European Journal of Cardio-Thoracic Surgery**, v. 40, n. 2, p. 367-371, August 1, 2011 2011.

SHIMIZU, S. et al. One Hundred Case Studies of Asia-Pacific Telemedicine Using a Digital Video Transport System over a Research and Education Network. **Telemedicine and e-Health**, v. 15, n. 1, p. 112-117, 01/01/2009 2009.

SIEMENS AG. Surgery. 2014. Disponível em: < <http://www.healthcare.siemens.com/clinical-specialities/surgery/> >. Acesso em: 19/10/2014.

SIMÕES, N. et al. A Rede Universitária de Telemedicina - RUTE. In: MESSINA, L. A. e FILHO, J. L. R. (Ed.). **Impactos da Rede Universitária de Telemedicina**. Rio de Janeiro: e-Papers, 2013. cap. 1, p.11-36. ISBN 978-85-7650-371-2.

SINHA, S. R.; BARRY, M. Health technologies and innovation in the global health arena. **N Engl J Med**, v. 365, n. 9, p. 779-82, Set 2011.

SLADE SHANTZ, J. A.; VEILLETTE, C. H. The Application of Wearable Technology in Surgery: Ensuring the Positive Impact of the Wearable Revolution on Surgical Patients. **Frontiers in Surgery**, v. 1, 2014-September-19 2014.

SONY CORPORATION. Itens que você pode definir com o Remote Camera Control. 2012. Disponível em: < http://guide.d-imaging.sony.co.jp/pmb/940_02/3000/pt/contents/adv_00110.html >. Acesso em: 07/08/2014.

SPARENBERG, A. L. F. **Estabelecimento e validação de um método de telediagnóstico eletrocardiográfico digital em áreas remotas do sul do Brasil**. 2005. 148 (Master Degree). Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, PUCRS, Porto Alegre.

TAN, J. H. et al. Informatics in Radiology: Developing a Touchless User Interface for Intraoperative Image Control during Interventional Radiology Procedures. **RadioGraphics**, v. 33, n. 2, p. E61-E70, 2013.

TECNOSIMBRA. Mesa de Visualização SECTRA. 2014. Disponível em: <
<http://www.tecnosimbra.com/site/>>. Acesso em: 16/08/2014.

VIDEO-ATELIER KEEL AG. Medical Science Live. Alemanha, 2014. Disponível em: <
<http://www.videoatelier.ch/index.php?id=medizinfilm&L=1>>. Acesso em: 19/10/2014.

WHO. **Telemedicine: opportunities and developments in Member States: report on the second global survey on eHealth 2009**. 2010