

**Matheus Ferraz Petrovich Pereira**

**Captura de Movimentos Como Método de  
Animação em Animatrônica**

Natal  
2016

**Matheus Ferraz Petrovich Pereira**

## **Captura de Movimentos Como Método de Animação em Animatrônica**

Trabalho de Conclusão de Curso submetida ao Departamento de Engenharia da Computação e Automação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro de Computação.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Departamento de Engenharia de Computação e Automação - DCA

Orientador: Agostinho de Medeiros Brito Júnior

Natal  
2016

## **Agradecimentos**

Hoje eu olho para trás e vejo o caminho que trilhei até aqui com orgulho e humildade. O caminho não foi retilíneo, e onde eu estou hoje não foi o que vislumbrei 5 anos atrás ao entrar no Bacharelado em Ciências e Tecnologia (BCT). Mas as coisas mudam, a gente muda, amadurece, e isso é bom! Nada desse processo foi fácil, mas nunca estive só e as pessoas que estiveram ao meu redor desempenharam grandes papéis em construir o profissional e a pessoa que sou hoje. É impossível, neste momento, não parafrasar o filósofo francês Bernardus Carnotensis, autor da célebre frase que diz que se chegamos mais longe é por estar sobre um alicerce construído por aqueles que vieram antes de nós. Assim, inicio meus agradecimentos reconhecendo a importância do constante suporte dos meus pais e a insistência em sempre ser o melhor que eu pudesse. Obrigado pelas oportunidades, pelo amor, pela inspiração, pela celebração no sucesso, e pela lição na falha. Às diversas outras figuras paternas e maternas que tenho em minha vida, obrigado pela mentoria, pelo apoio e pelo cuidado. Às minhas irmãs e irmãos, obrigado pela cumplicidade, pelos ombros e por alegrar meus dias. Sou grato também por ter estado sempre rodeado de figuras que me inspiraram e mentoraram e, sabidamente ou não, me ajudaram a moldar meu caminho. Agradeço à professora Salete Martins, minha primeira mentora ainda no BCT, que me ajudou a transicionar da mentalidade de ensino médio para a de universitário; ao professor Luiz Eduardo Leite que me aceitou em seu grupo de pesquisa no segundo semestre do BCT, onde fiquei por quase 4 anos, me apoiando nas minhas empreitadas internacionais e me ensinando tanto, obrigado por me apresentar a engenharia de computação, e por acreditar em mim como profissional; ao professor Francisco Irochima por ter me guiado ao mestrado antes mesmo de concluir a graduação e por incentivar a minha arte, que está fortemente presente neste trabalho. Sou especialmente grato ao professor Agostinho Brito Jr. por me inspirar e contagiar com sua paixão por aprender e ensinar, e me inspirar a querer ir além em seus cursos, obrigado por ter aceitado embarcar nesse projeto louco comigo, mergulhando de cabeça em algo novo e me dando liberdade para direcionar e expandir o projeto como quis. O trabalho que apresentamos aqui une tecnologia e arte e diz muito sobre mim e sobre meus sonhos de criança, ele me pareceu a forma perfeita de concluir esta etapa da minha vida acadêmica.

## **Resumo**

Este relatório descreve o desenvolvimento de um sistema de captura de movimentos de baixo custo e um sistema de controle para assistir o processo de animação de personagens animatrônicos, simplificando o processo de animação e atribuindo maior realismo ao produto final. O sistema de captura é baseado no processamento de imagem oriunda de uma câmera afixada em um aparato de captura que a mantém estática em relação ao rosto do usuário. O sistema consegue rastrear com êxito 13 marcadores ao redor da boca e sobrancelhas e ainda as pupilas do usuário. O sistema de controle é baseado em microcontrolador e transforma a informação de rastreio em sinal de controle para os motores dos personagens animatrônicos. O relatório trata ainda do processo de confecção de um boneco animatrônico.

## **Abstract**

This report describes the development of a Low-cost motion capture system to assist the process of animatronic characters animation, simplifying the animation process and providing more realism to the final product. The motion capture system is based on image processing from a camera affixed in a capture apparatus which keeps it static in relation to the actor's face. The system can successfully track 13 markers around the mouth and brows, and the user's pupils. The control system is based on a microcontroller and transforms the tracking information into control signals for the animatronic characters' motors. This report will also discuss the process of making an animatronic puppet.

# Listas de Figuras

1.1	HPCS Visto na Exibição <i>It's Alive!</i> [12] . . . . .	11
2.1	Aparato de captura completo. . . . .	14
2.2	Marcadores Passivos Colados no Rosto do Usuário . . . . .	15
2.3	Fluxograma do Algoritmo de Rastreio. . . . .	16
2.4	Exemplo de imagem binária segmentada. . . . .	17
2.5	Rastreio dos marcadores na sobrancelhas. . . . .	17
2.6	Rastreio dos marcadores na Boca . . . . .	18
2.7	Regiões de rastreio dos olhos . . . . .	19
2.8	Regiões de rastreio dos olhos segmentadas . . . . .	19
2.9	Rastreio das íris . . . . .	20
3.1	Escultura em Argila Plastilina . . . . .	22
3.2	Orelhas Esculpidas Separadamente . . . . .	22
3.3	Metade Frontal do Molde em Borracha de Silicone com Jaqueta de Gesso . . . . .	23
3.4	Pele de Silicone Retirada do Molde . . . . .	23
3.5	Pele de Silicone Pintada e com as Orelhas Coladas . . . . .	24
3.6	Dentes sendo Esculpidos Sobre Base Articulada . . . . .	25
3.7	Dentes Antes e Após Finalização . . . . .	25
3.8	Base Para o Olho Antes e Após Pintura da Íris . . . . .	26
3.9	Olhos Após Finalização . . . . .	26
3.10	Articulação, Placa Central e Braço de Acoplamento Metálico .	27
3.11	<i>Underskull</i> com Dentes Fixados e Mandíbula Mecanizada . .	28
3.12	Suporte em Madeira . . . . .	28
4.1	Posição do Servo-Motor e Sinal de Controle . . . . .	30
5.1	Expressão Neutra vs Expressão de Surpresa . . . . .	32

5.2	Comparativo de Diferentes Expressões Faciais . . . . .	33
5.3	Boca completamente Fechada . . . . .	33
5.4	Boca Meio Aberta . . . . .	34
5.5	Boca Completamente Aberta . . . . .	34

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Sistema de Captura de Movimentos</b>	<b>13</b>
2.1	Modelo do sistema de captura . . . . .	13
2.2	Rastreio de marcadores . . . . .	14
2.2.1	Rastreio das sobrancelhas . . . . .	16
2.2.2	Rastreio da boca . . . . .	17
2.3	Rastreio dos olhos . . . . .	18
<b>3</b>	<b>Animatronicos</b>	<b>21</b>
3.1	Processo de Construção . . . . .	21
3.1.1	Pele . . . . .	22
3.1.2	Dentes . . . . .	24
3.1.3	Olhos . . . . .	25
3.1.4	Mecanização . . . . .	26
<b>4</b>	<b>Sistema de Controle</b>	<b>29</b>
4.1	Hardware . . . . .	29
4.2	Módulo de Controle . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>35</b>

# Capítulo 1

## Introdução

Buscando contar maiores e melhores narrativas a indústria do entretenimento está sempre transporando seus expectadores para realidades e universos distantes do seu cotidiano. Esses universos são frequentemente habitados por seres fictícios tais como animais falantes, criaturas mitológicas, aliens, monstros. Seja no cinema, televisão, teatro ou parques de diversão, trazer tais personagens à vida de forma convincente pode ser um grande desafio e requerer um grande despendimento de tempo e dinheiro. Existem duas grandes classes de efeitos especiais que permitem a realização de personagens fictícios: efeitos visuais e efeitos práticos. Os efeitos visuais consistem na criação do personagem de forma digital e sua posterior inserção no ambiente utilizando projeções (teatro e parques de diversão) ou sobreposição de tomadas (filme e tv). Já os efeitos práticos dependem da construção prévia do personagem para que ele esteja fisicamente presente no ambiente no momento da ação, seja um ator em fantasia, uma marionete ou ainda um boneco robótico (animatrônico).

Embora o público não necessariamente reaja melhor à computação gráfica (CG), ou esses custem menos do que os práticos, atualmente muitos estúdios vêm usando mais efeitos digitais do que práticos. De acordo com Alec Gillis, proprietário da empresa de efeitos especiais norteamericana StudioADI, os estúdios acreditam que CG seja uma aplicação mais segura de recursos, por permitir que estéticas e performances sejam alteradas na pós-produção. Gillis alega que como estúdios fazem empréstimos para financiar seus filmes, pagando juros, o cronograma de desenvolvimento dos filmes tem sido encurtado, chegando ao ponto de filmes começarem a ser gravados sem sequer ter o roteiro completo. Esse ritmo acelerado além de encurtar o tempo de

pré-produção, durante o qual os efeitos práticos são planejados e desenvolvidos, abre espaço para que surjam muitas alterações à história no desenrolar das gravações. No entanto, modificações na estética ou funcionalidade dos personagens e efeitos práticos não podem ser feitas com facilidade durante a produção, assim o mesmo personagem teria que ser desenvolvido novamente utilizando efeitos visuais. Dessa forma o estúdio acabaria tendo que arcar uma segunda vez pela criação de um mesmo personagem, enquanto se ele tivesse sido deixado para ser criado somente em pós-produção (quando os efeitos visuais são desenvolvidos) alterações poderiam ser mais facilmente trabalhadas. Ainda assim, é consenso na indústria que a arte dos efeitos práticos está longe de se extinguir, não somente pela sua qualidade e credibilidade, mas também por permitir que os atores entreguem melhores performances, tendo algo "real" para interagir no *set* de filmagens.

Independentemente da técnica utilizada, a performance dos personagens é fundamental para a credibilidade do expectador na história. A sutileza das expressões faciais representa parte significativa do processo de comunicação humana. Buscando um nível cada vez maior de realismo, a indústria do entretenimento tem usado diversos artifícios para tornar seus produtos cada vez mais realistas e verossímeis, tanto nas formas e qualidade da imagem, quanto na animação. No mundo da computação gráfica realismo na animação é normalmente obtido usando técnicas de captura de movimentos [7].

São os pequenos detalhes que agregam realismo ao desempenho do personagem e acrescem ao individualismo de seu comportamento. Esses podem ser difíceis de se criar através de métodos mais tradicionais de animação como o *keyframe*, no qual todos os movimentos do modelo são definidos manualmente pelo animador [5].

A técnica de captura de movimentos (*motion capture*, ou *mocap*) permite que conjuntos de movimentos, capturados de um ator no mundo real, sejam inseridos na animação de um personagem virtual. Aplicando diretamente os dados extraídos do ator ao personagem, são inseridos os macro-movimentos conscientes, bem como os micro-movimentos associados à emoção em questão. Utilizando essa ferramenta, o animador pode gerar personagens com maior grau de realismo e conferir agilidade ao processo de animação[4].

O método de animação por *keyframe* pode ser trabalhoso e demorado, podendo exigir mais de um dia para um animador completar 10 segundos do rascunho de animação (*blocking*). O uso de métodos baseados em captura de movimento pode reduzir esse tempo em aproximadamente 7 vezes. Autores como Shiratori, da *Disney Research*, reforçam que a agilidade no

processo de *blocking* da animação é essencial para que os animadores possam concretizar rapidamente a cena que têm em mente. Essa economia de tempo ainda permite que eles explorem e experimentem diversas outras possibilidades com menos esforço, construindo uma base de movimentos que podem ser aprovados pelos diretores e então refinados para uma versão final[9].

Existem diversas técnicas de captura de movimentos: com sensoriamento baseado em fibras ópticas, sensores eletromagnéticos, potenciômetros embarcados em uma roupa apropriada e processamento de imagem. O método baseado no processamento de imagens, por sua vez, pode ser separado em duas grandes classes: com marcadores e sem marcadores, sendo a primeira a mais evidente no mercado atualmente [11].

Métodos baseados em marcadores passivos são mais largamente utilizados na indústria pelo fato de ser mais simples rastrear regiões de cor ou formato conhecido (marcador), e permitir maior flexibilidade ao usuário. Em contrapartida, métodos que dispensam o uso de marcadores tendem a apresentar limitações no rastreio em tempo real e uma maior margem de erro [13].

Dentre os sistemas de rastreio de movimento, os de deteção de expressões faciais estão entre os mais difíceis de serem concebidos, posto que devem ter a precisão para captar as pequenas nuances de expressões faciais. Essas nuances são as principais responsáveis pela nossa percepção de realismo em um personagem.

Bons sistemas de rastreio de movimentos faciais são caros e normalmente devido ao uso de câmeras de alta taxa de quadros por segundo, uso de iluminação infra-vermelha e lentes especiais. Sistemas de baixo custo podem ser interessantes para pequenos estúdios que não dispõem de muitos recursos mas necessitam de usar *mocap* para animar personagens em filmes ou jogos digitais.

Já nos efeitos práticos a animação pode acontecer em tempo real (controle direto ou controle remoto) ou através de movimentos pré-programados. Controle direto implica que a animação é desempenhada diretamente por um ator, seja utilizando uma fantasia seja controlando uma marionete. Já o controle remoto acontece para o caso de bonecos animatrônicos, enquanto em parques de diversão os animatrônicos normalmente desempenham a mesma rotina de forma cíclica, permitindo um planejamento e refinamento dos movimentos antes da inauguração da atração, na indústria cinematográfica o personagem precisa ser animado em tempo real, respondendo às alterações de roteiro e de construção da cena, bem como permitindo improviso e dinamismo na interação com os outros atores. Para tanto, são controlados remo-

tamente por animadores chamados de *puppeteers* que trabalham em conjunto para trazer vida e movimento ao personagem.

Típicamente para animatrônicos no cinema o controle se dá através de rádio-controles utilizados no aeromodelismo por sua praticidade e adatabilidade, reduzindo o tempo de desenvolvimento do projeto. No entanto algumas empresas desenvolvem sistemas próprios de controle para certos personagens ou movimentos complexos buscando reduzir a quantidade de dispositivos de controle necessários e a quantidade de *puppeteers* envolvidos. O primeiro passo nessa direção foi dado ainda em 1980 pela *Jim Henson's Creature Shop*, que desenvolveu o *Henson Performance Control System* (HPCS) para ser utilizado no controle dos personagens de sua nova série **Fraggle Rock, a Rocha Encantada**. O HPCS permitia que expressões realísticas fossem criadas e conjuntos de movimentos como piscadelas e sorrisos característicos do personagem e utilizados com frequência pudessem ser armazenados nos controles de forma a simplificar a animação [10, 2]



Figura 1.1: HPCS Visto na Exibição *It's Alive!* [12]

Esse trabalho visa contribuir com a integração de ferramentas aplicadas para aprimorar o processo de animação nos efeitos visuais aos efeitos práticos, apresentando uma proposta de um sistema de captura de movimento de baixo custo para faces usando marcadores passivos como ferramenta de controle de personagens animatrônicos. O sistema é composto por um dispositivo de captura ao qual está acoplada a câmera, e um *software* de processamento de imagens que recebe e trata o *stream* de vídeo em tempo real e transforma

a informação de rastreio em sinais de controle para uso na animação de personagens animatrônicos.

O presente relatório é organizado em mais 5 capítulos. O capítulo 2 descreve o modelo de aparato desenvolvido, como se dá o processo de rastreio das regiões das sobrancelhas e da boca e o processo de rastreio das pupilas. O capítulo 4 descreve a interação entre o sistema de captura e a estrutura mecânica do personagem. O capítulo 3 explora o processo de construção e acabamento do personagem animatrônico. O capítulo 5 discute os resultados encontrados. O capítulo 6 conclui o trabalho, apresentando perspectivas de aprimoramento e expansão da utilidade da ferramenta.

# **Capítulo 2**

## **Sistema de Captura de Movimentos**

### **2.1 Modelo do sistema de captura**

O aparato de captura é composto de um capacete em resina de poliéster reforçada com fibra de vidro e uma câmera afixada a um braço de alumínio. O capacete é confeccionado a partir de um molde da cabeça do usuário, obtido em um processo de moldagem com ataduras de gesso. A moldagem é necessária para o capacete fique firme na cabeça do seu utilizador, minimizando movimentos da câmera em relação ao seu rosto.

Sobre o modelo foram laminadas camadas de resina de poliéster pigmentada reforçadas com manta de fibra de vidro. Cortes foram feitos na parte traseira do capacete para permitir flexibilidade e uma tira de velcro foi afixada para ajuste, de modo que o capacete fique justo na cabeça do usuário. No interior do capacete foram colados pedaços de feltro para melhorar o conforto e ajudar a manter o capacete mais fixo, de forma que a câmera estivesse sempre estática em relação ao rosto do usuário. A estrutura do capacete é mostrada na Figura 2.1.

Dois parafusos foram usados para afixar um braço de alumínio ao capacete na extremidade do qual será colocada uma câmera USB que fará a captura da imagem da face do usuário. A barra de alumínio necessita ser medida e moldada de forma a permitir que a câmera tenha uma visão completa da face do usuário.

A ferramenta de captura permite que diversos parâmetros sejam configu-



Figura 2.1: Aparato de captura completo.

rados a fim de adaptar o sistema às condições de iluminação e posição da face. As imagens são capturadas na resolução de 480 pontos horizontais por 640 pontos verticais. Nesta resolução, o sistema consegue capturar e processar imagens com velocidade em torno 20 quadros por segundo a partir da câmera USB.

## 2.2 Rastreio de marcadores

Os marcadores utilizados neste trabalho foram confeccionados a partir de bolas de isopor revestidas com tinta amarela e colados à face do usuário utilizando adesivo Pros-Aid®. Este adesivo é produzido pela ADM Tronics® e utilizado largamente na indústria de entretenimento em maquiagem e efeitos especiais [1]. Um exemplo de os marcadores colados na face do usuário é visto na Figura 2.2.

Foram realizados testes com bolas de isopor em cor natural branca e tingidas com tintas azul, vermelha e verde. Entretanto, a cor amarela foi a que produziu melhores condições de separação do restante dos elementos da imagem.

A Figura 2.3 mostra o fluxograma do algoritmo de rastreio descrito a seguir. A segmentação das imagens para extração dos marcadores é feito no espaço de cores HSV, utilizando a componente de matiz (H). A ferramenta

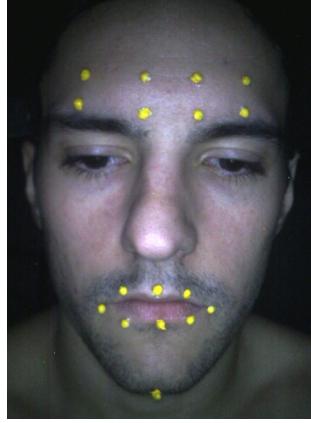


Figura 2.2: Marcadores Passivos Colados no Rosto do Usuário

permite ao utilizador escolher os limiares inferior e superior que limitam a região de matizes amarelas dos marcadores. O uso do modelo HSV é importante para desvincular a informação da cor das condições de iluminação da cena. Para diversos testes realizados em ambientes com condições variadas, a faixa  $H_0 \in [90, 110]$ , considerando uma faixa de varredura para  $H \in [0, 180]$ , mostrou os melhores resultados para separar os marcadores do restante da cena. A Figura 2.4 mostra um exemplo de imagem segmentada binária com os marcadores isolados.

Os marcadores são fixados em pontos estratégicos com áreas de maior movimentação e expressividade e maior relevância para a percepção de emoções como a boca e sobrancelhas [8]. Para acompanhamento ao longo da captura, cada marcador recebe um rótulo identificador. A quantidade e posição dos marcadores devem seguir a distribuição vista na Figura 2.2.

A imagem binária segmentada vista na Figura 2.4 é então varrida, buscando as regiões brancas. Quando uma região é encontrada, assume-se que ali existe um círculo e seu diâmetro é medido. Para evitar a influência do ruído que naturalmente ocorrem durante a segmentação da cena, uma região só será considerada uma região de marcador se tiver diâmetro maior que 7 pixels (valor estabelecido experimentalmente). Caso a região seja aceita, as coordenadas do seu centro de massa serão rotuladas e guardadas para rastreio. A região é removida para que não seja encontrada múltiplas vezes na mesma cena.

A identificação dos pontos e sua associação com os rótulos é feita conside-

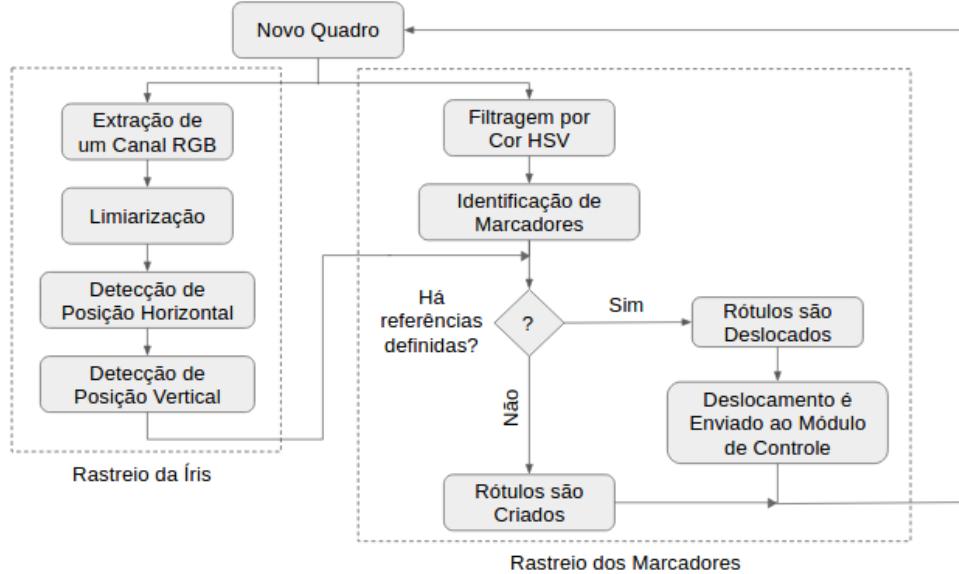


Figura 2.3: Fluxograma do Algoritmo de Rastreio.

rando-se tanto sua posição na imagem, quanto seu posicionamento em relação aos demais pontos. Para facilitar essa identificação, os pontos da região da boca e os da sobrancelha são separados em conjuntos distintos, de forma que sejam comparados apenas com os demais pontos de sua própria região. Uma vez que a varredura seja finalizada, os pontos são ordenados conforme a ordem crescente de suas coordenadas horizontais. Caso seja a primeira varredura da imagem, os pontos de referência terão de ser criados, caso contrário, eles receberão apenas a informação do deslocamento. Em ambos os casos, a identificação dos rótulos é feita usando esse mesmo algoritmo.

### 2.2.1 Rastreio das sobrancelhas

A distribuição dos marcadores na região das sobrancelhas é sempre realizado conforme visto na Figura 2.5. Os marcadores são dispostos em quatro colunas com dois marcadores cada. Dessa forma haverá 4 pares de pontos, onde cada par possui valores próximos para suas coordenadas horizontais. Assim, ordenando os pontos conforme a ordem crescente de suas coordenadas horizontais, os pares de pontos de cada coluna estarão sempre subsequentes nesse

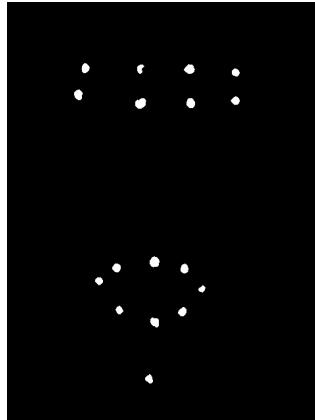


Figura 2.4: Exemplo de imagem binária segmentada.

conjunto ordenado.

Cada par de pontos será comparado quanto às suas coordenadas verticais. O ponto mais próximo ao topo da imagem será classificado como ponto superior e o mais próximo ao rodapé será classificado como ponto inferior. A Figura 2.5 ilustra a rotulação realizada, destacando os pontos superiores  $s1s$ ,  $s2s$ ,  $s3s$  e  $s4s$  e os pontos inferiores  $s1i$ ,  $s2i$ ,  $s3i$  e  $s4i$ .

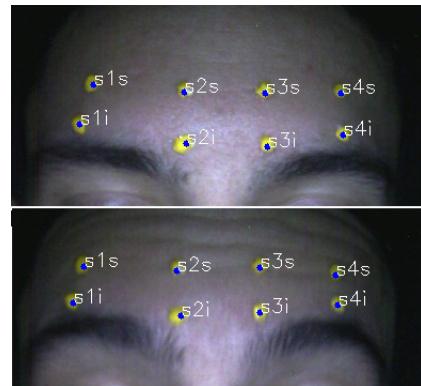


Figura 2.5: Rastreio dos marcadores na sobrancelhas.

## 2.2.2 Rastreio da boca

Apesar da ausência da uniformidade vista na região da sombrancelha, os marcadores da boca são identificados de forma similar. O ponto mais próximo à lateral esquerda é denominado **canto 1**. Os dois pontos seguintes serão comparados usando sua posição vertical. Aquele situado mais próximo ao topo da imagem será o ponto superior. O mais próximo à base da imagem será o ponto inferior. Em seguida, serão comparados 3 pontos, que se encontra mais abaixo será o ponto do queixo, o que se encontra mais acima será o superior e o outro ponto, será o ponto inferior da boca. Os próximos dois são comparados de forma semelhante ao primeiro par. O último ponto será sempre o **canto 2**.

A Figura 2.6 ilustra o processo de marcação automática dos pontos da boca em duas situações distintas.

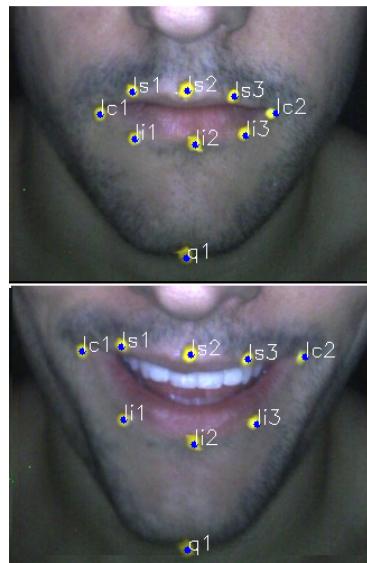


Figura 2.6: Rastreio dos marcadores na Boca

## 2.3 Rastreio dos olhos

O rastreio dos olhos do usuário é semi-assistido. Requer mínima intervenção do usuário apenas para criar uma marcação inicial na pupila de cada olho

em uma imagem capturada no sistema interativo desenvolvido. Uma vez marcada a pupila aparecerão retângulos sobre os olhos indicando a região processada para o rastreio, como pode ser visto na Figura 2.7. Como o aparelho mantém a câmera estática em relação ao rosto, a posição dos retângulos não precisa ser corrigida no decorrer da captura.

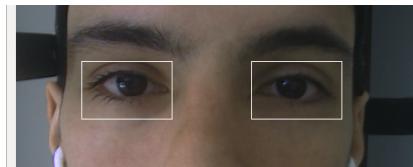


Figura 2.7: Regiões de rastreio dos olhos

O rastreio se dá em duas fases: primeiramente encontra-se a posição horizontal da pupila e então a posição vertical. Cada olho é isolado em uma nova imagem de dimensões iguais a 60 pixels verticais por 110 Pixels horizontais. As imagens são obtidas em tons de cinza a partir do isolamento de um dos canais de cor da imagem original em RGB. Em seguida, as imagens são limiarizadas, assumindo para os pixels valor zero (preto) se for menor ou igual ao limiar estabelecido, e 255 (branco) caso seja maior que tal limiar. O limiar adequado é definido por meio do software de captura e deve ser ajustado conforme as condições de iluminação da cena. A imagem limiarizada pode ser vista na Figura 2.8



Figura 2.8: Regiões de rastreio dos olhos segmentadas

As regiões escuras dos cílios provocam o aparecimento de ruídos nas laterais dos olhos próximas ao lado externo da face. Para evitar o processamento desnecessário desse ruído, optou-se por realizar a busca pela íris do centro da imagem em direção às laterais da face, coluna após coluna.

As colunas são varridas buscando-se pela primeira sequência contínua vertical de cinco pixels pretos. Quando esse evento ocorre, o contorno externo

da pupila foi encontrado. Para determinar a coordenada horizontal do centro da íris, caminha-se um total de 10 pixels em direção à lateral da face.

Para determinar a coordenada vertical do centro, caminha-se da borda inferior da janela em direção à superior. A posição do contorno externo é encontrada quando um conjunto consecutivo de 5 pixels pretos é percorrido. O primeiro pixel determina a posição do contorno. Caminha-se um total de 10 pixels em direção à borda superior da imagem e ficam assim determinadas as coordenadas horizontal e vertical do centro da íris.

A decisão por caminhar de baixo para cima em busca da coordenada vertical do centro evita a presença indesejada dos cílios nessa etapa de reconhecimento.

A contagem de cinco pixels foi suficiente para eliminar ruído proveniente da etapa de segmentação e encontrar a íris com sucesso. Como o diâmetro da íris é constante, um *offset* de 10 pixels foi suficiente para determinar as coordenadas dos centros. Esses parâmetros podem ser facilmente ajustados para imagens tomadas em resoluções alternativas. O resultado do rastreio pode ser visto na Figura 2.9.

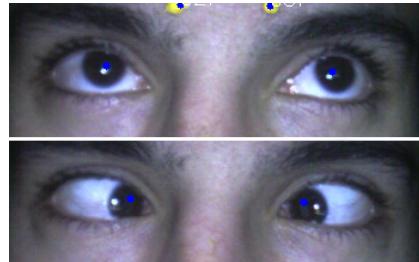


Figura 2.9: Rastreio das íris

# Capítulo 3

## Animatronico

### 3.1 Processo de Construção

O termo *Animatronic* foi criado pelo departamento de Imagineering da Walt Disney Enterprise, empresa encarregada da criação das atrações e parques de Disney. Sempre à frente do seu tempo Walt Disney, criou o departamento de Imagineering assim como fez com a palavra, unindo imaginação, criatividade e engenharia para trabalhar em conjunto arte e ciência, utilizando tecnologia para viabilizar sonhos, criando novas tecnologias onde faltasse. Uma dessas novas tecnologias foram os Audio Animatronics, estruturas robóticas criadas com o propósito de trazer para o mundo real personagens das animações dos estúdios de Disney, imitando seus movimentos e aparência. O termo Audio Animatronic deriva da expressão *Electronically Animated by Sound* ou Animado Eletronicamente por Som, uma vez que originalmente os robôs eram controlados utilizando tons de áudio em fitas magnéticas para acionar os atuadores eletromecânicos [14].

A construção de um animatronico une processos artísticos e tecnológicos. Inicialmente são feitos desenhos e maquetes de conceito do personagem. A partir do conceito é feita uma escultura em tamanho real do aspecto externo do personagem. Para este trabalho foi escolhido um chimpanzé. A escultura foi feita em argila plastilina vista na Figura 3.1.

A escultura é então moldada em um processo de múltiplas camadas. Inicialmente uma camada de borracha de silicone é pincelada sobre a escultura, a ela é dado o nome de *Beauty Coat*, seu propósito é registrar os detalhes mais finos da superfície. Quando esta camada está próxima da cura total,



Figura 3.1: Escultura em Argila Plastilina



Figura 3.2: Orelhas Esculpidas Separadamente

é o momento de aplicar uma segunda camada de reforço, dessa vez é adicionado o espessante Aerosil, para evitar que o silicone escorra, aumentando rapidamente a espessura do molde. Como o silicone é flexível e captura detalhes mas não mantém bem a forma sozinho quando pouco espesso, é criada uma jaqueta (ou matriz) de gesso para lhe atribuir integridade estrutural. Essa matriz precisa é feita em duas metades para permitir acesso ao interior do molde e deve ser reforçada com juta para aumentar sua resistência. As orelhas foram esculpidas e moldadas separadamente. Quando o gesso secar, o molde é então aberto e a argila deve ser retirada de seu interior, deixando uma versão negativa do que fora esculpido.

### 3.1.1 Pele

Dentro do molde é colocada uma camada de argila, representando o espaço que em um momento será ocupado pela pele de borracha. Sobre a argila é laminada resina de poliéster reforçada com fibra de vidro. Essa camada de resina se tornará o esqueleto do animatronico chamado de *underskull*. O molde é então aberto, o *underskull* é retirado e limpo, e a argila é retirada e o molde é limpo. O *underskull* será então replicado, uma cópia será me-



Figura 3.3: Metade Frontal do Molde em Borracha de Silicone com Jaqueta de Gesso

canizada, outras servirão para confeccionar os dentes, a pele, e suportá-la durante os subsequentes processos de pintura e acabamento. O molde deve ser preparado para que o material da pele não grude ao molde, primeiro foi colocada uma camada de água com sabão, que cria um filme protegendo o silicone, e então uma camada de vaselina. O molde é então fechado com o *underskull* dentro, e o material da pele é injetado no espaço vazio antes ocupado pela argila. Para este artigo foi utilizada borracha de silicone pigmentada. Quando o silicone curar completamente, o molde deve ser aberto, a pele retirada, limpa, cortada quaisquer aparas, reaparadas quaisquer bolhas ou imperfeições, pintada e finalizada com cabelos caso seja necessário.



Figura 3.4: Pele de Silicone Retirada do Molde

A pele foi então pintada com tintas à base de óleo e acrílicas e finalizada com adesivo de silicone para durabilidade. As orelhas foram feitas com adesivo de silicone pigmentado com tinta atrílica, e pintadas com tintas óleo, quando secas foram coladas à pele utilizando adesivo de silicone.



Figura 3.5: Pele de Silicone Pintada e com as Orelhas Coladas

### 3.1.2 Dentes

O processo de confecção dos dentes se inicia com um *underskull* articulado na região da boca, sobre ele serão esculpidos os dentes superiores e inferiores simultaneamente. A articulação é importante, para evitar que os dentes colidam na abertura e fechamento da boca do animatronico final, assim é essencial que a articulação ocorra no mesmo ponto que o mecanismo final. Finalizadas as esculturas, os dentes serão moldados utilizando silicone, a partir deste molde será feita uma versão em resina acrílica do que fora esculpido.

A confecção dos dentes se dá em duas etapas, inicialmente o molde é preenchido com resina acrílica autopolimerizável cor de dente. Quando retirada do molde, a dentadura toda terá coloração de dente, a parte da gengiva precisa ser cortada, de forma que restem somente os dentes. Os dentes serão então colocados de volta no molde, que será agora preenchido com resina acrílica autopolimerizável cor de gengiva. Cumpridas as duas etapas a dentadura deve ser limpa de aparas. Para atribuir mais realismo ao personagem, os dentes precisam ser finalizados. Utilizando tintas acrílicas diluídas são adicionados sujeira aos dentes e escurecimento de regiões da gengiva para dar profundidade.



Figura 3.6: Dentes sendo Esculpidos Sobre Base Articulada



Figura 3.7: Dentes Antes e Após Finalização

### 3.1.3 Olhos

Os olhos foram confeccionados com um processo similar aos dentes, utilizando-se duas resinas de poliéster, uma opaca pigmentada em preto para a base, e uma transparente representando a córnea. A base foi esculpida em argila plastilina como um tronco de semi-esfera, na parte plana do tronco foi feito um pequeno buraco para representar a pupila, essa escultura foi então moldada em silicone e replicada em resina de poliéster pigmentadas em preto. Sobre a parte plana, ao redor da pupila foi pintada a íris utilizando tintas acrílicas. A base e a pupila podem ser vistos na figura 3.8.

Um segundo molde foi feito, também em silicone, extendendo o tronco para uma semi-esfera completa. As bases com íris pintadas foram então



Figura 3.8: Base Para o Olho Antes e Após Pintura da Íris

colocadas dentro do segundo molde preenchido com resina de poliéster cristal, transparente para criar a sensação de profundidade e a estrutura das lentes do olho.



Figura 3.9: Olhos Após Finalização

### 3.1.4 Mecanização

O processo de mecanização se inicia com o planejamento dos movimentos que são esperados do personagem. Para fins de prova de conceito, neste trabalho o foco será na articulação e controle da abertura e fechamento da boca. Os olhos também poderiam ser mecanizados para olhar para diferentes posições e piscar, no entanto esse esforço elevaria o custo de fabricação do boneco e não se faz necessário. Usando-se o *underskull* como base, os mecanismos são então planejados de forma a movimentar a pele dando a ilusão de ossos e músculos do personagem. Um ponto de rotação foi escolhido para a mandíbula, e então essa foi separada do resto da cabeça. A Posição correta dos dentes em relação à boca na pele foi medida e então uma peça representando a mandíbula foi cortada do resto do *underskull* (que foi partido em dois para permitir acesso aos motores que ficarão em seu interior, sendo as metades seguras por parafusos à placa central), retirando material suficiente para que os dentes pudessem ser encaixados (Figura 3.11).

Uma placa central feita em madeira compensada segura e estabiliza os servo-motores. Duas hastes foram acrescentadas horizontalmente a fim de

dar estabilidade e prevenir que a placa se desloque no interior do *underskull*. A placa central também é presa ao *underskull* utilizando-se de 4 parafusos, dois na metade frontal e dois na metade posterior que podem ser removidos para manutenção dos mecanismos internos.

A articulação tem um grau de liberdade em rotação, foi feita em madeira em duas partes mais um pino que as interliga. Cada articulação foi afixada ao interior do *underskull* usando cola epóxi bicomponente. Durante o processo de fixação é essencial que as articulações dos dois lados estejam com seus eixos de rotação alinhados para permitir uma abertura e fechamento suaves da boca, evitando sobrecarga no motor. Inicialmente foi utilizado um braço de madeira acoplando o motor à mandíbula, mas foi observado que a rigidez da madeira estava interferindo no movimento, sendo substituída por um acoplamento metálico, como pode ser visto na Figura 3.10.



Figura 3.10: Articulação, Placa Central e Braço de Acoplamento Metálico

Um suporte em madeira (Figura 3.12) foi construído para erger a cabeça do personagem permitindo que a boca abra livremente. A cabeça foi afixada ao suporte por meio de sua placa central, deixando espaço livre tanto para o movimento da mandíbula, quanto para a afixação da parte traseira do *underskull*.



Figura 3.11: *Underskull* com Dentes Fixados e Mandíbula Mecanizada

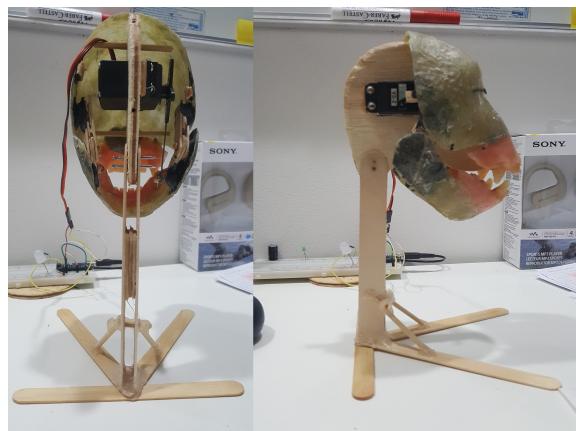


Figura 3.12: Suporte em Madeira

# Capítulo 4

## Sistema de Controle

O sistema de captura aqui apresentado pode ser utilizado para animar tanto personagens digitais quanto práticos. Para transferir os movimentos da face do usuário para a face do personagem, a ferramenta conta com um módulo de controle que se comunica serialmente com um sistema embarcado baseado em microcontrolador da Atmel ATMEGA 328. Enquanto o módulo lê o deslocamento dos pontos de interesse e os transforma em um valor de 0 a 255 e envia através do protocolo RS-232, o *hardware* recebe esse valor e o transforma em um sinal de controle para o servo-motor.[\[6\]](#)

### 4.1 Hardware

O microcontrolador configura um protocolo de comunicação UART assíncrono de 8 bits para receber os dados vindos do módulo de controle do software. A comunicação se dá através de uma porta USB e a conversão para serial é feita no hardware. Os sinais PWM (*Pulse Width Modulation* ou Modulação por Largura de Pulso) são gerados a partir dos contadores internos do microcontrolador. São dois contadores de 8 bits e um de 16 bits, cada contador podendo gerar até dois PWMs independentes, permitindo o controle de até 6 motores independentes [\[3\]](#).

Os servo-motores são motores DC controlados internamente por um controlador PID, onde a posição desejada é definida pelo sinal PWM de entrada, e o feedback é dado por um potênciômetro interno. Os servos utilizados têm uma amplitude de movimento de 180 graus, e sua posição é determinada pelo tempo que o PWM fica em nível lógico verdadeiro. O PWM é uma

onda quadrada (tendo somente dois valores, zero ou um) onde a informação está armazenada na largura da onda, se o sinal estiver em um por um milisegundo ou menos, o servo ficará na posição 0 grau. Se ficar em um por 2 millisegundos ou mais, o servo ficará na posição 180 graus. O intervalo entre o máximo e mínimo é dividido linearmente.

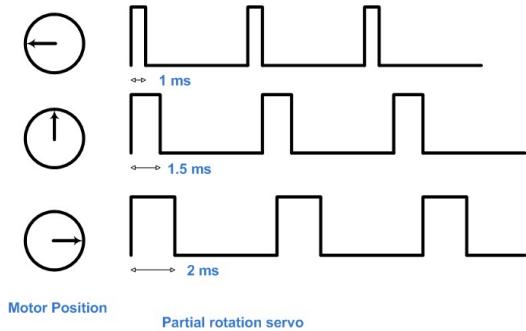


Figura 4.1: Posição do Servo-Motor e Sinal de Controle

O *hardware* fica então esperando o recebimento da mensagem vinda do módulo de controle. Para cada motor são enviados dois bytes, o primeiro identifica o motor ao qual a informação é pertinente, o segundo indica o valor que será passado para o PMW. Enquanto houver bytes disponíveis para leitura no canal de comunicação, o *hardware* vai lê-los e alterar o valor dos sinais de controle.

## 4.2 Módulo de Controle

O módulo de controle permite configurar diversos aspectos da comunicação entre o software de captura e o hardware dedicado de controle. Inicialmente o usuário deve selecionar uma porta serial detectada automaticamente pelo sistema como canal de comunicação ao qual o hardware está conectado. Em seguida devem ser configurados os parâmetros dos servos a ser utilizados como o rótulo do marcador que serve como referência para sua atuação e um ganho (que pode amplificar ou atenuar o movimento do marcador). Podem ser configurados também valores máximos e mínimos para a posição do servo, dado que não necessariamente a articulação que ele aciona terá a mesma amplitude de movimento que o motor. A configuração também pode ser espelhada, pois dependendo de como o servo foi encaixado na estrutura física,

pode ser necessário espelhar seu movimento para replicar corretamente o movimento capturado.

O sistema de captura passa para o módulo de controle um conjunto de dados contendo as posições dos marcadores, seus rótulos, e seus deslocamentos relativos à posição anterior. O módulo de controle identifica quais servos foram configurados para seguir quais marcadores e então calcula o valor que deve ser enviado ao hardware de controle. Esse valor é calculado aplicando o ganho determinado pelo usuário, espelhando a medida caso seja necessário, e então saturando para os valores de máximo e mínimo estabelecidos para aquele motor. Quando a posição de algum servo muda, uma mensagem é enviada serialmente para o módulo de controle contendo um byte que identifica o motor ao qual o valor é pertinente, e sua nova posição.

# Capítulo 5

## Resultados

O sistema foi capaz de detectar os marcadores e posição das pupilas com acurácia na maior parte do tempo, havendo um pouco de ruído no acompanhamento dos marcadores devido às alterações no padrão de iluminação em decorrência do movimento dos marcadores, o que provocou variações em seu formato na imagem filtrada (figura 2.4), resultando em pequenas flutuações na detecção do centro de alguns marcadores. No que diz respeito ao rastreio das pupilas tanto ruídos da limiarização, quanto sombras e piscadas acabaram resultando em eventuais flutuações na detecção. Nas Figuras 5.1 e 5.2 a funcionalidade do sistema de rastreio pode ser vista comparando diferentes expressões faciais.

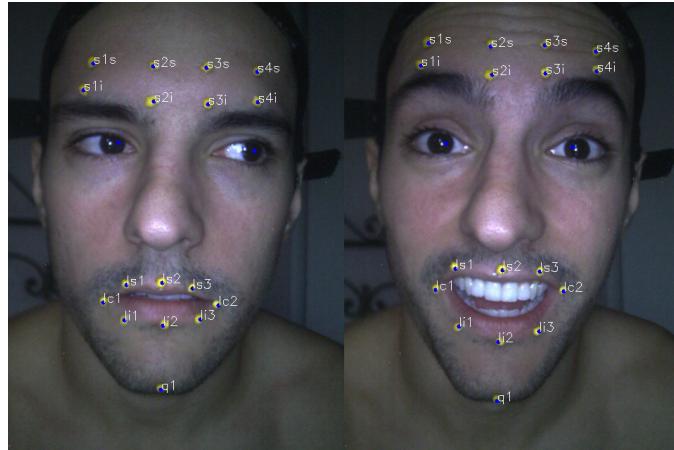


Figura 5.1: Expressão Neutra vs Expressão de Surpresa

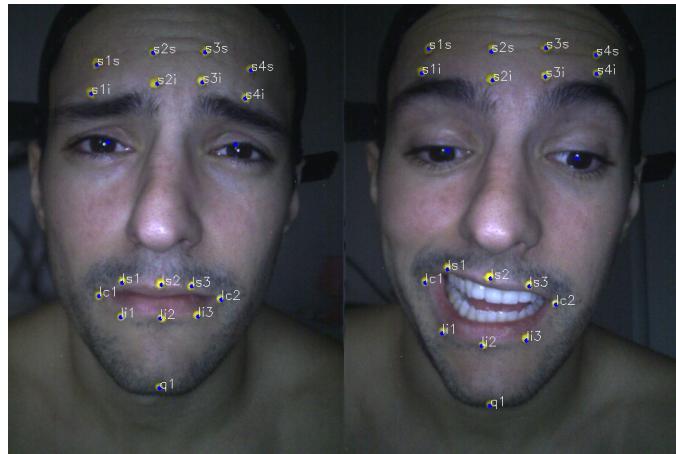


Figura 5.2: Comparativo de Diferentes Expressões Faciais

A animação do animatrônico focou-se no marcador do queixo (**q1**), identificando abertura e fechamento da mandíbula do usuário e transferindo o movimento de forma atenuada para o boneco. As Figuras 5.3, 5.4 e 5.5 mostram o sistema de captura controlando o animatrônico.

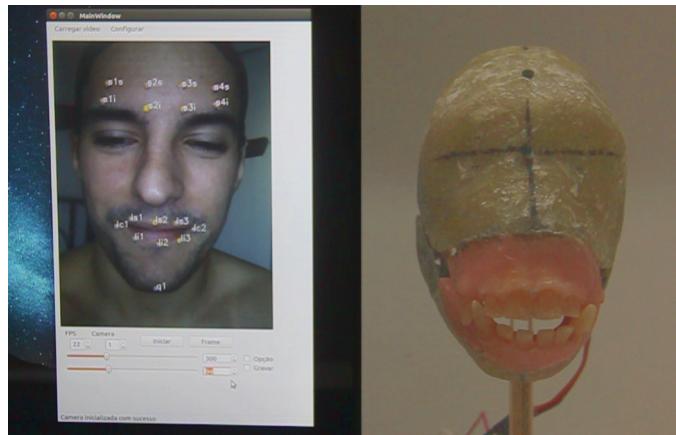


Figura 5.3: Boca completamente Fechada

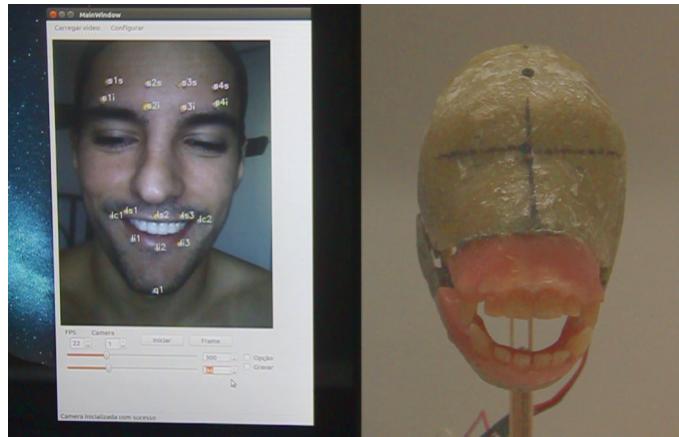


Figura 5.4: Boca Meio Aberta

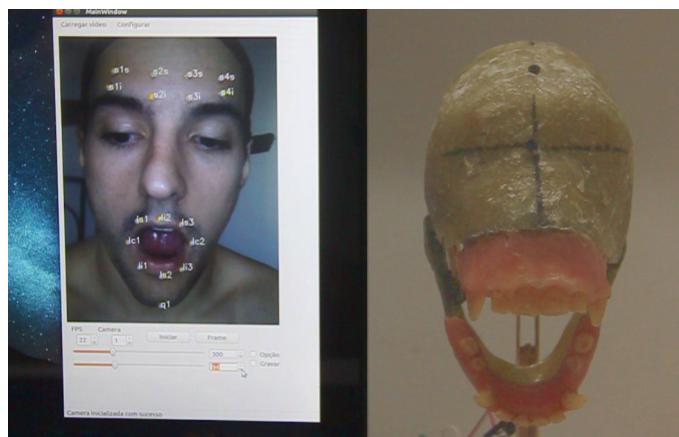


Figura 5.5: Boca Completamente Aberta

# Capítulo 6

## Considerações Finais

O presente trabalho apresentou um sistema para captura de movimento de pontos da face usando *hardware* de baixo custo com suporte para animação de robôs animatrônicos. Foram mostrados os procedimentos para preparação do sistema de captura e como se dá o rastreio de pontos estratégicos na face e nos olhos do usuário e a construção de um animatrônico para testes do sistema.

É importante notar que os algoritmos utilizados são todos de baixo custo computacional, e são baseados em estratégias simples, tais como verificar faixas de valores para componentes de cor e rotular pixels em regiões pré-determinadas.

A documentação completa do sistema e a disponibilização dos códigos-fonte desenvolvidos estão sendo realizadas sob licença de código livre para a comunidade.

O processo de desenvolvimento de um robô animatrônico é apresentado detalhadamente. As configurações do módulo de controle do animatrônico devem ser feitas tomando como base a amplitude de movimento das articulações do robô e podem ser adaptadas em tempo real.

Versões futuras do sistema também terão incorporados modelos computacionais usando ferramentas de animação de código livre como o Blender para facilitar a tarefa da equipe de animação.

# Bibliografia

- [1] ADMTronics, *Pros-aide adhesive*, <http://www.pros-aide.com/original.html>, Accessed: 2016-09-28.
- [2] Antonio Camurri and Gualtiero Volpe (eds.), *Gesture-based communication in human-computer interaction, 5th international gesture workshop, GW 2003, genova, italy, april 15-17, 2003, selected revised papers*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 2915, Springer, 2004.
- [3] Atmel Corporations, *Atmega48pa/88pa/168pa/328p datasheet*, Datasheet, 2009.
- [4] Amit H. Bermano et al., *Facial performance enhancement using dynamic shape space analysis*, (2013).
- [5] Ugur Gudukbay Fatih Erol, *An interactive facial animation system*, (2007).
- [6] Agostinho M. B. Júnior Matheus F. P. Pereira, *Um sistema de captura de movimentos de baixo custo para animação de personagens*, (2016).
- [7] Thomas B. Moeslund and Erik Granum, *A Survey of Computer Vision-Based Human Motion Capture*, Computer Vision and Image Understanding **81** (2001), no. 3, 231–268.
- [8] Donald Neth and Aleix Martinez, *Emotion perception in emotionless face images suggests a norm-based representation*, Journal of Vision (2009).
- [9] Takaaki Shiratori, Moshe Mahler, Warren Trezevant, and Jessica K. Hodgins, *Expressing animated performances through puppeteering*, (2013).

- [10] Jim Henson's Creature Shop, *History*, <http://creatureshop.com>, Accessed: 2016-10-31.
- [11] Leonid Sigal and Vloden Koltun, *(marker-based) motion capture*, University Lecture, 2012.
- [12] EtPhoto SmugMug, *It's alive! bringing animatronic characters to life on film (está vivo! trazendo personagens animatrônicos à vida em filmes)*, <https://etphoto.smugmug.com/Henson/Animatronics-Exhibit/i-ccr36rM>, Accessed: 2016-10-31.
- [13] Vicon, *What is motion capture*, <https://www.vicon.com/what-is-motion-capture>, Accessed: 2016-10-15.
- [14] Walt Disney World, *The history of disney's audio animatronics*, <http://www.magicalkingdoms.com/blog/2008/07/08/the-history-of-disneys-audio-animatronics/>, Accessed: 2016-10-29.