

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE BELAS ARTES

Leonardo Rocha Dutra

**ANIMAÇÃO FACIAL EM STOP MOTION POR
MECANISMOS INTERNOS DE ACIONAMENTO INDIRETO:
ESTUDOS DE CASO E PROJETO CONSTRUTIVO.**

Belo Horizonte
2020

Leonardo Rocha Dutra

**ANIMAÇÃO FACIAL EM STOP MOTION POR
MECANISMOS INTERNOS DE ACIONAMENTO INDIRETO:
ESTUDOS DE CASO E PROJETO CONSTRUTIVO.**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação da Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Artes.

Linha de Cinema.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Silva Gino.

Belo Horizonte
Escola de Belas Artes da UFMG
2020

Ficha catalográfica
(Biblioteca da Escola de Belas Artes da UFMG)

Dutra, Leonardo Rocha, 1970-

Animação facial em stop motion por mecanismos internos de acionamento indireto [manuscrito] : estudos de caso e projeto construtivo / Leonardo Rocha Dutra. – 2020.

132 p. : il.

Orientador: Maurício Silva Gino.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Belas Artes.

1. Animação (Cinematografia) – Técnica – Teses. 2. Animação por computador – Teses. 3. Expressão facial – Teses. 4. Desenho tridimensional – Teses. 5. Desenho (Projetos) – Teses. 6. Usinagem – Teses. I. Gino, Maurício Silva, 1966- II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Belas Artes. III. Título.

CDD 778.5347

**ESCOLA DE BELAS ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARTES**

Folha de Aprovação - Assinatura da Banca Examinadora na Defesa de Tese do aluno
LEONARDO ROCHA DUTRA - Número de Registro - **2016658120**.

Título: “Animação facial em stop motion por mecanismos internos de acionamento indireto: estudos de casos e projeto construtivo”



Prof. Dr. Maurício Silva Gino – Orientador – EBA/UFMG



Profa. Dra. Carla Schneider– Titular – Universidade Federal de Pelotas - UFPel



Prof. Dr. Flávio Gomes de Oliveira– Titular – Universidade Federal de Goiás - UFG



Prof. Dr. Antônio César Fialho de Sousa– Titular – UFMG



Prof. Dr. Fabrício José Fernandino– Titular – UFMG

Belo Horizonte, 20 de outubro de 2020.

Dedico essa tese à memória de meu pai (1940 - 2018).

AGRADECIMENTOS.

A ordem das menções abaixo não segue uma relação de importância, pois essa relativização seria impossível diante dos diferentes papéis que muitos indivíduos e instituições exerceram ao contribuir decisivamente para essa pesquisa.

Mas prioritariamente mais importantes, agradeço primeiramente aos meus pais, que não só me conceberam e criaram como me educaram para o apreço pela concepção, entendimento e realização de coisas.

Entre vários motivos, agradeço a habilidade de projetar que aprendi no escritório do meu falecido pai, o arquiteto-engenheiro Maurício Antônio Dutra dos Santos (CREA-MG 6.666) - ainda na adolescência, que tanto me auxiliou nessa pesquisa, assim como o gosto pelo saber como as coisas são feitas.

Agradeço ao apoio carinhoso e paciente da minha mãe, Diane Rocha Dutra dos Santos, mesmo perdendo dolorosa e lentamente o seu companheiro de 50 anos no meio desse processo de doutoramento, em 06 de Dezembro de 2018. Grato por acreditar em mim mãe. Chegamos à esse outro final, agora feliz!!

Espero que o meu caçula Vinicius um dia entenda eu ter sacrificado tanto a minha presença em período tão importante como dos seus 3 aos 7 anos, e também a minha esposa Sabrina Esmeralda Ribeiro de Miranda que em 11 anos de relacionamento, 6 e meio foram os do meu *strictu-sensu* (e que aprova um anunciado pós-doc!). Amo vocês.

Além dos meus pais e esposa, agradeço aos meus sogros - Dona Geralda Ribeiro da Silva e João Miranda e também aos queridos cunhados Christiane Kellen Miranda Castro e José Liberato Castro.

Por compartilharmos a paixão pelo feito à mão e pelas palavras de incentivo eu agradeço à minha prima Andréa Del Giudice.

Agradeço o apoio incondicional do meu orientador, o professor Doutor Maurício Silva Gino, que abonou uma investigação dependente da montagem de um novo laboratório, em um campo técnico ainda novo na pesquisa em Artes e mais ainda na linha de pesquisa em Cinema. Me congratulo também pelas diversas ações que desenvolvemos juntos nesses quatro anos: dois artigos internacionais (AVANCA 2018 e 2019), um capítulo de livro (Pesquisas em Animação), um conferência internacional (AVANCA 2018) e duas comunicações nacionais (Seminário de Pesquisas em Animação 2019 e Experimenta Anima 2020). Produzimos!!

Essa pesquisa dá sequência ao meu estudo de mestrado em Design na UEMG, orientado pelo prof. Dr. Jairo José Drummond Câmara, entusiasta do tema - e quando recebi também o apoio engajado do prof. M.Sc. Romeu Rodrigues Pereira para me iniciar na fresagem manual de metais.

Em 2012 tivemos a oportunidade de levar o meu primeiro esqueleto usinado manualmente em aço inox para a avaliação de Peter Saunders e outros nomes do stop motion europeu, graças ao convite do Bureau Santa Rosa Cultural, oportunidade que consolidou o nosso interesse em continuar pesquisando esse campo. Sempre grato por acreditar neste trabalho Eleonora Santa Rosa!

Desse lado do atlântico, mas no hemisfério norte, os (literal e figuradamente) modelares profissionais e pacientes amigos James Randall e Ronald S. Cole, que generosamente me ensinaram seus preciosos segredos.

Do outro lado do Atlântico setentrional temos o mundialmente aclamado Barry Jonathan Cabtree Purves, que desde nossa visita vem acolhendo essa busca, sempre compartilhando o que deve ser a mais assertiva visão sobre stop motion - além de nos ter prendido nessa paixão com seus filmes sem paralelo.

Amplificando intensamente e de forma continuada esse caminho sem volta da usinagem, agradeço ao meu mestre Luiz Carlos Castro - o Luiz Ally - a pessoa que tornou a usinagem CNC miniaturizada de alta precisão acessível para o Brasil e o mundo. Um trabalho único, compartilhado por uma generosidade igualmente ímpar.

Agradeço ao apoio e solidariedade dos colegas de magistério dos tempos de ED-UEMG, em especial pela leitura atenta dos meus textos em um apoio “acadêmico-emocional” dos amigos Cássia Macieira, Cristiane Nery e Marcelo Bicalho.

O impulso proveniente da vibração positiva dos amigos pessoais: André Sá Neves, Cláudio Santos Rodrigues, Fabiano Oliveira Chagas, Guilherme Augusto Rocha da Silva e Rogério Delayon.

Não se desenvolve tecnologias sem uma comprometida rede de fornecedores:

A difícil obtenção de alguns materiais especiais em pequena quantidade foi agraciada com a generosidade das empresas AMPCO do Brasil (Carlos Vogelsanger) e Teonaer (Teodoro e Leonardo). O que é pequeno para eles é enorme para nós em viabilização e motivação.

Na parceira dedicada da Tecnocorte pelas pessoas de Wandir, Charlene e o habilidoso Leandro.

Os atenciosos Paula Perez da Travers Tools, Renato Almeida da Loja da Usinagem e Antônio Vacherski da Lastro Metais.

Daniel Lopes da 3DLopes e os pacientes Romeu e Raboni, que ao longo de meses aprimoraram o processo de microimpressão em estereolitografia SLA-LCD para as necessidades funcionais muito específicas do projeto.

O não menos paciente e dedicado modelador e animador digital Igor Arantes Abrahão, profissional que mais tempo dedicou ao projeto e teve a abertura de mente para encarar as suas especificidades.

Agradeço à pesquisadora Dra. Wellingtânia Dias, que literalmente nos abriu as portas do LABBIO - Laboratório de Bioengenharia da Escola de Engenharia da UFMG, nos colocando em contato com o graduando em engenharia Douglas Jordan Ribeiro, especialista em silicões de uso prostético.

Em dois anos de um cotidiano de intensa imersão no Laboratório de Tridimensionalidade da escola de Belas Artes da UFMG recebi apoio e a convivência estimulante de professores, alunos e funcionários.

Primeiramente agradeço aos professores doutores: Adolfo Enrique Cifuentes, Cristiano Gurgel Bickel, Fabrício José Fernandino, Francisco Carlos de Carvalho Marinho, Maurício Silva Gino e Marília Lyra Bergamo por autorizarem e apoiarem integralmente a montagem do Laboratório de Microusinagem CNC no LabTRI.

Pelas estimulantes conversas no refeitório da ASSUFEMG com os professores: Maria da Conceição Pereira Bicalho, Maria Regina Emery Quites e Eugênio Paccelli da Silva Horta.

Pelo apoio da pós-doutoranda Paula Aryane Brito Alves e demais colegas do Grupo de Pesquisa Empírica em Animação.

Agradeço à cordialidade das pessoas com quem mais convivi na rotina de imersão no Laboratório de Tridimensionalidade - os funcionários da EBA-UFMG, Cantina, Lojinha e restaurante da ASSUFEMG:

Pelas conversas sobre os tempos do *Betacam SP* com o colega de LabTRI, Osger Demóstenes Machado.

Agradeço ao apoio e companheirismo da equipe do SLOP: Rosângela, Ronaldo, Mauri, Michel, Daniel, Klaus, Isadora e Gustavo.

Ao Maurílio e ao Edmundo do Almoxarifado.

Aos bibliotecários Daniel Rodrigues, Luciana de Oliveira e Rodrigo Bahia.

Os porteiros: Carlos, Eunice, Ildeu, Kennedy, Otacílio e Agostinho e os vigias Paulo e Gandra.

Equipe de limpeza do LabTRI: João e Marina.

A cantina da EBA-UFMG sob a direção de Juliana e equipe colaborando como possível com a minha dieta sem glúten: Leandro, Natália, Heloísa, Paula e Deise.

Ao atendimento no restaurante da ASSUFEMG representado pelas xarás do caixa: Vilma & Vilma.

Materiais, impressões e conversas com os queridos: Vavá, Géuva e Victor da lojinha.

Agradeço à paciência e atenção de Henrique Mello e Rodrigo Miranda da Gerência de Compras da FUNDEP no processo de aquisição dos acessórios subsidiados pela Taxa de Bancada FAPEMIG.

E por fim à secretaria do PPG Artes: Natália, Renata, Larissa, Diago e aos professores coordenadores do meu período como aluno: Dr. Maurício Silva Gino, Dra. Mônica Medeiros Ribeiro e Dr. Amir Brito Cadôr.

Essa pesquisa foi financiada por bolsa e Taxa de bancada da FAPEMIP e contou com verba CAPES-PROEX para conferência internacional (AVANCA 2018).

"O rosto é o espelho da Alma."

Cícero, 106 - 43 a.C.

"Só tem medo do erro, quem tem medo da verdade".

Georg Wilhelm Friedrich Hegel, 1770 - 1831.

"You never change things by fighting the existing reality. To change something, build a new model that makes the existing model obsolete."

Richard Buckminster Fuller, 1895 - 1983.

RESUMO.

DUTRA, Leonardo Rocha. **Animação facial em stop motion por mecanismos internos de acionamento indireto**. 2020. 132 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais. PPG Artes. Belo Horizonte, Outubro de 2020.

O stop motion de bonecos se distingue das outras técnicas de animação por ocorrer através de fotografia real. É uma técnica que requer um espaço físico tridimensional, sendo mais análogo ao cinema de ação ao vivo do que essas formas cinematográficas que produzem imagens através de imagens. Mas, no cinema de ação ao vivo, os personagens tem o empréstimo dos corpos dos atores para os materializar. Já em termos de desenho, seja analógico ou digital, perspectivista ou planar - tudo é possível. Mas quão pode ser expressivo um personagem que de fato é um objeto inanimado? O que pode fazer de um boneco um instrumento para construções performáticas de um comportamento sutil? E mais especificamente: como pode ser construída a expressão facial do personagem por um sistema de movimento que ofereça o máximo de controle ao animador sem que se perca a especificidade do stop motion com hibridações de outras técnicas de animação e/ou performance ao vivo? O presente estudo parte da análise dos poucos casos de animação facial em stop motion por mecanismos internos de acionamento indireto e contempla o projeto e desenvolvimento de um protótipo de cabeça animável nessa modalidade, em escala aproximada de 1:5 na técnica hidropneumática. Foram aplicadas para tal técnicas de manufatura artesanal miniaturizada assistida por meios subtrativos e aditivos de fabricação digital.

Palavras-chave: stop motion, animação facial, design de personagens, design de produção, microusinagem, esterolitografia, fabricação digital.

ABSTRACT.

DUTRA, Leonardo Rocha. **Stop-motion facial animation by internal mechanisms of indirect activation.** 2020. 132 f. (PhD thesis). Federal University of Minas Gerais. Program of Post-Graduation in Arts. Belo Horizonte, October of 2020.

The stop-motion with puppets is distinguished from other animation techniques in that it occurs through real photography. It is a technique that requires a three-dimensional physical space, being more analogous to live-action cinema than these cinematographic forms that produce images through images. But, in live-action cinema, the characters borrow the bodies of the actors to materialize them. In terms of design, be it analog or digital, perspectivist or planar - anything is possible. But how expressive can be a character that is in fact an inanimate object? What can make a puppet an instrument for constructing a performance of subtle behavior? And more specifically: how can the character's facial expression be constructed by a movement system that offers maximum control to the animator without losing the specificity of stop-motion with hybridization of other animation techniques and/or live performance? The present study starts from the analysis of the few cases of facial animation in stop motion by internal mechanisms of indirect activation and contemplates the design and development of a prototype of an animable head in this modality, in an approximate scale of 1:5 using the hydropneumatic technique. For this, were applied miniaturized artisanal manufacturing techniques assisted by subtractive and additive digital fabrication resources.

Keywords: stop-motion, facial animation, character design, production design, micro-machining, sterolitography, digital fabrication.

LISTA DE FIGURAS.

FIGURA 01. Comparação de deformações pontual, lineares e volumétricas.	20
FIGURA 02. Substituições parciais de posturas labiais para <i>Shaun, o Carneiro</i> (2007 - 2019).	24
FIGURA 03. Cortes com substituições totais ou parciais em <i>The Great Cognito</i> (1982).	25
FIGURA 04. Transição por fatiamento progressivo em <i>The Great Cognito</i> (1982).	26
FIGURA 05. Empilhamento e progressão em <i>The Great Cognito</i> (1982).	26
FIGURA 06. Cabelos animáveis em <i>Boxtrolls</i> (2014).	29
FIGURA 07. Fragmentos de fotogramas de <i>Le Roman de Renard</i> (1930-1937).	30
FIGURA 08. Fotogramas de <i>The Fool of The World and the Flying Ship</i> (1991).	32
FIGURA 09. Cabeça Marciana de <i>Marte Ataca!</i> (1993).	33
FIGURA 10. Mecanismos de animação facial por acionamento direto.	34
FIGURA 11. Cabeças de <i>Emily</i> e <i>Victoria</i> em <i>A Noiva Cadáver</i> (2005), com mecanismos internos de acionamento diretos e indireto.	37
FIGURA 12. Aspecto dos cabos atravessando o crânio e as placas movimentadoras de lábios no design de Ron Cole para <i>In The Fall of Gravity</i> (2009).	39
FIGURA 13. Recorte de fotogramas com fonemas "o".	40
FIGURA 14. Posicionamento de língua para formação de fonemas.	41
FIGURA 15. Detalhe das pontes metálicas para deslizamento dos fios repuxadores das sobrancelhas.	41
FIGURA 16. Caixa de controle dos cabos.	42
FIGURA 17. Cabeça do protagonista de <i>Moi, Barnabé</i> (2020).	45
FIGURA 18. Protótipo de caixa de controles com alavancas.	45
FIGURA 19. Porca T em aço 1045 para fixação; vista geral da morsa baixa; detalhe dos mordentes reduzidos de 1.0mm.	48
Figura 20. Plaina e suporte de serras de 0.8mm fabricando o imobilizador de spindle do torno com a peça fixada na fresadora na morsa retificada adquirida com a Taxa de Bancada.	49
Figura 21. Protótipo do parafuso de potência.	51
Figura 22. Puncionamento do canto em 90°; cabeça do parafuso formada, fresagem de chave de controle; teste de encaixe na chave; chave com pega em forma de gota.	52

Figura 23. Vista do topo da cabeça e diagrama de referenciamento da animação para uso em x-sheets convencionais e em automação.	53
Figura 24. Componentes desmontados da caixa de controle de atuação primária hidropneumática.	55
Figura 25. Separação transversal das câmaras de controle em quatro componentes plásticos.	58
Figura 26. Vista explodida dos componentes da mandíbula.	60
Figura 27. Agrupamentos de caixas de controle vizinhas em peças compartilhadas.....	61
Figura 28. Octaedros sobrepostos e funcionamento enquanto unidade mínima de fole poliédrico. Modelagem digital e composição pelo autor.	63
Figura 29. Ensaio por dobradura em cilindro de papelão; módulo modelado digitalmente...	64
Figura 30. Transição de fole para cilindro e ponta de encaixe nos soquetes com chanfro de memória rotacional.	65
Figura 31. Transição de fole para extremidade hemisférica.	65
Figura 32. Ligação não-comunicante.	66
Figura 33. Módulos conectivos em forma de cruz, T, Y e psi (Ψ).	66
Figura 34. Estudo inicial dos circuitos pneumáticos em vistas ortogonais.	69
Figura 35. Perfil inicial referenciado no profeta Ozéias do Aleijadinho.	70
Figura 36. Progressão da modelagem física na segunda versão.	72
Figura 37. Músculos interiores e exteriores de movimentação das sobrancelhas.	74
Figura 38. Músculos de movimentação da ponta do queixo, controlado por atuador duplo curto.	74
Figura 39. Músculos em bifurcação do franzido do nariz.	75
Figura 40. Músculos verticais do lábio superior, músculo horizontal do lábio superior.	76
Figura 41. Músculos verticais do lábio inferior.	77
Figura 42. Músculos verticais do sorriso e tristeza.	78
Figura 43. Montagem do globo ocular.	81
Figura 44. Distribuição dos túbulos de movimentação de globos oculares e pálpebras.	82
Figura 45. Montagem e o funcionamento do mecanismo das pálpebras.	83
Figura 46. Montagem e o funcionamento do mecanismo da mandíbula.	85
Figura 47. Detalhes dos módulos iniciais dos moldes macho e fêmea.	87

Figura 48. Saliências no fundo de cavidades nos moldes externos.	88
Figura 49. Conjunto para moldagem do módulo de extremidade hemisférica.	88
Figura 50. Conjunto para moldagem do músculo de franzido do nariz.	89
Figura 51. Conjunto para moldagem do músculo horizontal do lábio superior.	89
Figura 52. Conjunto para moldagem do músculo vertical do lábio superior.	90
Figura 53. Conjunto para moldagem da musculatura em biotensegridade.	90
Figura 54. Estrangulamentos para quebra programada.	91
Figura 55. Conjunto para moldagem dos músculos articuladores dos globos oculares.	92
Figura 56. Componentes formadores dos túbulos da mandíbula.	94
Figura 57. Base do crânio.	95
Figura 58. Peças intermediárias entre a base do crânio e a peça inferior das caixas de controle dos globos oculares.	96
Figura 59. Peças inferiores das caixas de controle dos globos oculares.	97
Figura 60. Peças superiores das caixas de controle dos globos oculares.	98
Figura 61. Componentes formadores dos túbulos do conjunto dos olhos e encaixe para nipe de alimentação do músculo risorius.	99
Figura 62. Componentes principais do fundo dos olhos com peças complementares em visão explodida.	101
Figura 63. Componentes da tubulação do franzido do nariz e dos soquetes inferiores das sobrancelhas internas.	102
Figura 64. Fechamento dos soquetes das sobrancelhas, seus túbulos e nipes.	103
Figura 65. Componentes interiores do maxilar superior.	104
Figura 66. Componentes intermediários e de fechamento dos circuitos do maxilar superior.	105
Figura 67. Primeira sequência de montagem da parte de trás da cabeça.	108
Figura 68. Segunda sequência de montagem da parte de trás da cabeça.	110
Figura 69. Terceira sequência de montagem, referente ao rosto.	112
Figura 70. Sequência final de montagem.	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.

AU - Action Unit.

CAD/CAM - Computer Aided Design, Computer Aided Manufacturing.

CNC - Comando Numérico Computadorizado.

FACS - Facial Action Coding System.

NFBC - National Film Board of Canada.

NURBS - Non-Uniform Rational Based Splines.

PAN-AM - Pan American World Airways.

PTFE - Politetrafluoretileno.

SLA-LCD - Stereolithography Apparatus - Liquid Crystal Display.

SUMÁRIO.

1. Introdução aos sistemas dinâmicos miniaturizados na animação facial.	14
2. Outras formas de animação facial na animação em stop-motion.	23
2.1 Animação facial por remodelagem de faces.	23
2.2 Substitutivos rígidos.	27
2.3 Animação facial por mecanismos internos de acionamento direto.	28
2.4 Animação facial por mecanismos internos de acionamento indireto.	35
2.4.1 Os discretos sorrisos em Peter Saunders.	35
2.4.2 A invicta precisão da fala em Ron Cole.	38
2.4.3 Jim Randall: (literalmente) alavancando a expressão facial.	43
3. Projeto e desenvolvimento de cabeça animável com mecanismos internos de acionamento indireto de músculos hidropneumáticos.	47
3.1 Ferramentaria de precisão para micro-usinagem CNC.	47
3.2 Fabricação digital subtrativa por micro-usinagem CNC.	50
3.3 Fabricação digital aditiva por estereolitografia SLA-LCD.	59
3.4 Concepção dos músculos tubulares expansíveis e contráteis.	63
3.5 Modalidades construtivas de conexões tubulares musculares.	64
3.6 Desenvolvimento do arranjo muscular da face.	66
3.6.1 Referencial escultórico da cabeça.	69
3.6.2 Músculos pneumáticos.	73
3.6.2.1 Interação músculo-pele.	73
3.6.2.2 Interação entre músculos e partes rígidas articuladas.	79
3.6.3 Atuador hidráulico.	84
3.7 Estratégias de moldagem.	86
3.8 Anatomia da ossatura.	93
3.9 Montagem do sistema.	105
3.9.2 Montagem do subsistema hidráulico da mandíbula.	114
4. Expectativas para o protótipo.	114
5. Considerações finais.	116
6. Referências.	119
7. Originais de citações traduzidas.	123
8. Anexos.	125

1. Introdução aos sistemas dinâmicos miniaturizados na animação facial.

Esse estudo é a continuação de uma investigação de mestrado que tratou das tecnologias do que entendemos por *puppet animation*: animação quadro a quadro por fotografia de figuras tridimensionais eretas posáveis: os esqueletos de animação com bonecos. Foi uma pesquisa prática e teórica sobre o uso de articulações metálicas compostas para a sustentação eficiente das poses sucessivas dos personagens. Também foi relatado um estudo de caso sobre animação de face única por mecanismos internos de acionamento indireto desenvolvida pelo artista inglês Peter Saunders, aqui retomado como marco referencial comparado a dois outros estudos de caso: os trabalhos dos estadunidenses Ron Cole e Jim Randall. Os três casos são os únicos exemplos identificados de uso de mecanismos internos de acionamento indireto para animação da face, ao qual se soma um caso recente, mas não analisado neste estudo por utilizar os mesmos recursos do desenvolvimento de Saunders¹. A análise do trabalho de Peter Saunders contou com uma visita técnica ao seu estúdio em Altrincham, Trafford, Grande Manchester, no Reino Unido, realizada em 06 de Outubro de 2011. Apesar de descrever essa realização sobre animação facial, a primeira pesquisa enfocou o movimento corpóreo. O presente estudo complementa o primeiro por sua ênfase na questão da face.

Como na época da pesquisa de mestrado, as referências bibliográficas ainda versam sobre o assunto da animação quadro a quadro de figuras tridimensionais de maneira generalista e pouco relatam sobre a animação de face única em seus aspectos técnicos, menos ainda por mecanismos internos. Não foram localizados outros estudos sobre a questão específica do uso de mecanismos internos de acionamento indireto - o que inclusive justifica a presente investigação. Quando a bibliografia aborda mecanismos para animação facial, trata-se apenas das articulações por esfera e soquetes para acionamento direto [PRIEBE, 2010, SHAW, 2008]. A exceção encontrada foi Barry Purves, que menciona o uso de mecanismos de redução por engrenagens, referindo-se à sua propriedade de resistir à memória de forma [2010]:

(...) Elementos em que o movimento pode combater a tensão natural da pele, como abrir uma mandíbula, podem precisar de um dispositivo de engrenagens para mantê-la aberta. (...) (PURVES, 2010, p. 85, tradução nossa).

¹ Trata-se dos desenvolvimentos do animador e construtor de figuras animadas iraniano Mojtaba Mousavi, desenvolvidas para o seu curta-metragem *Mr. Deer*, de 2018. Por e-mail ele relata utilizar a mesma estratégia de Saunders na mandíbula e acionamento direto nas sobrelhas articuladas por arame. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/BtTTE29IZhN/> Acesso em 27 de Julho de 2020.

Outras referências não são específicas de animação quadro a quadro, mas se aproximam do tema, como os estudos em animação facial de marionetes de teatro. Porém, estes apresentam mecanismos cujo funcionamento se realiza em ação ao vivo, cuja manutenção de poses depende da ação direta do manipulador e não da auto-sustentação de articulações. Na animação quadro a quadro é necessário que as poses se sustentem sozinhas entre um quadro e outro - com uma série de características² não contempladas pelas técnicas da ação ao vivo [DUTRA, 2012]. As articulações para manipulação ao vivo são sem atrito para serem acionadas manualmente sem propiciar resistência ao gesto - ou seja, de maneira oposta ao necessário na animação quadro a quadro.

O presente estudo baseia-se então na análise do estado da arte e no projeto e desenvolvimento de um método alternativo aos casos analisados que traga novas possibilidades técnicas e tecnológicas. O recorte é a opção por mecanismos internos de acionamento indireto na animação de um único objeto-face, utilizando hidráulica e pneumática incremental miniaturizada por meio de fabricação digital.

Para tal utilizamos um recurso técnico de alta precisão e miniaturização de componentes metálicos para mecanismos: a micro usinagem por CNC - comando numérico computadorizado, para a qual montamos um laboratório único em instituições artísticas brasileiras e mesmo internacionais, Sustentamos essa afirmação pelo fato de que o equipamento é resultado de uma modificação inédita em precisão e durabilidade, convertendo um equipamento de macro usinagem já disponível na instituição, em equipamento de micro usinagem.

Usinagem é o processo mecânico de fabricação por remoção de material, seja por cisalhamento (corte), abrasão (raspagem) ou eletroerosão (remoção por descarga elétrica). Utilizamos apenas a modalidade por cisalhamento. Micro usinagem é quando se obtém componentes com menos de três milímetros em uma precisão de até 5 centésimos de milímetro ou menos.

No presente texto utilizamos a terminologia da biomecânica e da anatomia humana para descrever os movimentos da face, suas ações e posicionamentos. Mas não consideramos necessário um estudo aprofundado dessas competências científicas pois a animação facial para fins artísticos já resume esses conceitos em uma linguagem mais próxima ao senso comum e eficaz do ponto de vista narrativo.

² 1 - Influência da vibração no reposicionamento, 2 - Resistência à memória de forma, 3 - Proporcionalidade de sustentação, 4 - Uniformidade direcional, 5 - Precisão de alteração posicional.

Os conhecimentos em mecânica, micro usinagem manual e automatizada, modelagem digital e impressão tridimensional que esse estudo utiliza foram adquiridos de forma empírica e não-formal, tornando a bibliografia apenas apoio no uso dos termos que descrevem os processos, componentes e seu funcionamento. O presente estudo não pretende ensinar essas técnicas porque entendemos que elas não podem ser aprendidas apenas em um texto sem que o leitor tenha acesso aos meios técnicos propriamente ditos. Deixamos essa tarefa para cursos práticos, mesmo que sejam apoiados por referencial teórico.

Para os estudos de caso das obras de Randall e Cole preferimos mais uma vez estabelecer contato direto com os criadores, fazendo desse estudo a primeira obra a descrever tecnicamente essas criações. Apesar de propormos um modo distinto desses autores, entendemos que a sistematização dos seus métodos contribui para futuros desenvolvimentos com recursos análogos.

O uso de mecanismos indiretos permite ao animador perceber alterações diminutas resultantes do acionamento. Nos acionamentos diretos, o próprio ato oculta a resposta perceptiva da diferenciação de um estado para o outro, pois o animador precisa tocar a área da face que pretende modificar, apertando a pele para alterar diretamente uma articulação operante por fricção, como as articulações dos membros e do tronco.

Além disso, a relação entre a alteração e seu resultante é proporcional na movimentação direta, enquanto que no acionamento indireto é possível utilizar mecanismos redutores que convertem gestos amplos em mudanças pequenas, facilitando o controle em movimentos lentos e de variação gradual de velocidade. As reduções mecânicas oferecerem mais resistência à memória de forma dos materiais musculares e de pele, por apresentarem mais força que as juntas por fricção.

Mas antes de relatar outras estratégias de mecanismos internos de acionamento indireto, julgamos necessário mencionar as outras modalidades de animação facial objetual quadro a quadro. A tecnologia mais simples para animar uma face é também a mais complexa em técnica: quando animar é remodelar o rosto do personagem a cada fotograma com massa de modelar. Para que haja estados posturais reutilizáveis ou reversíveis, é preciso combinar remodelagem e substituição, tornando o ato de animar uma complexa performance escultórica. Estudamos uma cena de *The Great Gatsby*, de Will Vinton (1982), para que se compreenda a viabilidade dessa técnica e a sua comparação com o uso de mecanismos internos de acionamento indireto em uma só face.

Há também a animação facial que não é feita por alteração de uma mesma face, mas por substituição sucessiva entre faces rígidas ligeiramente diferentes, mas que produzem a ilusão de movimento de uma só face. Hoje, o ato de animar nessa técnica de substituição pode ser realizado previamente em animação digital e depois convertido em resultantes físicos por fabricação digital - um termo aparentemente paradoxal, mas que se refere aos processos aditivos e subtrativos de fabricação para a criação de volumes físicos a partir de informação numérica. No caso analisado trata-se do uso da impressão 3D - um processo aditivo.

Para gerar um amplo espectro de expressão na animação facial por substituição é preciso um grande número de objetos individuais ou combinar partes da face, exigindo pós-produção quadro a quadro e alto custo de impressão para grande número de cores, como procede a produtora estadunidense Laika. Mesmo assim, a face é animada antes do corpo, só restando ao animador fotografar as sequências pré-determinadas. Já no controle mecânico, é o gesto do animador que gera a gradação de expressões decorrente de sua sensibilidade tátil individual, de forma integral ao corpo em tempo e espaço.

Concluiu-se em DUTRA, GINO [2019] que o efetivo uso de substituição em alta escala exige altíssimas cifras em tecnologia e recursos humanos, tornando-o um procedimento viável apenas em contextos de produção como a própria Laika - que, no entanto permanece sendo um caso único na escala em que opera. Também é improvável de ser adquirido como serviço de terceiros no nível de eficiência que a produtora de Portland, Oregon atinge.

Em comparação, o sistema proposto de animação facial por mecanismos internos de acionamento indireto se dá por componentes modulares reproduzíveis em escala, que podem ser oferecidos na forma de produto e/ou serviço, sendo adaptáveis aos diversos designs de personagens. O custo de implementação da sua capacidade produtiva já está sendo realizado no âmbito dessa pesquisa em nível de projeto e protótipo parcial. Este é financiado pelo autor, em combinação com os recursos usuais de uma pesquisa empírica acadêmica: equipamento disponível na instituição de ensino, fomento por meio de bolsa de doutorado e taxa de bancada, o que demonstra a diferença de aporte.

Muito aquém das cifras empenhadas pela Laika, foi utilizado o equipamento de micro usinagem por comando numérico computadorizado (CNC) Sherline já disponível na EBA - UFMG - uma forma de fabricação digital subtrativa mais complexa que a impressão 3D, porém mais precisa e passível de utilizar qualquer tipo de metal. Com as modificações realizadas por iniciativa da pesquisa, ele pode agora atingir a performance e a precisão de

equipamentos dezenas de vezes mais caros como os utilizados a partir do terceiro filme em diante da Laika para a fabricação de componentes metálicos.

Nos dois primeiros filmes da Laika foi utilizado esse mesmo equipamento Sherline, mas sem as modificações que pudemos implementar através do trabalho de Luiz Carlos Castro, da Tryally Tech de Bauru, SP. Ao longo dos últimos 20, anos ele desenvolveu um rol de modificações e acréscimos que permitem atingir a precisão necessária aos objetivos do projeto e estendem a durabilidade do equipamento para a aplicação em pesquisas e desenvolvimentos futuros.

Foi feito também um investimento em aprendizado de programação CNC diretamente em código G e a ampliação dos conhecimentos de usinagem que esse autor já havia adquirido por ocasião da investigação de mestrado - um treinamento de três meses de duração na Tryally Tech, participando diretamente na modificação do equipamento (vide relatório nos anexos).

Nosso escopo econômico foi o do autofinanciamento conjugado aos fomentos acadêmicos de uma pesquisa de doutorado na forma de bolsa FAPEMIG e taxa de bancada CAPES PROEX. Com esse aporte misto foi possível deflagrar a base técnica para a opção por mecanismos de acionamento indireto de face única, gerando uma experiência de escultura digital subtrativa no âmbito do LabTRI - Laboratório de Tridimensionalidade da EBA-UFMG.

A técnica de movimento interno de face única não se diferencia da animação facial por substitutivos de origem digital apenas por questões de viabilidade técnica e econômica. Quando aprioristicamente se convertem dados de técnicas visuais em objetos (por meio da fabricação digital) e se os aplica na fotografia quadro a quadro ou o resultante visual da fotografia recebe intervenção imagética posterior, podemos considerar essa conjugação como técnica híbrida. Ao romper a sincronicidade entre o ato linear de animar quadro por quadro combinado a outras formas não-lineares de animação cancela-se a integridade da especificidade performática da técnica quadro a quadro.

É como se a animação em tempo linear apresentasse uma situação análoga ao conceito de *intensidade na circunstância da tomada*, de André Bazin [RAMOS, 1998]. No cinema realizado com a ação em tempo real dos atores, a espaço-temporalidade de um gesto impossível de ser repetido é registrado visualmente no intervalo regular dos fotogramas. Já no *stop-motion*, cada fotograma tem a sua duração para ser construído e encerra uma pose com elementos corpóreos e faciais - a marca de uma ação única do

animador. Por consequência, na sucessão de fotogramas, cria-se uma temporalidade linear singular como a dos instantes vividos pelo animador que a gera.

Fotogramas podem ser replicados ou suprimidos na edição, mas a intervalação entre poses estendida ou encurtada pela edição não tem a maleabilidade espaço-temporal que ocorre no desenho animado e na animação perspectivista digital. Animar nesses dois meios é editar não-linearmente a temporalidade da ação. A junção das temporalidades diversas e descontínuas das outras técnicas pelo uso de quadros-chave e intermédios oblitera a característica vivencial, linear e temporalmente fluida do ato de animar em quadro a quadro, enrijecendo a sua temporalidade em intervalos específicos, trazidos das porções externas ao *stop-motion*.

Também se desfaz uma identificação integral do animador com a figura. Mesmo como a possibilidade atual de averiguação imediata dessa performance em imagens animadas, em entrevistas no primeiro livro de Purves [2008] a maioria dos animadores relata preferir se concentrar em viver o dinamismo espacial da figura animada, em vez de fiar-se nas imagens como mecanismo de aferição do movimento.

Com as técnicas hoje disponíveis, o hibridismo é a chave da viabilidade econômica de muitos empreendimentos em animação, mas a substituição parcial ou integral da animação quadro a quadro tridimensional por técnicas visuais não pode ser compreendida como a evolução do que lhe é próprio enquanto técnica objetual, mas a adoção de técnica mista.

Quanto maior for a ocorrência no stop-motion de uma técnica de animação realizada de forma prévia ao ato de animar, menores são as sem possibilidades de decisões espaço-temporais performadas. Já as figuras tridimensionais integralmente animáveis podem ganhar complexidade técnica ao incorporar sistemas dinâmicos miniaturizados, aumentando as suas possibilidades de expressão sem extrapolar o seu próprio âmbito.

No entanto, a nossa hipótese pode se beneficiar da revisão das técnicas de animação facial no 3D digital e do desenho animado como referências para um léxico simplificado de expressão. Revisamos portanto, a bibliografia disponível sobre animação facial - já aplicando-a às expressões que foram desenvolvidas no projeto enquanto prova de conceito da hipótese, assinalando pela nomenclatura do FACS - Facial Action Coding System³

³ Sistema de taxonomia das expressões faciais humanas, originalmente desenvolvido por Paul Ekman e Wallace Friesen em 1976 através dos estudos pioneiros do Dr. Carl-Herman Hjortsjö.

Com a compreensão das condicionantes econômicas, técnicas e estéticas da animação de figuras por substitutivos fabricados digitalmente é que advogamos pela nossa hipótese no âmbito do uso de mecanismos internos de acionamento indireto, em sua relação com os três casos existentes analisados nesse estudo.

A interação entre um mecanismo interno e a superfície que ele altera de forma incremental é nos três casos relatados de natureza *pontual* ou *linear*. Ou seja, os atuadores empurram ou puxam pontos de conexão com a pele ou podem arrastar ou soltar linhas mantidas retas ou em forma de laços.

A nossa hipótese visa a alteração de *campos* e *volumes*, usando para tal conjuntos de atuadores que se iniciam mecânicos, mas nas extremidades são hidropneumáticos, para assumir formas expansíveis ou contráteis de *foles cilíndricas longitudinalmente contráteis*, em uso unitário ou em agrupamentos, promovendo a alteração de *campos* - quando agrupados paralelamente à superfície da pele ou em *volumes* - quando agrupados no sentido ortogonal à superfície da pele.

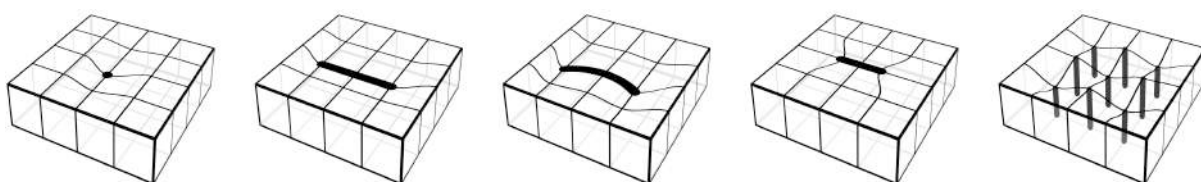


FIGURA 01. Comparação de deformações pontual, lineares e volumétricas. Diagrama realizado pelo autor. Explicação animada disponível no canal do autor: <https://youtu.be/u5fv430ulaw>

Como não foi identificada na revisão do estado da arte um procedimento semelhante, pretendemos requerer patente do uso de *redes hidropneumáticas com foles cilíndricas longitudinalmente contráteis para a constituição de músculos para animação quadro a quadro e outros usos* e também para os outros subsistemas aqui projetados.

De fato, animação quadro a quadro já é uma forma de titerismo fragmentado e dilatado temporalmente por meios de sustentação de poses com controle incremental. Se esses atuadores fossem movimentados em tempo real, já teríamos uma *marionete* com movimento muscular. Acionados de forma cíclica por algum meio mecânico, já seriam considerados componentes de um *autômato*. Controlados remotamente por meios

Sintético em relação à realidade anatômica da face, é adotado também na indústria do entretenimento.

eletromecânicos seriam parte de *animatrônicos*. Somando percepção sensorial sintética e autonomia motora programática, eles seriam *robóticos*.

Os músculos da boca e suas laterais precisam atuar nos vetores verticais e horizontais, mas cedendo ao movimento da mandíbula que resista ao tracionamento desses músculos. Portanto, essa flexibilidade parcial torna oportuna a elasticidade dos sistemas pneumáticos por injeção e sucção de ar simultânea e alternada por ser mais orgânica do que sistemas rígidos.

Para que um mesmo subsistema reunindo sorriso, tristeza e repuxamento dos cantos da boca funcione para a mandíbula fechada ou aberta, nos inspiramos no conceito de biotensegridade proposto por Jean Claude Guimberteau [SCARR, 2019] que aplicou em estruturas biológicas dinâmicas o conceito de tensegridade cunhado pelo designer e futurólogo Richard Buckminster-Fuller para a engenharia. O repouso não significa um relaxamento completo da estrutura muscular, mas um estado inicial de pré-tensionamento entre os vetores musculares.

Sendo a mandíbula hidráulica ou mecânica, os demais músculos adotarem a modalidade pneumática permite essa interdependência de forças, fazendo da elasticidade dos gases e dos materiais que os contêm uma vantagem. Assim músculos em oposição atuam ambos de forma ativa e simultânea, como um músculo do sorriso que se expanda para que o da tristeza se comprima na direção vertical, enquanto sofrem influência de um par horizontal nas laterais da boca.

Esse é um aspecto valorizado na nossa opção por junção de circuitos pneumáticos e hidráulicos, além da liberdade na diferença de orientação espacial entre os atuadores primários e os extremos por ser o seu encadeamento flexível.

Não específico à nossa concepção é o uso da redução mecânica para propiciar um incremento mais fino pela diferença entre amplitude do gesto gerador do movimento e seu resultante. Esse recurso nos foi apresentado no estado da arte na abordagem de Peter Saunders para movimentação de mandíbula e nos mecanismos desenvolvidos por Jim Randall.

Em ambos Randall e Saunders, os extremos conectivos com a pele são de natureza pontual. Já em Cole é linear. Nossa proposta é planar e/ou volumétrica, como veremos em detalhe no capítulo seguinte. O ato de empurrar ou puxar material por ação dos atuadores primários têm um encadeamento de natureza rígida nas conexões pontuais, como em Randall e Saunders.

Saunders também utiliza encadeamentos de natureza flexível, utilizando linhas, assim como Cole. Em Saunders são utilizadas bobinas enroladas inversamente em um mesmo eixo, enquanto que em Cole, o movimento contrário é obtido por molas.

Na nossa abordagem, a atuação mecânica primária é a de êmbolos que insuflam e/ou sugam ar criando feixes musculares dentro do volume pele-carne, permitindo liberdade na orientação espacial entre atuadores primários e extremos conectivos - além de dispensar circuitos de movimentação rígida contrária por mola, ou recolhimento, no caso de linhas e molas.

Resumidamente nossa hipótese reúne: controle incremental fino com redução mecânica por meio de guias lineares⁴; tridimensionalidade na alteração da superfície; biotensegridade na interligação muscular; liberdade de posicionamento e orientação espacial entre atuadores primários e extremidades musculares dos circuitos pelo uso de conexões hidropneumáticas.

⁴ Saunders também obtém controle incremental, mas através de mecanismo de coroa e pinhão. Na nossa proposta a redução se dá por mecanismo de guia linear, como em Randall.

2. Outras formas de animação facial no stop-motion.

2.1 Animação facial por remodelagem de faces.

Para compreendermos como o uso de mecanismos indiretos em face única se insere na animação facial para figuras animadas, é preciso revisar esse panorama. Sequências de imagens criando a ilusão de um único objeto em transformação podem ser obtidas por dois métodos: com a fotografia quadro a quadro de um sequenciamento substitutivo de objetos semelhantes ou por mudanças em um mesmo objeto (que é a opção da nossa investigação). Mas ainda há a combinação das duas possibilidades.

No método por substituição, as esculturas diversas podem ser construídas simultaneamente para melhor atenderem situações de movimento cíclico. Já pela alteração de um único objeto, a reversibilidade formal depende da sua estratégia construtiva.

O presente estudo apresenta estruturas complexas, mas que permitem mais precisão nessa reconfiguração pela reversibilidade controlável de movimentos. Na ausência dessa estruturação cada refeitura resulta em um estado formal distinto, como na animação por remodelagem de massa.

Se essa técnica permite grande mutabilidade, é complexo manter o mesmo referente no retorno a um mesmo estado. Portanto, muitas vezes é utilizada uma abordagem híbrida na qual uma face é separada em partes rígidas e maleáveis. Essas últimas são remodeladas para cada fotograma ou substituídas por porções em massa estampadas em moldes - portanto apresentando uma volumetria previamente definida e reversível. As emendas são então suavizadas quadro a quadro (na fotografia ou na pós-produção), como procede predominantemente a produtora inglesa Aardman com as sobancelhas, queixos e entornos das bocas para viabilizar a expressão labial da fala. Um exemplo é a série de filmes com os personagens *Wallace & Gromit* e seu universo, como a ovelha *Shaun*. (décadas de 1990, 2000 e 2010).

A postura dos lábios é modelada sobre um gabarito rígido com volumetria idêntica à parte rígida da cabeça. Os dentes são peças rígidas, com encaixe na parte superior da cabeça para manter o registro de sua posição relativa. É removido então o excesso e o material ao redor dos dentes modelando-se a cavidade bucal. A parte em massa permite uma certa remodelagem propiciando alguma variação formal antes da substituição por outra postura labial.



FIGURA 02. Substituições parciais de posturas labiais para o filme e série "Shaun o Carneiro" (2007 - 2019), produzidos pela Aardman. Estas foram reparadas pelo modelador e animador britânico Bradley McNaughton (autor das fotografias). Disponível em: <https://bradleymcnaughton.weebly.com/aardman-work.html> Acesso: 27 de Julho de 2020.

Quando a mudança na face é total ou próxima disso e intercalada com retornos a um mesmo estado, uma possibilidade é ocultar um corte nessas modificações mais amplas, que permite a substituição por diversas cabeças modeladas previamente em semelhança suficiente para produzirem a ilusão de serem um mesmo objeto em continuidade intercalado por transformações. Assim procedeu ocasionalmente o animador e modelador estadunidense Barry Bruce para trabalhos na produtora de Will Vinton nos anos 1980, quando - por exemplo, produziu as transformações do personagem-título do curta-metragem *The Great Cognito* (1982, dir. de Vinton) em políticos, militares, situações e artefatos históricos da Segunda Guerra Mundial que ele parodia em um *stand-up* cômico sobre esse evento.

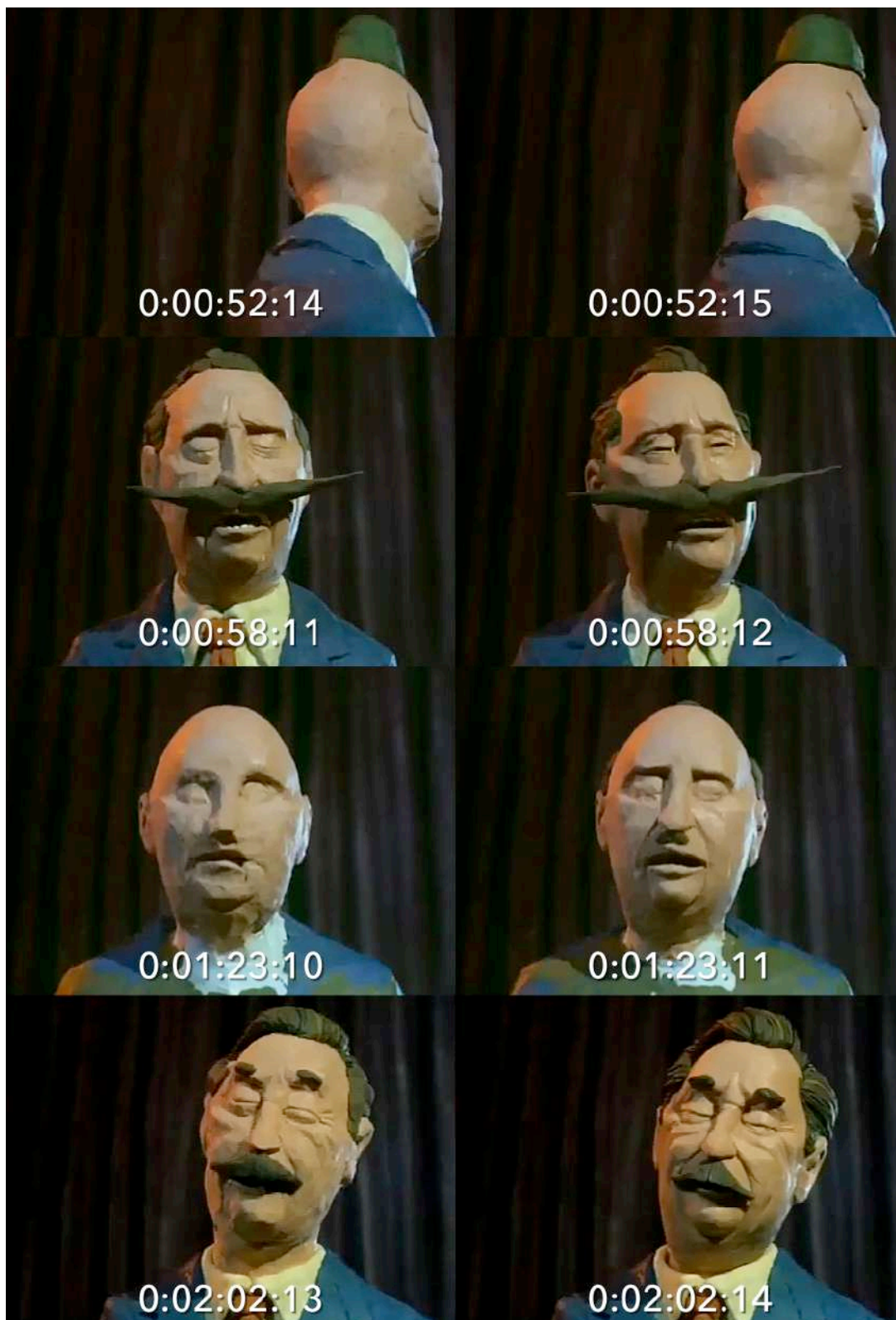


FIGURA 03. Examinando-se detidamente percebe-se a diferença nesses quatro pares de fotogramas, apresentando cortes com substituições totais ou parciais: durante a modelagem do General estadunidense George S. Patton; na volta de Patton para Cognito; do premiê britânico Winston Churchill para Cognito; do trio vocal Andrews Sisters para Cognito. Outros cortes "invisíveis" do filme não representados aqui ocorrem em 0:02:53:21, em uma passagem de Cognito para o ator estadunidense John Wayne e de Cognito para um navio de guerra em 0:02:06:15. Composição do autor.

Uma outra forma de produzir a transição entre duas modelagens distintas que Bruce utiliza no curta-metragem é pelo desfazimento e reconstituição por camadas sobrepostas. Em um momento utiliza-se uma remoção de fatias em tempo progressivo animada na mesma ordem temporal fílmica. Segue-se uma sequência semelhante, porém animada em tempo reverso para gerar o efeito de adição.

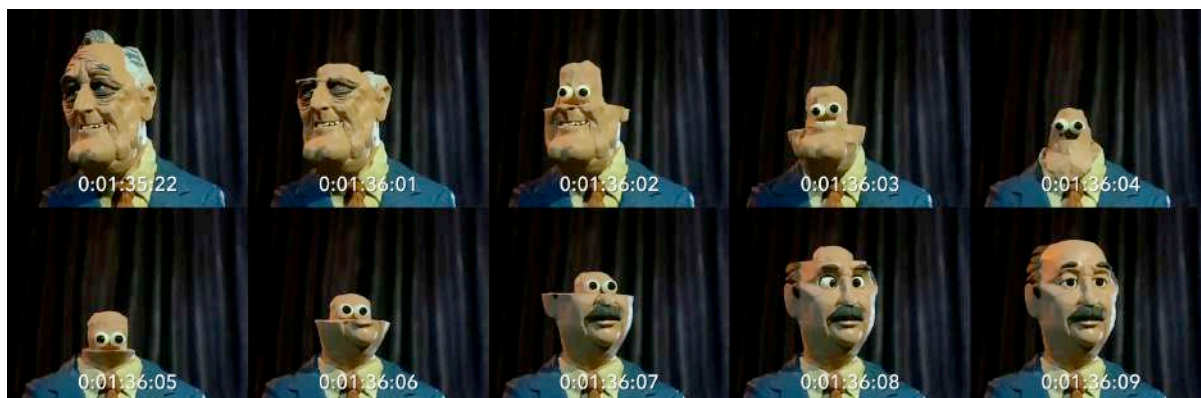


FIGURA 04. Transição por fatiamento progressivo seguido de um reverso: do presidente dos EUA Franklin D. Roosevelt para Cognito. Composição do autor.

Barry Bruce se dá ao virtuosismo de operar o contrário ao realizar um acréscimo progressivo de camadas com emendas suavizadas. Esse movimento é seguido de uma metamorfose animada em tempo progressivo (figura 05).



FIGURA 05. Empilhamento e progressão. A continuidade da parte posterior da cabeça (linha inferior) denota que a remodelagem é progressiva. Composição do autor.

Assim, cortes ocultos ou transições explícitas auxiliam a remodelagem combinada à substituição para produzir a sensação de retorno a um mesmo estado. A grande vantagem

da modelagem animada para animação facial são as metamorfoses intensas, que é a proposta desse curta, dinâmica do discurso stand-up com sua materialização na animação.

Como demonstra a extensa filmografia de Will Vinton e da Aardman expressões humanóides da face, mesmo quando estilizadas, utilizam predominantemente remodelagem apenas em pequenas partes, como queixos, lábios e sobrancelhas. A maleabilidade das massas permite uma nova forma para cada quadro, mas é limitada para a reversibilidade de forma que é conveniente para consistência formal de personagens, limitando-se a partes do rosto e não alterando a sua totalidade nas situações de expressão naturalista.

2.2. Substitutivos rígidos.

Se paira algum pendor pela reversibilidade ou uma certa consistência de forma nas soluções maleáveis de Vinton e semi-maleáveis da Aardman, a animação facial em *stop-motion* por substituição de componentes integralmente rígidos ocorre desde os primórdios do *puppet animation*⁵. Mas com a fabricação digital por impressão 3D ela tem um ganho significativo de produtividade mesmo para contextos que já a utilizaram em técnicas exclusivamente manuais.

No entanto, quanto mais alta seja a intervenção manual na impressão 3D e quanto maior a sua complexidade formal, mais inacessível torna-se a sua viabilidade técnico-econômica. Ainda mais quando se insere nessa equação: consistência de um grande número cores, resolução volumétrica da superfície, resistência mecânica e grandes volumes de peças únicas e/ou repetidas [DUTRA, GINO, 2019]⁶.

O incremento da qualidade e da quantidade no número de substitutivos rígidos fabricados digitalmente para gerar mais cores e texturas e suavizar as transições entre as poses com o aumento dos intermédios é inversamente proporcional ao seu acesso econômico.

⁵ Termo em língua inglesa referente à animação de figuras tridimensionais eretas por stop-motion.

⁶ Detalho a escalada do uso de impressão 3D no capítulo do livro: Tornando física a animação facial digital para a animação de bonecos: o caso Laika. In: TAVARES, Mariana Ribeiro. GINO, Maurício Silva. Pesquisas em animação: cinema & poéticas tecnológicas. Editora Ramallete, 2019, v1, p. 171 - 184. ISBN: 9786550340162

A complexificação e aumento do número de intermédios nos longas-metragens da Laika nos faz esquecer das poucas máscaras da tragédia grega (não menos que os dedos de uma mão) que ainda sustentam a expressão de personagens em filmes que abstêm-se de falar as pouco difundidas línguas eslavas da Europa Central. Na maior parte dessa produção a informação verbal está a cargo de uma narração em *off*, sendo perfeitamente capazes de entreter, embora em uma forma dramática que se abstêm do poder dos diálogos.

Podemos inferir que é a demanda por fala que apresenta os maiores desafios técnicos e expressivos para a animação facial. Quanto mais se investe em substitutivos, o que menos se faz é *puppet animation* pelo ponto de vista da expressão criativa do ato de animar enquanto performance. Os substitutivos maleáveis ainda permitem algum controle facial para o animador, conciliando deformações e metamorfoses extremas difíceis de se obter em uma face articulada por mecanismos internos. Mas é no cotidiano da fala e na expressão facial sutil que esperamos que a evolução dos sistemas com mecanismos internos de acionamento indireto traga novos resultados expressivos.

E isso não dispensa o uso dos mesmos recursos digitais utilizados na animação perspectivista digital para a modelagem e fabricação de componentes complexos por impressão 3D. Mas os recursos de micro usinagem CNC que elencamos aprimoram também o uso de mecanismos de acionamento direto, considerando que estes também preservam a autonomia performática espaço-temporal do animador, apesar das restrições que a opção pelo acionamento indireto supera.

2.3. Animação facial por mecanismos internos de acionamento direto.

É preciso notar também que mesmo o uso intenso e de grande volume de substitutivos no caso da Laika não dispensa o uso de mecanismos internos no movimento de pálpebras e globos oculares de todos os personagens de seus filmes e o eventual uso de mecanismos internos de acionamento indireto, como em *Herbert Trubshaw*, o único personagem cuja face foi animada por mecanismos internos em *Boxtrolls* (2014).

Na entrevista do vídeo de *making of* com os diretores do filme⁷, Anthony Stacchi explica a opção por mecanismos internos: por serem mais práticos para animar diretamente do que o enorme número de impressões para emular o balançar das mechas de barba na cena em que ele aparece pendurado de cabeça para baixo:

(...) E a razão pela qual tivemos que fazer assim é (por causa de) tanto cabelo e barba no rosto que tinha que ser animado. Nós não poderíamos imprimir todo esse cabelo toda vez. (Não tem como atingir as mechas intenas - diz Annable). Então nós fizemos dele um personagem tradicional. Mas eu acho que é ótimo. Depois de ver todos aqueles outros personagens por tanto tempo, e deixar Herbert para o fim, quando ele aparece não é como se você dissesse: "Oh, aquele cara não parece tão bom quanto os outros caras "Ele é tem um visual tão fantástico e tão bem animado, balançando de cabeça para baixo. É meio que bacana quando você pensa: "não há nada de novo neste filme". Então você se acalma um pouco e conhece esse personagem extraordinário e estranho. (...) (STACCHI, 2014, tradução nossa).

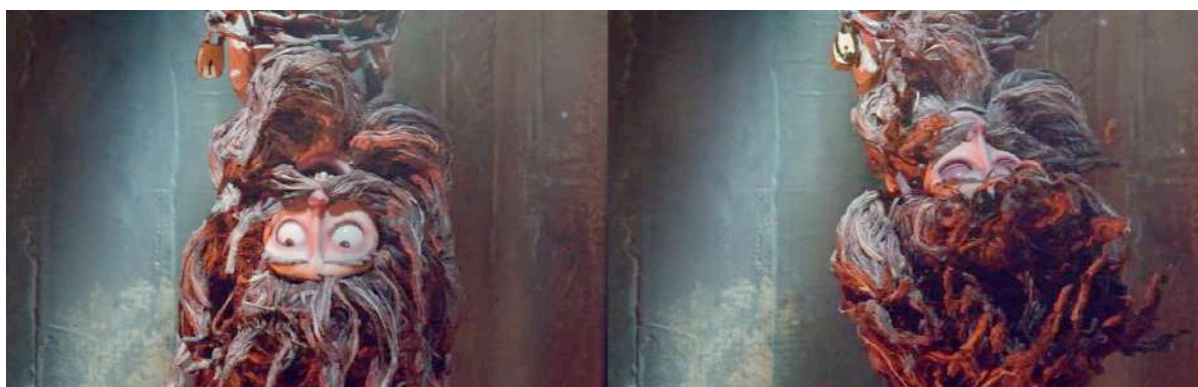


FIGURA 06. O personagem *Herbert Trubshaw* de *Boxtrolls* com seus cabelos animáveis. Fonte: fotogramas do filme. Composição do autor.

Não podemos afirmar com certeza que nesse caso a movimentação é indireta, mas fazemos notar que o recurso foi aplicado no âmbito de intenso uso de substituição, ainda no terceiro filme da Laika, assim como outras demandas dos dois filmes anteriores: as mandíbulas de amplos movimentos dos zumbis de *Paranorman* (2012) e das duas versões do pai de *Coraline* (2014) presentes na narrativa.

Em longas-metragens, o *puppet animation* integral se antecipa ao que utiliza substitutivos. Ken Priebe considera em *The Advanced Art of Stop-motion* de 2010, que o *The New Gulliver* (*Novyj Gulliver*) de Aleksandr Ptushko - que usa substituições - é segundo

⁷ Disponível em: <https://youtu.be/thxGicLUkx8> Acesso em 28 de Julho de 2020.

longa de *puppet animation*, porque anos antes, o lituano Ladislav Starevich e sua filha Irene já haviam dirigido *Tale of The Fox (Le Roman de Renard)* filmado entre 1929 e 1930 na França. Mas só conseguiram lançá-lo em 1937, dois anos depois de *The New Gulliver* devido a problemas de sincronismo com o som.

Também intensamente baseado em diálogos, os animais antropomórficos apresentam deformações faciais localizadas e tornadas possíveis por estruturas internas possíveis, assim como as que utilizaram Willis O'Brien e seus sucessores da tradição de efeitos visuais no ocidente.

Os protagonistas detalhadamente construídos e animados pelo próprio Ladislav e Irene apresentam movimento nas mandíbulas, lábios inferiores e superiores, focinho, língua, narinas, olhos, pálpebras, sobrancelhas e orelhas.

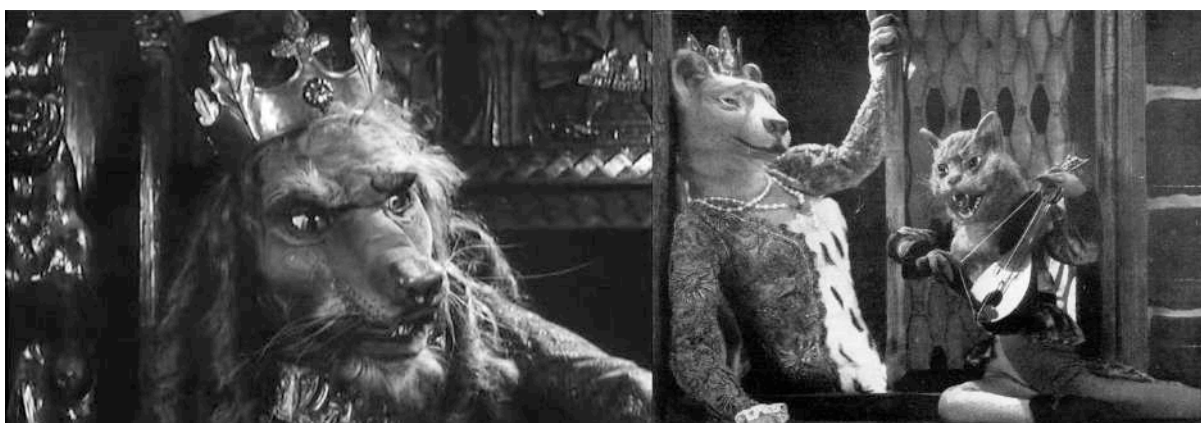


FIGURA 07. Fragmentos de fotogramas de *Le Roman de Renard* (1930-1937). Figurinos muito detalhados e completa expressão facial no primeiro longa-metragem da história completamente realizado em *puppet animation* integral. Bonecos por Ladislav e Irene Starevich. Fonte disponível em: <http://americancinematheque.blogspot.com.br/2018/03/fox-before-fantastic-by-scott-nye.html> Acesso em 28 de Julho de 2020. Composição do autor.

Desde então, a animação facial no *stop-motion* por mecanismos possíveis ocorreu nos filmes com os desenvolvimentos técnicos de O'Brien, e sucessores: Ray Harryhausen, Harry Cunningham, Jim Danforth, Tom St. Amand e Merrick Cheney (DUTRA, 2012) e colaboradores associados diversos. Mas os personagens dessa linhagem nos EUA não tinham falas.

Depois de muitas produções com fala e canto utilizando substituição, nosso estudo só localiza uma nova produção com mecanismos faciais internos aplicados à fala em 1983, na série inglesa de TV *Wind in The Willows*, baseada no clássico da literatura infantil de Kenneth Grahame. Constituiu-se de um longa-metragem homônimo de estréia naquele ano,

quatro temporadas para TV de 1984 a 1988, um novo longa em 1989 - *A Tale of Two Roads* e uma quinta temporada em 1990. Foi produzida pela Cosgrove Hall, experiente estúdio de Manchester com vasta experiência em conteúdo infantil para a TV que operou de 1976 a 2009.

Em 1992, a Cosgrove Hall produziu 13 episódios de 11 minutos da série *Truckers*, baseada na novela de Terry Pratchett. Assim como *Wind in The Willows*, os personagens contavam com articulações de mandíbula, sobrancelhas e movimento de globos oculares, mas não tinham movimentação de pálpebra como os da série anterior.

Mr. Toad, protagonista da série anterior, foi animado por Barry Purves, que depois cria sofisticados curtas-metragens de temas eruditos e adultos, como o teatro de Shakespeare em *Next, the Infinite Variety Show* (1989) e uma expansão da cultura teatral japonesa em *Screen Play* (1993) com um inventivo uso de cenografia animada; a adaptação do mito troiano de Aquiles e Pátroclo em *Aquiles* (1995); a apresentação de uma poética biografia do compositor russo em *Tchaikowsky, an Elegy*, de 2011.

Mas é na adaptação do *Rigoletto* de Verdi em filme homônimo de 1996, na biografia dos compositores e libretistas de ópera cômica vitoriana em *Gilbert & Sullivan: The Very Models*, de 1998, e na aventura infanto-juvenil com animais antropomórficos de *Hamilton Matress* (2001) que sua animação facial apresenta o uso de fala e canto, utilizando articulação de mandíbula, lábios, pálpebras, sobrancelhas e globos oculares.

Com exceção dos bonecos de *Screen Play*⁸, todos os bonecos dos filmes de Purves são confeccionados pelo estúdio britânico dedicado à fabricação de bonecos para *stop-motion* dos sócios Ian Mackinnon e Peter Saunders, que começaram juntos ainda trabalhando para Brian Cosgrove e Mark Hall nos anos 1980.

Ainda na Cosgrove Hall, Mackinnon e Saunders participaram de *The Reluctant Dragon*, lançado em 1987, dirigido por Bridget Appleby, que também utilizou animação facial com um movimento do lábio inferior articulando razoavelmente o sincronismo labial no personagem-título.

No telefilme *The Fool of The World and The Flying Ship*, dirigido por Francis Vose, de 1991, a dupla consegue fazer dois personagens sorrirem com contrações nos cantos da boca, além do movimento de mandíbula, lábios e pálpebras superiores integradas às faces, que se movimentam conjuntamente com as sobrancelhas e não mais por remoção e

⁸ Todos os bonecos de *Screen Play* foram feitos pela Barrow Models de Manchester, com exceção do Samurai, feito por Peter Saunders. <http://barrowcreative.co.uk/site/modelmaking-manchester/> Acesso em 07 de Agosto de 2020.

substituição, como em *Wind In The Willows*. O design de personagens de Appleby, Cosgrove e Colin Batty irá influenciar futuramente os de Mackinnon, como os de *Rigoletto* (1995), dirigido por Burves.



FIGURA 08. Fotogramas de *The Fool of The World and the Flying Ship*, demonstrando contração dos cantos da boca no protagonista Piotr. Composição digital pelo autor.

Segundo Saunders (IN: IKUMA, 2018) o controle do sutil sorriso foi possível através de mecanismo com engrenagem, realizado entre 1988 e 1989. Mas a técnica só é retomada quinze anos depois, em *Corpse Bride* - como veremos adiante - em função da fragilidade das peles em espuma de látex da época do telefilme, que se rasgavam muito facilmente. Só com o advento dos silicões catalisados por platina é que a técnica se tornaria mais segura. Mas trata-se do primeiro relato sobre movimento interno indireto que essa pesquisa conseguiu identificar.

Em *Ah Pook is Here*, um curta-metragem de 1994, baseado em uma gravação de uma fala do escritor e ensaísta William S. Burroughs e dirigido por Philip Hunt, um dos personagens tem ambos os lábios flexíveis como o inferior do dragão relutante, resultando em grande articulação de fala. É a primeira realização dessa natureza da já estabelecida Mackinnon & Saunders, hoje em Altrincham, perto de Manchester, norte da Inglaterra.

A série de TV *Bump In The Night*, dirigida por David Bleiman, de 1995, tem um personagem título cujo rosto é o próprio tronco, dominado por uma grande boca totalmente articulada conectada a um nariz flexível e aos olhos na ponta de tentáculos. Seu companheiro *Squishington* é semelhante - integralmente animável por estruturação interna.

Só as pálpebras são animadas por substituição e as pupilas animadas por deslocamento sobre globos oculares estáticos.

Ainda em 1995, a série *Story Store* dirigida por Joe Austen apresenta recursos semelhantes. No curta *The Happy Prince*, de 1996 e nas séries *Oakie Doke*, de 1996 e *Cabbage Patch Kids* (1996 - 1997) a M&S só pôde oferecer recursos de movimento simples de mandíbula.



FIGURA 09. Cabeça Marciana de *Mars Attacks!* com as articulações orbitárias da sobrancelha, mandíbula e olhos, que, por estarem sem pálpebras, podem ter sido fixados por magnetismo. Fotos de Vincent Cole para o Manchester Evening News. Composição digital pelo autor.

Para *Mars Attacks!* de 1996, dirigido por Tim Burton, não houve elaboração de lábios, pois seus personagens não os tinham, mas a escala do projeto propiciou um impulso decisivo à companhia, aumentando a sua equipe de 5 para 45 pessoas.

Embora os personagens alienígenas do filme não tenha sido efetivamente realizados pelo processo de *stop-motion*, os estudos realizados foram um impulso para uma relação com o cineasta estadunidense que frutificaria em outros trabalhos determinantes para a animação facial por mecanismos internos.

Três anos antes, em 1993, estreava o primeiro longa estadunidense de *stop-motion*, dirigido por Henry Sellick a partir de um poema do seu produtor Tim Burton: o musical *O Estranho Mundo de Jack* (*The Nightmare Before Christmas*). O filme apresenta personagens que vão de substituição total de faces a personagens com lábios com bordas flexíveis e posáveis como o *Harlequin Demon* - com uma boca de 360° de volta ao redor do rosto e o vilão *Oogie Boogie*, ambos com lábios flexíveis.

James e o Pêssego Gigante (*James and The Giant Peach*) de 1996, também dirigido por Henry Selick e produzido por Tim Burton, utiliza os mesmos recursos no protagonista - com o acréscimo de contração dos cantos da boca, e em um coadjuvante - o *Centipede* - com uma boca de lábios flexíveis como nos casos anteriores.



FIGURA 10. Mecanismos de animação facial por acionamento direto desenvolvidos para os personagens: *Papai Noel* de *O Estranho Mundo de Jack*; *Centipede*, *Earth Worm* e *James* de *James e o Pêssego Gigante*. Fonte: <https://www.instagram.com/p/Bv0a50qHFIN/> Acesso em 28 de Julho de 2020.

Os talentos técnicos por trás desses dois filmes são os de Tom Saint Amand, Randall M. Dutra, Merrick Cheney entre outros nos esqueletos, que haviam antes trabalhado para Phil Tippet, além da equipe de Bonita DeCarlo nos acabamentos de ambos filmes e do britânico Graham Maiden coordenando a fabricação de personagens no segundo filme.

2.4 Animação Facial por mecanismos internos de acionamento indireto.

Maiden já era um veterano trabalhando proximo de Mackinnon e Saunders, vindo de *Wind in The Willows*, depois em *Rigolletto* e reencontrando os compatriotas em *A Noiva Cadáver (Corpse Bride)*, de 2005. Dirigido por Mike Johnson e produzido por Tim Burton, tornou-se o marco contemporâneo da animação facial por mecanismos internos de acionamento remoto em longa-metragem, apesar do pioneirismo do telefilme *The Fool of the World and the Flying Ship*. Johnson havia visto e analisado os personagens desse filme e insistiu muito para que Ian Mackinnon e Peter Saunders retomassem a técnica.

2.4.1 Os discretos sorrisos em Peter Saunders.

Saunders relata que esperava utilizar substituição, por se tratar de um filme de terror, que exigiria expressões extremas de susto ou pavor⁹. Mas os contidos protagonistas vitorianos demandariam expressões mais sutis, mas não menos eficientes. Ele ainda não tinha a solução para um novo material de pele menos frágil que a espuma de látex. Foi nesse processo que se descobriu a aplicabilidade do silicone catalisado por platina¹⁰.

Oportunamente descobriu-se que a pele de silicone oferecia resistência de forma às articulações de baixa força de torque por possuírem um componente de atrito único - como um conjunto de bolas e soquetes, de dobradiça ou pivotamento. Assim, articulações tradicionais não sustentariam as poses, alterando sutil, mas imediatamente, os posicionamentos que o animador acabasse de fazer. Portanto, foi necessário articulações com maior resistência ao efeito de memória do *silicone*, utilizando os mecanismos de redução por engrenagens que mencionamos na introdução, além do incremento fino e a redução do gesto que eles oferecem.

Dentro dessa perspectiva, o desafio inicial ao retomar à técnica de *The Fool of the World and the Flying Ship*, foi entender como inserir mecanismos simétricos em rostos assimétricos, com componentes metálicos em crânios de compósito de resina e fibra de

⁹ Em entrevista feita pelo autor em visita técnica aos estúdios da Mackinnon & Saunders em Altrincham em 06 de Setembro de 2011.

¹⁰ Da marca Dragon Skin, fabricada pela estadunidense Smooth-On.

vidro. Era difícil conceber mecanismos assimétricos como um todo atuando dentro das diminutas cabeças. Faltava um ponto de partida - ou plano.

Saunders e Mackinnon observaram que na miniaturização mecânica de relógios de algibeira do século XIX e pulso do século XX, sempre se buscava compactar os mecanismos entre duas placas - do mostrador e da parede de trás da caixa. Procurando identificar essa secção plana do crânio, eles optaram por situá-la em sua base: na horizontal e entre as orelhas e aproveitando os orifícios destas para dar acesso aos parafusos de controle (f na figura 10)¹¹.

Cada parafuso é uma rosca sem fim que gira uma engrenagem na base de duas bobinas em um mesmo eixo (d). Um enrolamento é no sentido horário, e o outro no anti-horário, permitindo que uma mesma rotação do eixo ofereça e recolha o fio. Ele sai por um orifício e entra por outro (e), conectando-se com a pele e permitindo movimentos independentes de sorriso e tristeza em cada lado do rosto.

O maxilar inferior recebeu uma haste articulada que se estendia no sentido de abri-lo e se recolhia no sentido de fechar a boca, estando presa a uma alavanca (a). Essa - por sua vez - estava acoplada em uma engrenagem que era rotacionada por meio de outra rosca sem fim, cujo encaixe de ajuste era acessado por um orifício no alto da cabeça (b). Este orifício é ocultado pelos cabelos. As expressões bucais dependiam também de articulações tradicionais de bola e soquetes para extensão dos lábios (c).

Como mencionamos antes, essas conexões com a pele para os movimentos de sorriso e tristeza eram pontuais, enquanto que propusemos um sistema de foles tubulares que se contraem interligados, gerando um comportamento mais planar, volumétrico e distributivo quanto à contração e expansão da pele.

¹¹ Como veremos adiante no capítulo de projeto e desenvolvimento, também adotamos essa utilização do espaço entre as orelhas e seus orifícios como local de inserção de chaves de controle, até porque faltam ainda mais orifícios além dos ouvidos quando se propõe outros 14 controles indiretos e não apenas o de sorriso-tristeza e mandíbula como no design de Saunders - que é o nosso caso.

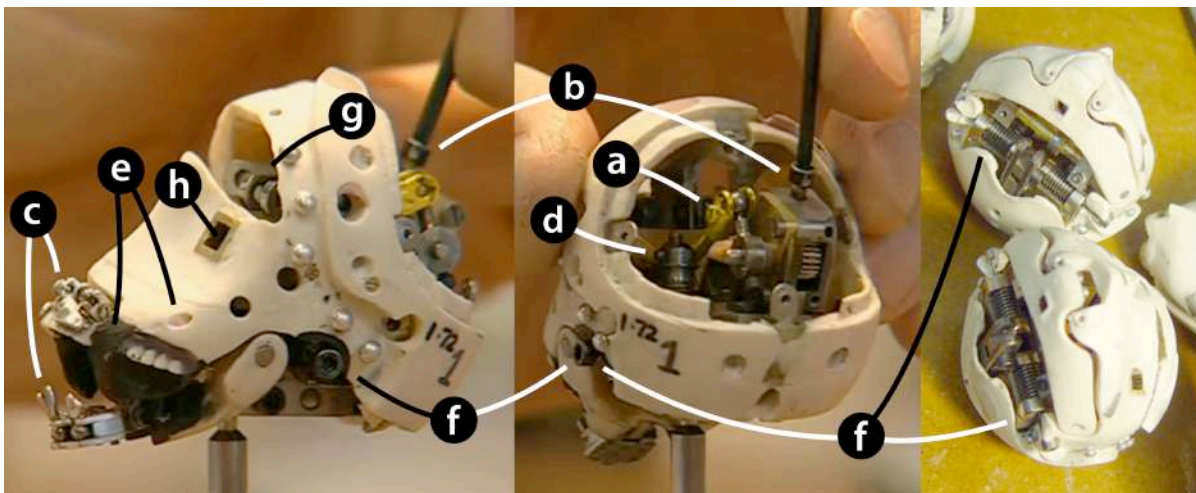


FIGURA 11. Cabeças de *Emily* e *Victoria* em *Corpse Bride*, com mecanismos internos diretos e indiretos. (g) indica os soquetes para articulação das sobrancelhas por ação direta. (h) localiza o encaixe retangular para as órbitas dos olhos. Composição digital pelo autor. Fonte: Detalhe de fotogramas do documentário *Page to Puppet* (2006), de Sam Hurwitz e *Stop-Motion Magazine* #31, pg. 23 de 2018. Fonte disponível em: <https://vimeo.com/190848344>. Acesso em 07 de Agosto de 2020.

Mas o filme foi um sucesso de público e crítica e consolidou o relacionamento entre Tim Burton e a Mackinnon & Saunders, tornando-a a mais prestigiosa empresa internacional de fabricação de bonecos para *stop-motion*. A mesma técnica foi aplicada novamente de maneira eficaz em *Max & Co*, uma produção franco-belga-suíça de 2007, dirigida pelos irmãos suíços Frédéric e Samuel Guillaume.

Em 2009, o diretor Wes Anderson lançou uma adaptação de *Fantastic Mr. Fox*, do escritor Roald Dahl, que por sua vez se aproxima do comportamento irrequieto de *Roman de Renard*, o personagem-título dos contos medievais da Europa Ocidental adaptados por Starewicz no seminal *The Tale of The Fox*. O protagonista e seus companheiros peludos apresentam as usuais articulações de mandíbula, sobrancelhas, lábios, pálpebras e órbitas.

Em entrevista¹² Peter Saunders afirma que os crânios são de resina de poliéster com mecanismos para a animação. Mas só há detalhamento da articulação da ponta do queixo por bola e soquete para animação feita diretamente no ponto de articulação.

Não podemos então afirmar se os mecanismos engrenados para articulação indireta da mandíbula foram utilizados, mas na retomada com a parceria com Burton em

¹² Entrevista em 13 de Novembro de 2009 para a Vanity Fair. Disponível em: <https://www.vanityfair.com/hollywood/2009/11/how-the-puppets-from-fantastic-mr-fox-were-made-slideshow> Acesso em 07 de Agosto de 2020.

Frankenweenie, de 2012, aplicou-se articulações por acionamento indireto no rosto dos protagonistas humanos¹³.

É estranho que, relatando-se a história da animação facial no *stop-motion*, os artesãos que optaram por fazer um uso sofisticado de articulações para expressar fala se resumam a Ladislav e Irene Starewicz, a linhagem de O'Brien a Cheney, os artistas de *rigging* da Laika, Peter Sanders e Ian Mackinnon - lembrando que o período fértil nessa busca na Cosgrove Hall coincide com a presença dos dois últimos. Em termos de um trabalho continuado para longas-metragens como mecanismos internos de acionamento indireto, os dois ingleses parecem serem ainda os únicos em 90 anos de trabalho.

2.4.2 A invicta precisão da fala em Ron Cole.

No entanto, identifica-se pelo menos dois¹⁴ casos isolados, mas com resultados notáveis nessa opção aplicados a filmes de curta-metragem. O primeiro é *In The Fall of Gravity*, curta-metragem de 2009 com diálogos. Obra de Ron Cole - um novaiorquino que à maneira dos Starewicz executou o filme sozinho (menos a trilha sonora), como prova de conceito da tecnologia que havia desenvolvido. Como ele explica em *PRIEBE* (2010) seu desafio era adaptar a técnica de movimentos faciais por cabos já presente nos animatrônicos para efeitos visuais de ação ao vivo para uma versão miniaturizada de uso quadro a quadro.

Nesse filme, Cole utiliza cabos que deslizam por baixo da pele para todos os movimentos, puxando-a em um sentido e no outro, como Saunders faz nos cantos de boca de *A Noiva Cadáver* e *The Fool of the World and the Flying Ship* para o sorriso e o cenho. Mas se esses movimentos em Saunders geram conexões pontuais, Cole opta pelo uso integral de cabos pelo potencial de fazerem arcos que se fecham em laços contraindo um trecho da pele - em maneira similar a músculos reais.

¹³ No featurette *Frankenweenie: Illusion of Life*, Trey Thomas, o diretor de animação do filme demonstra um mecanismo de mandíbula idêntico ao de *Corpse Bride* e começa a explicar sobre o mecanismo de sorriso escondido no canal auditivo em 01:13:00, quando a imagem corta.

¹⁴ Há também o uso de atuação indireta para movimentação de mandíbula em personagem do curta-metragem "Mr. Deer" de 2018, do animador iraniano Mojtaba Mousavi. utilizando pinhão (rosca sem fim) e coroa no movimento da mandíbula como em Peter Saunders nas sobrelanceiras.

Os dois personagens de *In The Fall of Gravity* vão além do que os de *Corpse Bride* por dialogar com posturas labiais realisticamente correspondentes aos fonemas de suas falas.

Outra razão é a possibilidade dos cabos atuarem em um trecho da pele longe do mecanismo de acionamento de maneira mais simples do que pelo uso de componentes rígidos como alavancas. O ir e vir dos cabos na experiência de Cole é acionado por dois métodos: ter o cabo preso em círculo por meio de um sistema de novelos (como em Saunders) e tê-los fixos à molas que provenham os movimentos contrários.

(...) As partes metálicas na frente dos dentes em ambas as arcadas são o que eu sempre me referi como o "segundo conjunto de maxilares", que controla a altura dos lábios separada da posição da mandíbula. Cada lábio tem 3 hastes de metal presas a elas, as da esquerda e da direita podem deslizar lateralmente e a do centro é articulada de modo [vertical e para fora] que ela possa subir para a posição "O". Todos os três são anexados a uma placa dentro do crânio que é mantida na posição fechada por molas de aço que podem ser abertas por cabos. Vide foto em anexo. (...) (COLE, 2018, trad. nossa).



FIGURA 12. Aspecto dos cabos atravessando o crânio e as placas movimentadoras de lábios no design de Ron Cole. Fotos fornecidas pelo artista. Composição do autor.



FIGURA 13. Recorte de fotogramas com fonemas "o". Composição pelo autor. Fonte disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=PacDj_7GX3M. Acesso em 28 de Julho de 2020.

(...) Quando digo que eles estão pressionados na posição fechada, o que quero dizer é que os lábios permanecerão fechados mesmo que a mandíbula esteja parcialmente aberta, assim como os verdadeiros lábios humanos podem. O oposto também é possível, os dentes podem ser completamente apertados, enquanto os lábios podem ser abertos para um sorriso ou rugido. Isso é importante, porque não há nada mais familiar para os espectadores do que um rosto humano e nós instintivamente sabemos que ao pronunciar a letra "M" nossos dentes estão abertos e nossos lábios estão fechados. (...) (*Ibidem*, trad. nossa).

Cole nos explica a complexa relação entre o fonema "o" e sua interação direta com os mecanismos de sorriso e carranca. Pois é uma triangulação na qual os dois últimos tem que ceder tensão para o primeiro e vice-versa. O "o" não é nem sorriso ou tristeza. Sua polarização é vertical - de sobreposição aos dentes da mandíbula ou aos do maxilar. Mas esse conjunto precisa que os repuxamentos laterais de alegria (para cima) ou tristeza (para baixo) cedam tensão para ele.

(...) Uma dificuldade em ajustar os rostos é que, às vezes, para que um cabo seja puxado, outro deve se soltar e, assim, para ajudar a minimizar a quantidade de giro do botão, criei uma placa dentro da caixa de controle que faria isso para mim. Por exemplo, ao fazer os

lábios pronunciarem o "O", a tensão teve que ser afrouxada nos cabos de sorriso e tristeza ... Então, o controle "O" também puxava uma placa com os furos pelos quais os cabos de sorriso e tristeza passavam, fazendo-os afrouxar automaticamente quando o "O" era apertado. Esse é um luxo que eu não consegui duplicar quando os controles estão localizados dentro da cabeça. (...) (*Ibdem*, trad. nossa).

Além dos controles dos lábios, o rigor fonético que Ron Cole dedicou ao filosófico diálogo entre o Mago *Isomer* e seu aprendiz *Trevor* inclui posicionamento da língua (provavelmente direto) e franzido do nariz (*nose bridge*, na caixa de controle).

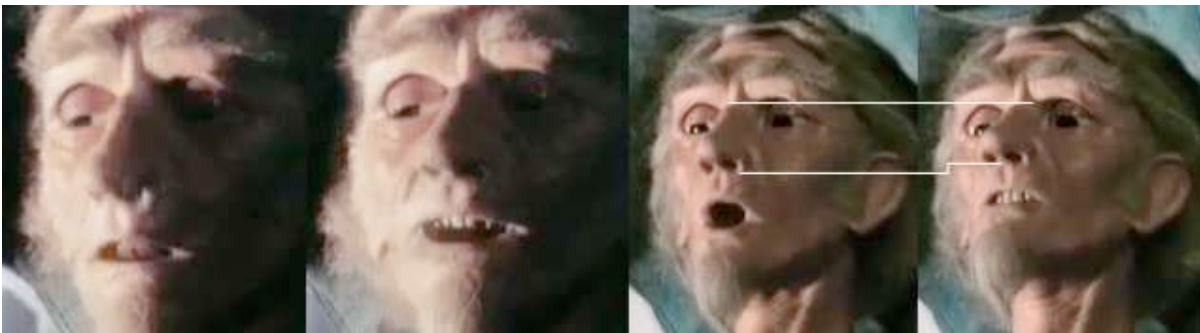


FIGURA 14. Posicionamento de língua para formação de posturas de fonemas nas duas primeiras imagens da esquerda, As duas últimas demarcam o controle do franzido do nariz. Fotos fornecidas por Ron Cole. Composição e diagrama pelo autor.

Outro detalhe ainda inédito em controle facial de muito auxílio na expressão é a contração do canto do olhos - os pés de galinha - (*crows feet*) em conjunto com pálpebras e órbitas de ação direta externa e sobrancelhas por cabos em mecanismo semelhante aos cantos da boca da Mackinnon & Saunders, utilizando polias fixas.



FIGURA 15. Detalhe das pontes metálicas para deslizamento dos fios repuxadores das sobrancelhas. Fotos fornecidas por Ron Cole. Composição pelo autor.

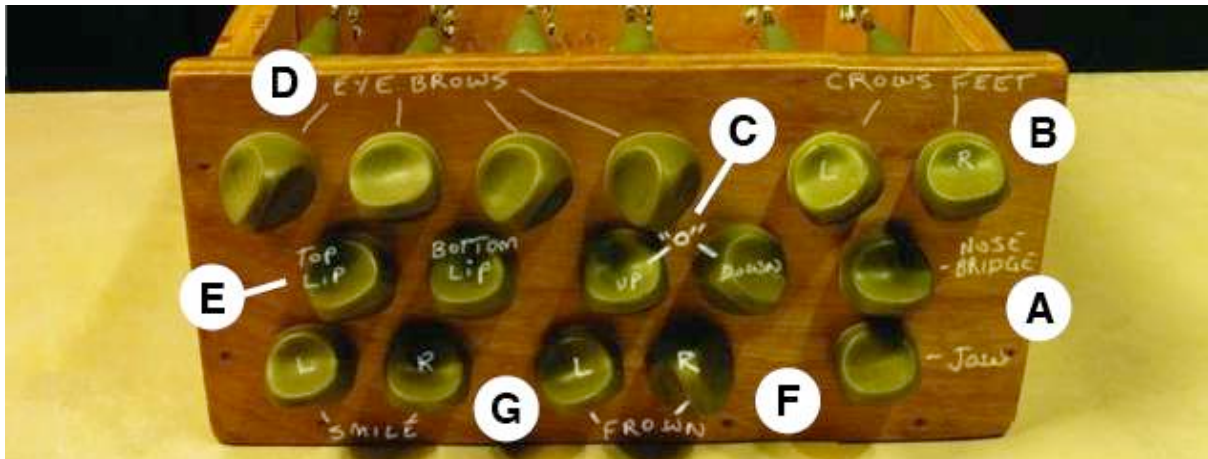


FIGURA 16. Caixa de controle dos cabos. Foto fornecidas por Ron Cole. Diagrama e composição pelo autor.

Com as inovações: do franzir do nariz (a), dos pés de galinha (b); da postura labial do "o" (c) em sua interação com o sorriso e tristeza (g); do acionamento indireto das sobrancelhas (d); lábios por acionamento indireto (e) - e os controles em comum com o desenvolvimento dos ingleses - por acionamento indireto de mandíbula (f) e sorriso-tristeza (g) - somam-se para a face do personagem *Isomer* um total de 16 controles agrupados em uma caixa externa ao personagem, diferente do sistema embutido da Mackinnon & Saunders.

Todas essas ações musculares na face dependem do biomimetismo funcional de outros sistemas: a pele e os ossos. Surpreendeu-nos a cobertura não ser em silicone, mas em outro material em função da interação com os "músculos" metálicos. Ele nos explica a prática de então e as hodiernas, compartilhando-nos preciosos segredos:

(...) Quando eu fiz '*In the Fall of Gravity*' foi impossível colar o metal em silicone, por isso optei por usar borracha de uretano (SkinFlex III). Eu simplesmente consegui colar o uretano no aço utilizando adesivo de cianoacrilato [super Bonder]. Agora que é possível fazer o mesmo com o silicone (usando o 'Loctite 770 Primer' no silicone), minhas novas faces de bonecos são todas de silicone. Em ambos os casos (com silicone e uretano) existe sempre o perigo de a borracha se rasgar, por isso reforço a borracha com uma camada de tecido de nylon (meia-calça) que é incorporada dentro da borracha enquanto a moldo em camadas. (...) (*Ibidem*, trad. nossa).

Já para o crânio, Ron Cole nos lembra do desafio estrutural da sua resistência aliado ao devido espaço interno que ele precisa deixar:

(...) Mecanizar um rosto de marionete stop motion é sempre uma batalha pelo espaço. O crânio deve ser forte o suficiente para suportar toda a tensão sendo puxada na borracha, então o crânio deve ser grosso o suficiente para isso e os mecanismos requerem espaço, por isso é um relógio de pulso, mas o relógio de pulso tem que ser forte o suficiente para puxar o rosto de borracha em um sorriso largo com sobrancelhas levantadas... LOL¹⁵ [sic], não é uma tarefa fácil. Então é aí que ter uma caixa de controle externa é uma grande vantagem, é muito mais fácil simplesmente passar os cabos para dentro do boneco enquanto todos os controles estão em uma caixa separada, o que me permite mover o rosto sem tocá-lo. (...) (*Ibidem*, trad. nossa).

Mas, em outros trabalhos, Ron Cole já inseriu os controles na própria cabeça, como no metalinguístico boneco do lutador de MMA¹⁶ Chuck Liddell, do comercial do chá gelado Brisky de 2010, mas ainda fiel à sua estratégia de utilizar fios.

Apesar de não operarmos na parte empírica de nossa pesquisa pela interpretação de suas técnicas, em algum momento seria enriquecedor investigá-las de maneira prática, incorporando os recursos da fabricação digital, que Cole não pode lançar mão naquele momento, obtendo esses prodígios com técnicas exclusivamente manuais.

2.4.3 Jim Randall: (literalmente) alavancando a expressão facial.

O segundo caso de animação facial por mecanismos internos indiretos em curta-metragem é o do personagem Barnabé, o protagonista de *Moi, Barnabé / I, Barnabas* (no bilíngue título de uma produção canadense). Dirigido por Jean-François Lévesque, com produção do NFBC, foi lançado em 16 de Julho de 2020 no Festival Internacional de

¹⁵ Expressão que significa gargalhando (Laughing Out Loud).

¹⁶ Sigla em inglês para artes marciais mistas (Mixed Martial Arts).

Animação de Annecy. Jim Randall - um artista estadunidense - conheceu Lévesque no Festival *Stop-motion* de Montreal, quando levou um dos seus primeiros desenvolvimentos em animação facial, aproveitando a sua longa experiência em animatrônicos para parques temáticos.

Randall não utiliza cabos, mas articulações mecânicas compostas para gerar torque, como a movimentação de mandíbula de Peter Saunders. Mas no mecanismo de Saunders uma rosca sem fim rotaciona uma coroa com uma alavanca em movimento rotacional fixa a ela, mudando uma rotação de um plano cartesiano para outro e reduzindo o seu incremento. Já Jim Randall utiliza a conversão de movimento rotacional em linear.

Tudo começa em uma caixa que reúne cilindros em paralelo que giram livres e apoiados pelas extremidades, mas que possuem roscas de parafuso. Eles são acionados por encaixes para chaves hexagonais acessíveis por orifícios no topo da cabeça. Ao serem girados, eles fazem correr roscas confinadas para não rotacionar, convertendo o movimento rotacional em linear. Esse dispositivo é o que se chama em mecânica de *parafuso de potência* (*lead screw* em inglês).

A essência da abordagem de Randall está em produzir movimentos diferentes de cada lado do curso da porca acionada pelo parafuso de potência. O sistema utiliza restritores de movimento, que só são atingidos depois de uma certa posição das alavancas acionadas pelo parafuso. Com isso é possível ter acionamentos diferentes em cada lado do curso de movimento.

Somente o movimento das extremidades externas das sobrancelhas são o vai e vem de um mesmo movimento. Já os movimentos das sobrancelhas internas (esquerda e direita) e os dois conjuntos esquerdo e direito do movimento de sorriso e tristeza são assimétricos - característica que os torna mais orgânicos.

Assim somam-se quatro controles para as sobrancelhas, dois para sorriso-tristeza e o da mandíbula, totalizando sete controles por guias lineares para movimentação indireta.

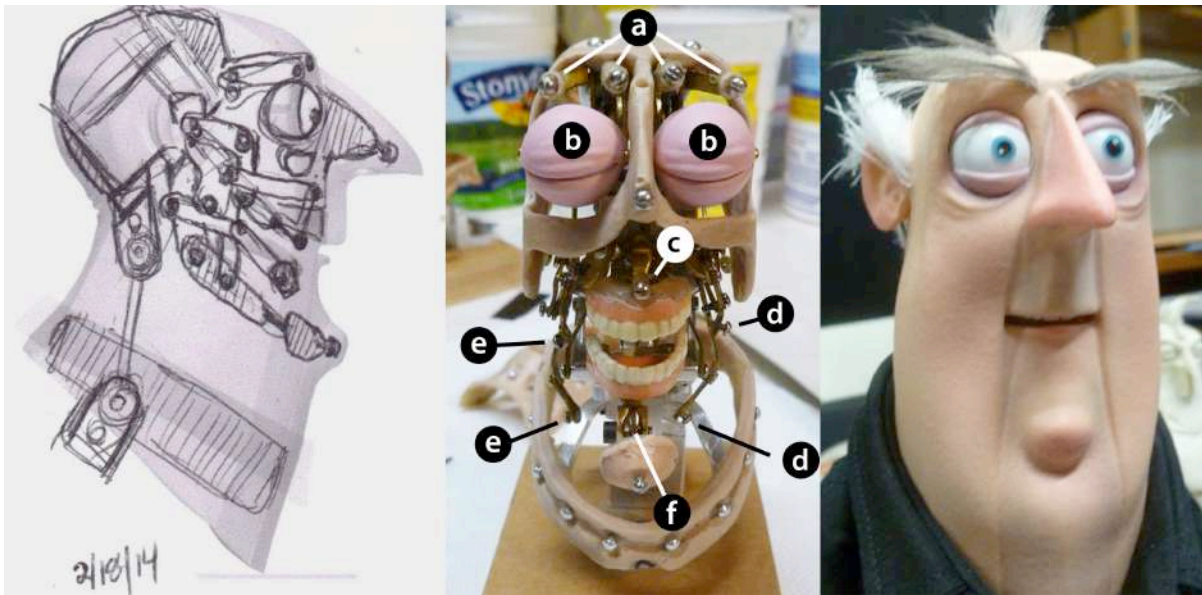


FIGURA 17. Cabeça do protagonista de *Moi, Barnabé*, realizada por Jim Randall. Ela é composta de: (a) quatro movimentadores verticais indiretos das sobrancelhas, (b) pálpebras manipuláveis diretamente sobre globos oculares estáticos (nota-se que uma das pupilas na foto da direita está rotacionada em relação à outra, vide o reflexo pintado), (c) articulação de uso direto no lábio superior, (d) atuadores paralelos do sorriso-tristeza esquerdo (e) atuadores paralelos do sorriso-tristeza direito, (f) junta em bola e soquete de movimento da ponta do queixo. Não sinalizado é o movimento indireto de mandíbula e as juntas de bola e soquete da movimentação do pescoço. Fonte das fotos: Jim Randall. Composição digital e diagrama pelo autor. Diagrama publicado em DUTRA, GINO, 2018.

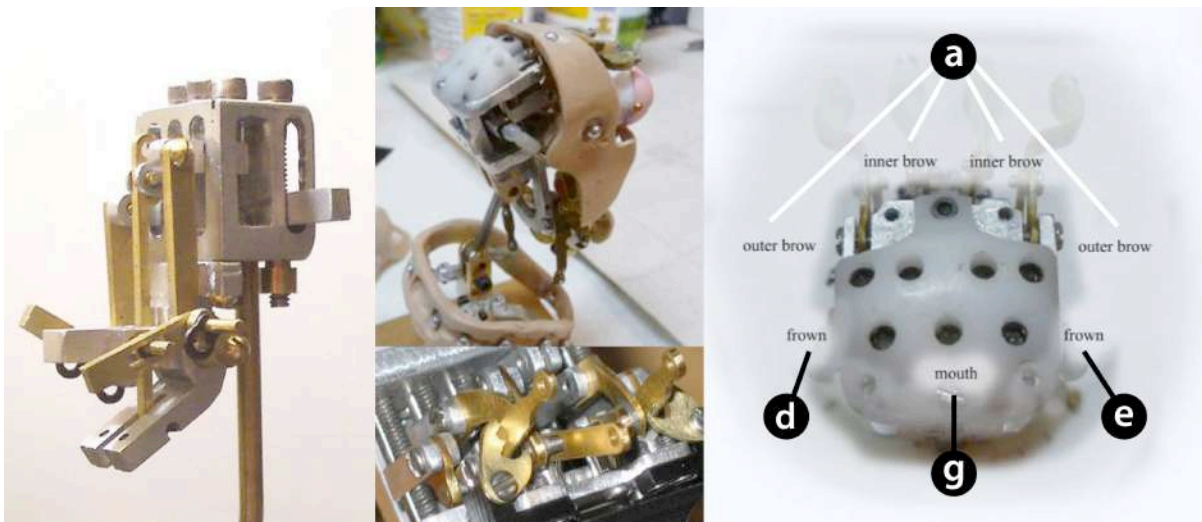


FIGURA 18. À esquerda, protótipo de caixa de controles com algumas alavancas. No centro a versão final. À direita: acessos de controle por chaves hexagonais, sendo quatro para as sobrancelhas (a), dois para sorriso-tristeza (d, e) e um para a mandíbula (g). Fotos de Jim Randall. Legenda à direita em inglês por Jim Randall. Diagrama e composição pelo autor.

Uma detalhada descrição dos mecanismos é por demais abstrata. Assim, pedimos que se consulte os infográficos animados publicados no ExperimentaAnima 2020 - 1º Encontro de Animação Experimental, realizado em 24 e 25 Agosto de 2020, transmitido online por iniciativa do DaDin - UTFPR - Departamento de Desenho Industrial da Universidade Técnica Federal do Paraná¹⁷.

Curiosamente, esse personagem e o Mago *Isomer* de Cole têm algo em comum: sobrancelhas bem peludas, o que impede o acionamento direto sem perturbá-las, colocando em vantagem o uso de mecanismos internos de acionamento indireto.

Tanto os desenvolvimentos de Cole quanto Randall poderiam ser oportunos à produção de longas-metragens, uma vez que são mais complexos que os de Saunders - já tão bem sucedidos nesse tipo de empreitada - e permitiriam um aumento exponencial de expressividade como já demonstram os curtas-metragens realizados nas técnicas desses artistas.

Diante desses marcos estabelecidos por Cole, Randall e Saunders, nos indagamos sobre o que poderia ser feito em alternativa para experimentar novas possibilidades - trazendo novos questionamentos, que inicialmente foram:

Seria possível criar um sistema integralmente realizado com atuadores internos indiretos?

Como sobrepor mais de um movimento atuado indiretamente?

Particularmente essa segunda questão se exemplifica na situação de atuadores no topo da cabeça (como em Randall e Saunders) atingirem o movimento mais distante, no caso a ponta do queixo, sendo que a própria mandíbula precisa se mover e ser controlada indiretamente. Essa questão é resolvida com uso de acionamento direto na ponta do queixo para Randall e na movimentação dos lábios para Saunders. Cole obtém essa condição por cabos correndo dentro de tubos para acionar os mecanismos de lábio inferior.

Mas foi observando dispositivos de fixação pneumáticos para usinagem seriada desenvolvidos por Luiz Carlos (Ally) Castro que nos ocorreu que gases e fluidos podem oferecer essa liberdade de posicionamento e sobreposição. Um sistema poderia movimentar

¹⁷ A descrição do sistema se encontra em: <https://youtu.be/xv1o-DspdMg> Acesso permanente mantido pelo autor. A conferência se encontra em: <https://youtu.be/teozdtm2PJ4?t=9927> Acesso em 26 de Agosto de 2020.

a abertura e o fechamento da própria mandíbula, combinados com tubos flexíveis que permitissem a passagem de ar do crânio para a mandíbula.

Porém, os sistemas pneumáticos podem ceder pressão entre si, gerando deformação de geometria entre componentes distintos. Quando é necessário que um sistema de força resista à influência dos demais, a opção pela hidráulica é oportuna, porque líquidos não são compressíveis.

Mas o procedimento de esgotamento de fluido para o total do preenchimento do circuito hidráulico em sua montagem é complexo. No subsistema que concebemos por hora, esse componente não tem expectativa de uma performance ideal, como relatamos em **3.6.3 Atuador hidráulico**. O método de fechamento do circuito por hora empregado não garante a eliminação completa de bolhas de ar, causando, portanto uma eventual incapacidade total ou parcial de sobrepujar os movimentos pneumáticos que lhe oferecem oposição.

É esperado que no desenvolvimento empírico de um sistema complexo como esse, que somou 263 peças individuais em uma cabeça em escala 1:5, alguns componentes não apresentem nessa primeira versão o funcionamento ideal. Mas não faltam vislumbres de soluções viáveis para o seu aprimoramento.

3. Projeto e desenvolvimento de cabeça animável com mecanismos internos de acionamento indireto de músculos hidropneumáticos.

3.1. Ferramentaria de precisão para micro usinagem CNC¹⁸.

Além desse questionamento sobre a independência espacial entre as posições de atuadores primários e o local onde efetivamente ocorre o movimento, um aprimoramento do estudo de mestrado que antecedeu essa investigação é o uso de micro usinagem por CNC e os componentes que ela torna mais factíveis de serem realizados em quantidade e complexidade suficientes. Principalmente, se considerarmos a precisão alcançada em nível

¹⁸ Todo o processo de adaptação da infraestrutura de maquinário, ferramentas e materiais antes de iniciar os experimentos práticos da pesquisa durou mais de um ano: de 17 de Março de 2018 a 02 de Maio de 2019.

industrial com as modificações realizadas no equipamento pela TryAlly Tech e os correlatos conhecimentos operacionais lá estudados.

Inicialmente visando consertar o *driver* controlador queimado e revisar todo o aparato, levamos o equipamento para Bauru - SP e o modificamos extensamente. Essas ações foram detalhadas no relatório concluído em 25 de Junho de 2018, após o retorno do equipamento a Belo Horizonte para ser entregue à coordenação do Laboratório de Tridimensionalidade.

Outra ação infra-estruturadora posterior a esse período foi o desenvolvimento dos acessórios necessários para a execução das peças, como uma morsa baixa com mordentes de 3 mm de altura com outro jogo de mordentes adicionais de 0.8 mm de altura, essencial para fixação de materiais pouco espessos.



FIGURA 19. Porca T em aço 1045 para fixação à esquerda; vista geral da morsa baixa ao centro; detalhe dos mordentes reduzidos de 0.8 mm à direita. Fabricação e fotografia pelo autor.

Desenvolvida na própria fresadora do laboratório em alumínio aeroespacial 7075 (para evitar deformação plástica no funcionamento), a morsa baixa é a reprodução de um projeto original de Luiz Ally. Feita de um retalho do raro material doado por uma indústria de manutenção aeronáutica, o mesmo acessório fabricado pela Tryally Tech só ficou disponível no mercado muitos meses depois da conclusão da nossa versão e mesmo depois do seu uso. Sua fabricação se deu no período entre 25 de Janeiro e 04 de Abril de 2019.

Outro material de difícil obtenção é o aço 12L14, material utilizado nos *spindles*¹⁹ da fresadora e do torno - o que determina o seu uso nos suportes de ferramenta. O motivo é estender a vida útil desses componentes por minimizar desgaste no rosqueamento que

¹⁹ Elemento de rotação para a operação de usinagem movido por um motor através de transmissão por correias ou engrenagens.

ocorreria com o uso de suportes de ferramenta (*tool holder*) em aços mais duros do que o utilizado nos *spindles*.

Esses suportes de ferramenta foram fabricados sob medida no próprio *spindle* da fresadora - trazido para o torno - oferecendo um alto nível de concentricidade. São no momento três suportes: uma plaina (*fly cutter*) para *bits* de um quarto de polegada e dois suportes de serras circulares de 0.5 e 0.8mm. A verificação metrológica do suporte para serras de 0.5mm atestou que sua variação de ortogonalidade com o seu eixo está abaixo de um centésimo de milímetro.

Isso significa que os rasgos feitos com essas ferramentas apresentam largura virtualmente idêntica à espessura da ferramenta, gerando com precisão os diminutos rasgos de alívio de pressão nos cantos dos mordentes de 1mm da morsa baixa.



Figura 20. Plaina (à esquerda) e suporte de serras de 0.8mm (centro) fabricando o imobilizador de spindle do torno com a peça fixada na morsa retificada adquirida com a Taxa de Bancada. Fabricação e fotografias pelo autor.

Também desenvolvemos um acessório imobilizador do *spindle* do torno para fixar peças para punctionamento manual e programado, tarefa decisiva na fabricação dos principais componentes metálicos do sistema: os encaixes de chaves de acionamento nos parafusos de potência.

Adquiri pessoalmente diversas ferramentas, acessórios e outros materiais de consumo (como metrologia, metais, fresas, serras, brocas, fluídos de corte, óleos especiais para a lubrificação das máquinas), bem como obtivemos outros acessórios e ferramentas pela Taxa de Bancada, disponível pelo fato da pesquisa ter sido agraciada com bolsa da FAPEMIG no período de 2018 a 2020.

Pudemos encontrar um serviço de afiação capaz de realizar diminutas ferramentas para torneamento sob desenho com perfil abaixo de 1mm, determinantes no funcionamento manual do encaixe das chaves de atuação nas cabeças dos parafusos de força, cujo design detalhamos adiante.

Na programação CNC para a fabricação das ferramentas, acessórios e dos próprios componentes foi oportuno termos aprendido como escrever manualmente os comandos em código G, bem como editar e customizar macros gerados automaticamente. No futuro, quando utilizarmos CAD-CAM, poderemos compreender melhor o seu funcionamento e como intervir nele diretamente no código gerado por esse tipo de software.

3.2. Fabricação digital subtrativa por micro usinagem CNC.

Essas condições permitem que se desenvolva componentes mecânicos de movimento de alta precisão, como as engrenagens miniaturizadas presentes na caixa de redução do mecanismo de mandíbula utilizado por Peter Saunders. Mas nos parafusos de potência e suas respectivas porcas que desenvolvemos atingimos um nível de precisão muito mais elevado do que seria possível com porcas e parafusos adquiridos prontos, como os utilizados por Randall.

E por serem fabricados, pudemos determinar a relação entre rotação dos parafuso e o deslocamento linear das porcas no número de voltas helicoidais por uma dada medida longitudinal (o passo da rosca).

Utilizamos também roscas esquerdas, para que o movimento no sentido horário afastasse as porcas, o que entendemos ser mais intuitivo como gesto para o animador: quando ele "aperta" o parafuso, este impulsiona ar para o circuito, estendendo os músculos, assim como o ato de "desparafusar" fica associado a sugar o ar de volta para dentro do controle, contraindo assim o músculo.

A implementação do quarto eixo na fresadora foi determinante na fabricação dos parafusos de potência. Apesar do torno apresentar como acessório o conjunto de engrenagens utilizado para torner roscas, o seu uso é manual. Além disso, optamos por fabricar roscas com fios de formato trapezoidal a partir de uma ferramenta de ponta em 60°.

Portanto, a formação dos vales entre os dentes demandou diversas passadas mais plausíveis de execução por automação do que manualmente (Figura 21).

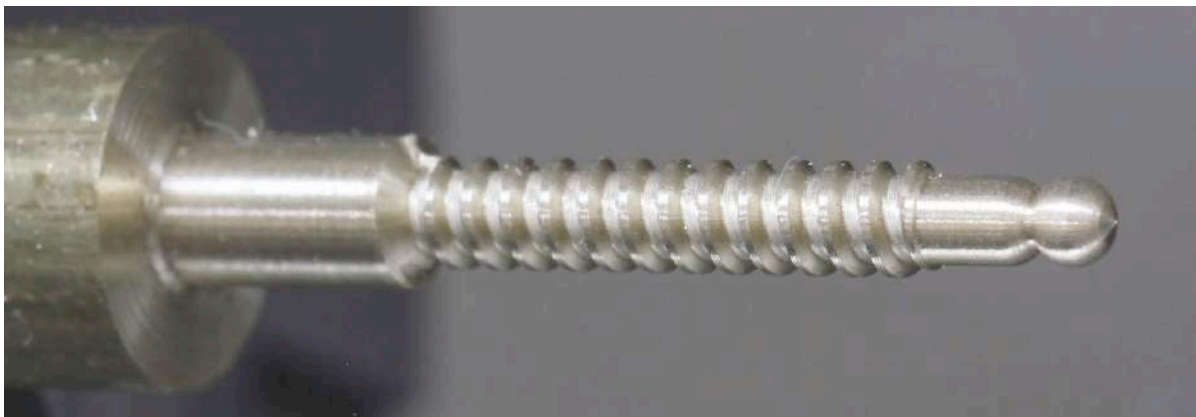


Figura 21. Protótipo do parafuso de potência. Observe-se a ponta esférica para aprisionamento. Diâmetro de 1.587mm na parte lisa e 1.985mm na parte rosqueada. Fabricação e fotografia pelo autor.

Para fixar o parafuso dentro das caixas que fecham o aparato hidropneumático, constituindo uma unidade de controle com os demais elementos desenvolvemos um design próprio: fresamos uma ponta esférica que se prende em duas metades hemisféricas côncavas integradas nas partes da caixa que contém o parafuso e os componentes que ele aciona. Para essa estratégia de aprisionamento será requerido registro de propriedade intelectual sobre a forma de modelo de utilidade ou patente entre outras concepções do projeto.

O sextavado do encaixe de aperto de um parafuso é formado por uma técnica denominada brochamento, que o forma a partir de um furo cilíndrico utilizando um aparato chamado cabeçote brochador. Ele pressiona uma ferramenta de corte sextavada enquanto rotaciona alternando a ponta que avança. Isso é a ação do movimento planetário. Mas não dispunhamos de um cabeçote brochador miniaturizado.

Desse problema nasceu um substitutivo que se mostrou mais oportuno para a finalidade dos parafusos enquanto instrumento de animação. Mais fácil do que brochar as seis pontas do sextavado no furo guia seria abrir por puncionamento progressivo um só canto em ângulo de 90° e tangente internamente à circunferência do furo, alargando-o em uma forma de gota.

O que essa forma nos traz é a condição de que as chaves de acionamento também fabricadas sob medida para esse encaixe sejam removidas e inseridas pelo animador entre os fotogramas sempre no mesmo ângulo rotacional, favorecendo a percepção tátil de diferença. Esse design e sua aplicação também receberá o devido registro de propriedade intelectual.

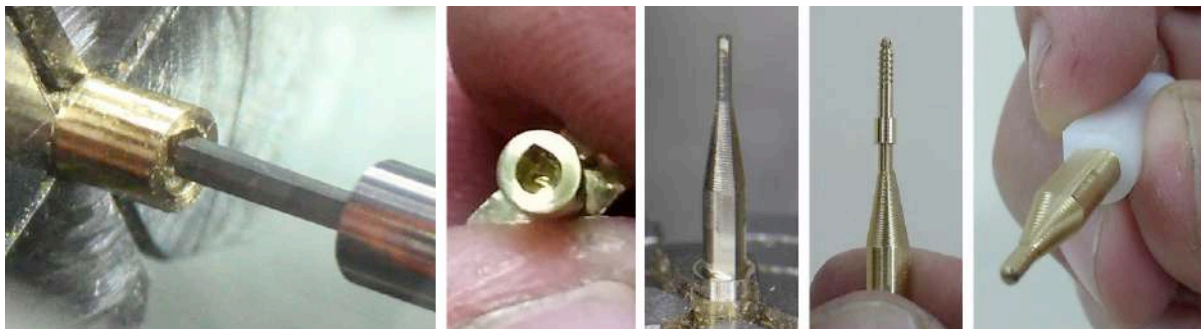


Figura 22. Puncionamento do canto em 90° na primeira imagem à esquerda; cabeça do parafuso formada, fresagem de chave de controle; teste de encaixe na chave; chave pronta com pega também em forma de gota. O encaixe tem 1.4 mm na parte cilíndrica. Fabricação e fotografias pelo autor.

Mas o animador precisa anotar ou memorizar em qual das voltas do parafuso e o sentido da rotação, no momento em que estiver animando. Para tal, desenvolvemos um diagrama de anotação da rotação dos atuadores primários que pode ser empregado em *X-sheets*²⁰ convencionais impressas ou em uma versão animável por Adobe After Effects CC 2018, para que se calcule movimentos previamente.

A versão animável do diagrama pode ser utilizada diretamente nesse *software* ou resultar em vídeo, que pode ser exibido em aplicativo com controle de exibição quadro a quadro em computadores, *tablets* ou celulares, oferecendo esse auxílio ao animador. Detalharemos adiante esse modelo de diagramação e como ele reflete o posicionamento dos diversos atuadores embutidos na cabeça.

É em função da orientação visual que o *x-sheet* não reproduz exatamente o posicionamento e a proporção entre os encaixes de parafusos, com uma diagramação mais larga do que seria uma fotografia da cabeça. Isso se dá em observância ao princípio da legibilidade dos nomes dos controles, a marcação da gradação rotacional, o número de voltas completas e parciais que o controle permite e em que volta o parafuso de potência se encontra.

²⁰ Folhas com tabelas nas quais se anota em cada linha vertical o que deverá ocorrer a cada frame e os fonemas de fala quando é o caso.

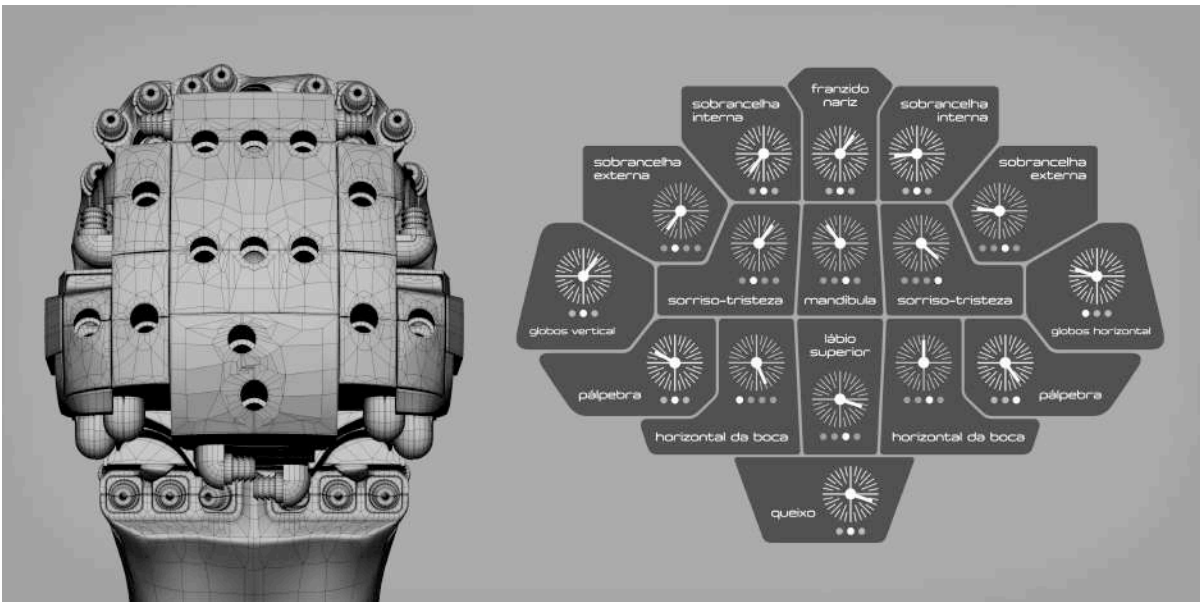


Figura 23. Vista do topo da cabeça e diagrama de referenciamento da animação para uso em *x-sheets* convencionais e em automação do planejamento da interpolação por animação gráfica. Modelagem digital, design de interface e composição pelo autor.

Projeto e *footages* de Adobe Illustrator e After Effects CC 2018 disponibilizados permanentemente pelo autor em: https://drive.google.com/drive/folders/16ieuK6iBy8E93bwW6wVwU_C3J4wRiCiG?usp=sharing

Dentro de uma perspectiva de miniaturização de componentes para a sua acomodação no crânio do personagem, é preciso observar o espaço utilizado na superfície posterior da cabeça e o volume interno de cada um dos atuadores primários.

A forma desses volumes deve propiciar o agrupamento do maior número possível de atuadores, observando que a face voltada para a superfície da cabeça deva ser estreita para otimizar a justaposição. Para tal, a movimentação rotacional na orientação longitudinal ocupa menos espaço do que a rotação no sentido transversal. Por essa razão é que optamos pelo acionamento rotacional em orientação longitudinal.

O formato mais recorrente do componente hidropneumático linear é a de um êmbolo que desliza por dentro de um cilindro. Mas a esse vetor soma-se o atuador giratório longitudinal (como em uma seringa) - tornando todo o conjunto muito alongado e com comprimento variável pelo curso do atuador.

Para diminuir e fixar o comprimento total do mecanismo, propusemos que o atuador giratório na forma de parafuso de potência estivesse disposto em paralelo ao êmbolo e

estacionário em termos de curso longitudinal. Ele gira uma porca engatada ao êmbolo, fazendo-o deslizar.

Mas como o tracionamento linear em paralelo pode gerar tensionamentos, adotamos a estratégia de êmbolos em pares com o parafuso entre eles, distribuindo assim o arrasto.

Além de duplicar o volume hidropneumático, outro benefício decorrente desse arranjo é que não só uma das pontas de cada êmbolo pode ter uma câmara de pressão variável, mas em ambos extremos. Isso porque a porca que conduz o par de êmbolos pode tanto se apoiar em um trecho mais próximo de suas pontas, em uma forma de U, quanto pode se conectar com algum ponto do meio dos pares de êmbolos no sentido longitudinal, formando um H.

Nessa segunda opção, câmaras em ambos extremos dos pares de êmbolos podem ser controladas com um só atuador primário, apresentando pressão variável inversamente proporcional nas duas respectivas saídas de ar. Isso propicia conjuntos de músculos organizados em pares com movimentos simultâneos de expansão e contração, o que é conveniente a alguns movimentos da face.

Se em um controlador simples, um mesmo êmbolo único com pressão positiva e negativa alternadas pode produzir o mesmo comportamento em uma mesma terminação hidropneumática, o controlador duplo permite contração e expansão simultâneas em terminações distintas, aumentando as possibilidades de projeto de arranjo muscular. Em compensação, um dispositivo simples com só uma câmara pode ocupar no crânio do personagem o mesmo volume de um dispositivo duplo, movimentando o dobro de volume.

Além disso, a reversão do movimento do parafuso por movimentação do êmbolo através de pressão hidropneumática é improvável nesse sistema, em função da usual capacidade elevada de auto retenção do parafuso de potência.

Mas veremos adiante que uma versão giratória do aparato de êmbolos pode propiciar um movimento correspondente no extremo de um circuito hidropneumático. É quando os êmbolos lineares de atuação primária controlam um outro conjunto secundário de êmbolos - esses giratórios, convertendo assim a natureza do movimento.

Tanto para êmbolos primários quanto eventuais êmbolos secundários, os elementos que os vedam ao deslizarem em seu invólucros são anéis de borracha de perfil redondo, denominados *o-rings*. Os menores tamanhos disponíveis no mercado local e que fossem passíveis de reposição foram determinantes na escala dos componentes e do sistema como um todo, sendo utilizados os de 2.78mm de diâmetro externo e 1.02mm de espessura.

Relembrando: o método hidropneumático nasceu da idéia de se obter flexibilidade de posicionamento das extremidades de um músculo. O exemplo específico foi o da movimentação da ponta do queixo combinada com a articulação da mandíbula.

Portanto, entre a mandíbula e o crânio convém que o ar passe por tubos flexíveis, que são também convenientes em outras disposições de condução do ar e de fluido hidráulico entre o topo da cabeça e as diversas partes da face.

O que conecta esses tubos flexíveis com as partes rígidas das caixas de controle e da "ossatura" da face são os elementos de hidropneumática denominados *nipes*, que apresentam ranhuras cônicas para fixação dos tubos (também conhecidos como conexão estriada ou *niples*).



Figura 24. Componentes desmontados da caixa de controle de atuação primária hidropneumática. Vista giratória por macrofotografia em intervalômetro disponível em: <https://youtu.be/HkkuwRMu-p0>
Uma compilação de registros em vídeo dos diversos processos de usinagem para a ferramentaria e a fabricação desses componentes encontra-se em: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLQBdqk2O32BWvNgfysWZnZVtYo-9OMDQ> Acesso permanente mantido pelo autor. Ferramentaria, usinagem, programação CNC, vídeos, fotografias, edição e composição realizados pelo autor.

Inicialmente, as conexões fixadas nas caixas dos atuadores primários de controle foram confeccionadas em metal para permitir uma flexibilidade de projeto e melhor resistir ao rosqueamento delas nas caixas. Esse rosqueamento de 1.3mm de diâmetro receberia um vedante anaeróbico, para melhor fixar os nipes e propiciar estanqueidade.

As mangueiras de silicone adotadas também foram as menores encontradas em nosso mercado, apresentando diâmetro externo de 2.1mm e interno de 1.0mm.

Mas, apesar dos resultados obtidos na fabricação desses componentes, eles precisaram ser dispensados em função de uma revisão projetual. Projetamos e fabricamos duas metades com encaixe macho e fêmea que se fechavam ao redor do parafuso de força, sua respectiva porca e os êmbolos com seus elementos vedantes. Elas também continham rosqueamentos para conexão de nipes retos e em L.

Tomando-se por referência o eixo dos êmbolos e do parafuso, a divisão das caixas foi longitudinal, prevendo serem fechadas e vedadas com adesivo anaeróbico.

Assim como os parafusos, porcas e nipes, sua micro usinagem em alumínio foi um longo e delicado processo pois os encaixes macho e fêmea fechavam sob pressão, demandando a fabricação aos pares, como também os ajustes dos parafusos para as suas porcas em pares casados, minimizando a folga entre eles.²¹.

Mas quando as metades foram vedadas, o efeito de capilaridade fez vazar o vedante anaeróbico para as câmaras dos êmbolos. Além disso, constatou-se que os *o-rings* sob pressão tendem a reagir ir e empurrar transversalmente as duas metades longitudinais separando-as.

Percebemos então que a divisão das caixas de controle em partes para a inserção dos êmbolos com seus *o-rings* deveria seguir uma orientação transversal.

Nessa abordagem, é o êmbolo com seu elemento vedante em sua extremidade que é inserido em um orifício cilíndrico que constitui metade da câmara de compressão, denominadas camisas. As emendas passam a se encontrar em um plano transversal sobre o qual os *o-rings* não deslizam e portanto não demandam vedação.

Não havia tempo hábil para refazer as caixas pelo processo de usinagem, principalmente em novo desenho que poderia exigir concavidades em ângulos retos - cantos como o encontro de três planos ortogonais entre si. A usinagem com elementos giratórios de fresagem ou torneamento propiciará curvaturas pelo menos no encontro de duas das três superfícies formadoras de um nicho.

As formas de remover esse arredondado, propiciando arestas retas nos três planos são: o desbaste por brochamento, puncionamento ou o uso de um eletrodo de quinas retas

²¹ Processo de fabricação que durou de 22 de Maio de 2019 à 16 de Março de 2020.

no processo de eletroerosão por penetração. Ou fresar com o quarto eixo para girar o material.

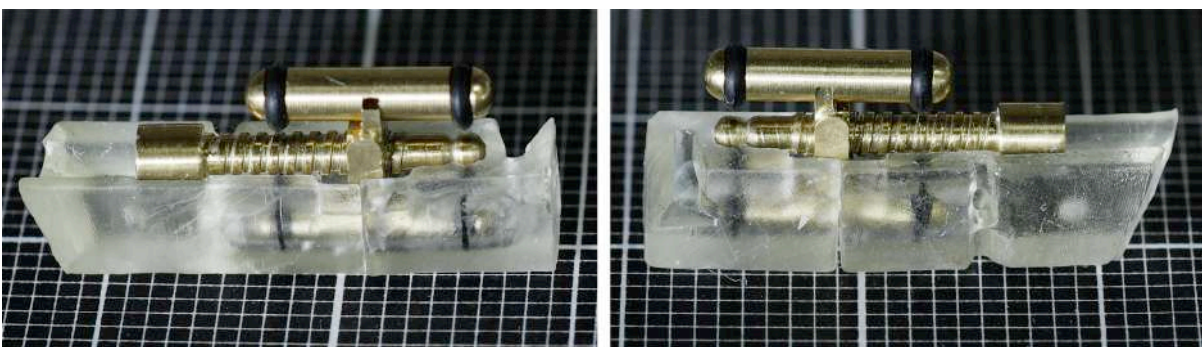
Mas o acréscimo desses processos de fabricação de geometrias complexas alongaria ainda mais o tempo de refeitura das caixas, inviabilizando o cumprimento do prazo da pesquisa. O momento dessa constatação foi após a conclusão dos trabalhos de usinagem, mas em pleno desenvolvimento de fabricação digital por impressão 3D em estereolitografia SLA-LCD.

Essa técnica tornou essa correção mais ágil, geometricamente mais diversa e reconfigurável, permitindo um ajuste fino do diâmetro dos êmbolos que antes era dependente dos diâmetros das fresas de topo esférico em fração de polegada, que foram selecionadas pela sua aproximação com o diâmetro dos *o-rings* selecionados.

Mas a impressão 3D nos materiais disponíveis trouxe fragilidade no nicho hemisférico de acomodação da ponta do parafuso de força, mitigada pela aplicação de cianoacrilato nessa cavidade, o que aparentemente pareceu reforçá-la - pelo menos para fins de demonstração do funcionamento do mecanismo.

Futuramente esse nicho será substituído por uma peça usinada em metal incrustada na peça plástica - ou ainda, todo o componente poderá ser usinado em metal ou impresso em uma resina de alta resistência mecânica - economicamente inacessível no momento.

Além das separações transversais, foram feitas também separações longitudinais, mas agora em um plano que isola os dois êmbolos, alinhado com o eixo do parafuso. A fixação dos nipes metálicos por rosqueamento nas peças plásticas seria frágil. Por isso eles também passam a serem impressos em partes separadas e colados nas caixas.



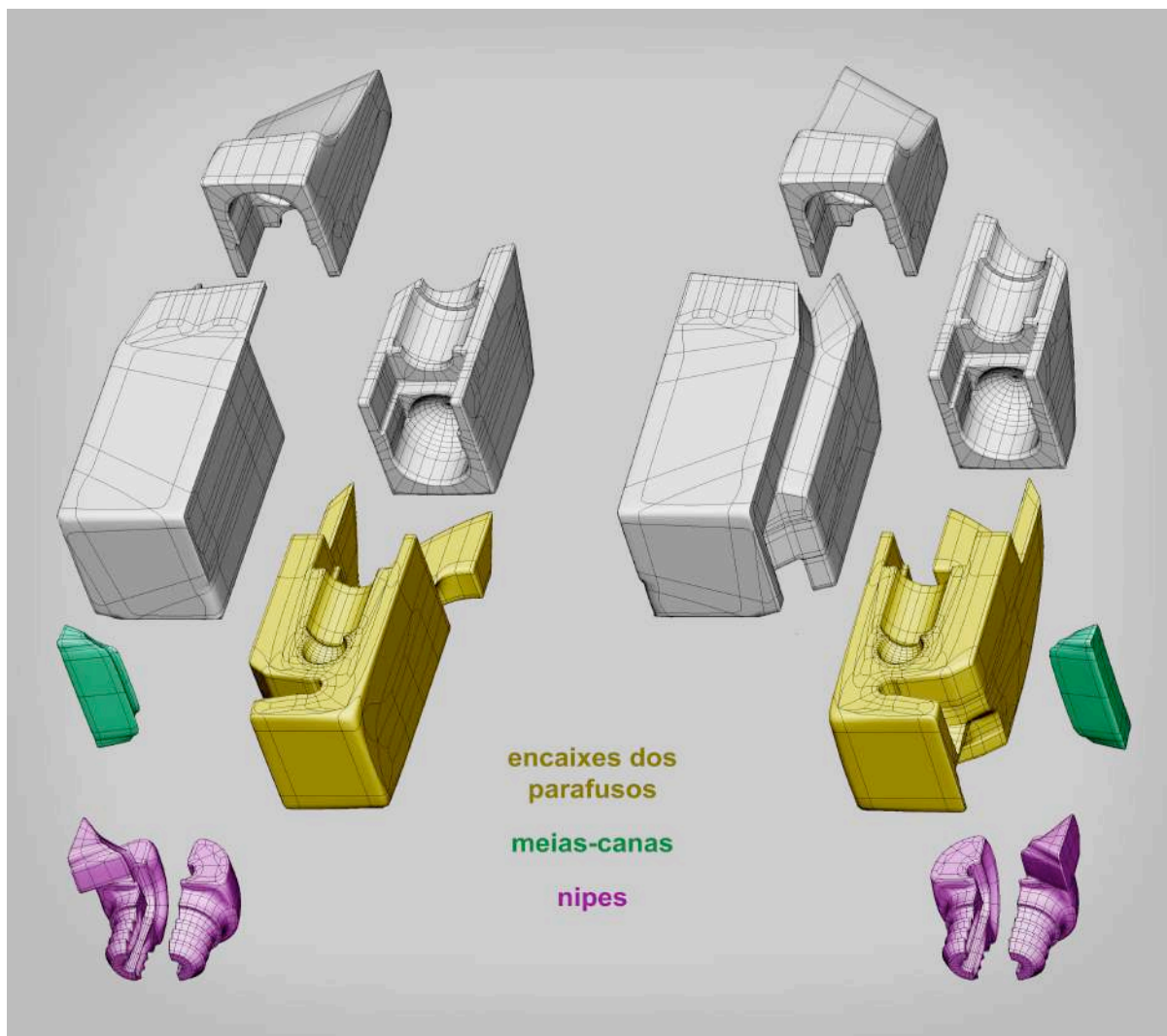


Figura 25. *Stills* de animações por fotografia em intervalômetro de dois dos componentes plásticos que envolvem os componentes metálicos que encontra-se em: <https://youtu.be/5M1-Cs1WsuI> e <https://youtu.be/i8qMLdPqayk>.

Separação transversal das câmaras que recebem os êmbolos em quatro componentes; destaque em amarelo para os componentes com os nichos de encaixe das pontas esféricas dos parafusos; um terço de cana para fechar a tubulação comunicante entre os êmbolos de ambos lados (verde); nipes em L com separação e encaixe nas caixas em meias-canas (magenta). Versão animada disponível em: <https://youtu.be/ZWu23yFdecE>

Acesso permanente aos sítios na internet mantido pelo autor. Modelagem digital, imagens digitais, macrofotografia em intervalômetro, edição e composição realizados pelo autor. Impressão 3D realizada por 3D Lopes (BH, MG) em impressora Anycubic Photon. Resina fotopolimérica fornecida por 3D Fila (BH, MG).

Esta revisão da estratégia construtiva das caixas é posterior à consolidação do mapeamento dos controles, incluindo o acréscimo das caixas de controle das pálpebras relatado em **3.6.2.2 Interação entre músculos e partes rígidas articuladas.**

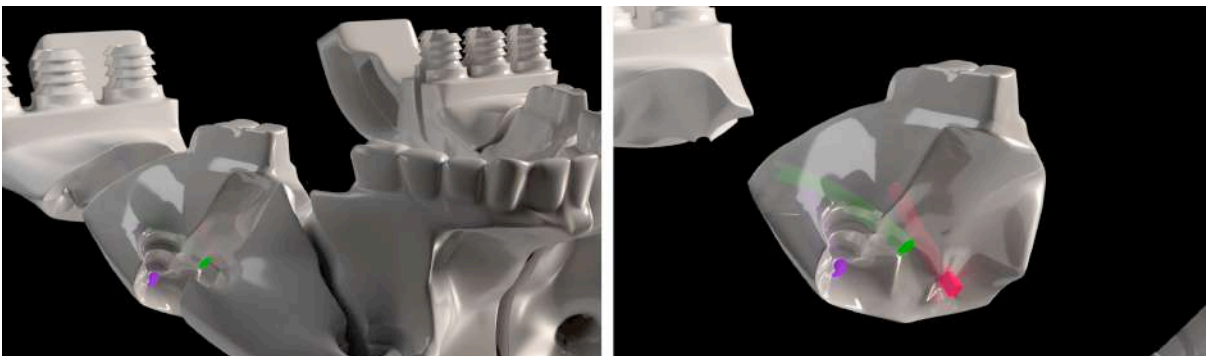
3.3. Fabricação digital aditiva por estereolitografia SLA-LCD.

Uma das mais repetidamente alegadas vantagens da impressão 3D em relação à usinagem seria uma maior flexibilidade geométrica na fabricação de elementos vazados internos em uma só peça inteiriça - mas isso só é garantido em processos à seco. Se na usinagem vazios internos mais amplos que os orifícios que lhes dão acesso são geometricamente complexos para o que ferramentas giratórias possam construir, forçando a fabricação de peças em separado, esse foi o nosso caso na impressão por estereolitografia.

O projeto previa túbulos com diâmetros de 0.8mm trespassando diversas partes do crânio que seriam divididas em partes para facilitação da montagem, com esses túbulos incorporados. Mas nessa proporção a viscosidade da resina fotopolimerizável (que endurece sob luz ultravioleta) não permite o devido escoamento desses canais no processo de limpeza.

Existem técnicas mais delicadas de limpeza do excesso de resina, como o uso de ultrassom para forçar a fluidez do excesso de resina por vibração. Mas não havia tempo disponível para o investimento em equipamento que teria que ser delegado ao fornecedor envolvido no processo de impressão. Isso nos levou à abordagem do bipartimento nas já mencionadas meias-canas e demais fracionamentos dos cilindros em diversas proporções.

Obedecendo a distribuição da tubulação na geometria da cabeça, todos os túbulos tornaram-se encontros de divisões longitudinais - com exceção de seis das 219 peças impressas que precisaram conter seções inteiriças de túbulos, mas em curta extensão e com diâmetros aumentados, permitindo o escoamento da resina na pós-impressão.



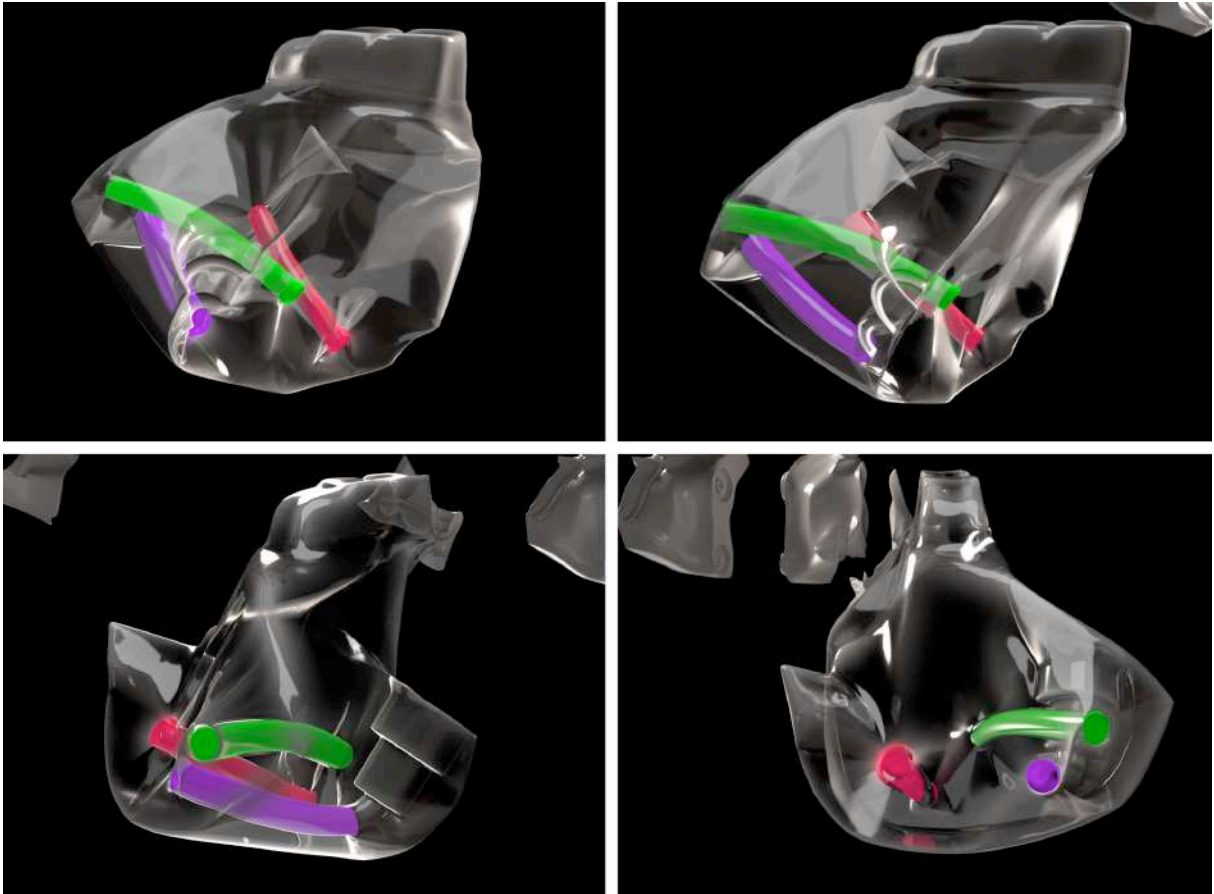


Figura 26. Detalhes de fotografamas de uma sequência em vista explodida dos componentes da mandíbula, destacando um segmento com uma secção de tubos inteiriços. As cores são para diferenciação. Note-se que os túbulos são muito próximos e o tubo verde cruza por cima do roxo, em uma geometria que faria o bipartimento em meias-canais também apresentar uma orientação helicoidal. Versão animada disponível em: <https://youtu.be/NEfVQgsz39s> e <https://youtu.be/0ngPz9TgeoQ>

Acesso permanente ao sítio na internet mantido pelo autor. Concepção e modelagem digital pelo autor. Materiais, iluminação, animação e renderização por Igor Arantes Abrahão.

Em locais em que os tubos estão muito próximos, as separações bipartidas geram paredes muito finas que produzem falhas na impressão, exigindo o aprimoramento continuado do processo.

Outro problema recorrente é a deformação de peças longas e com faces retas paralelas. O processo de impressão de peças desse tipo precisa conciliar estratégias de orientação inclinada no fatiamento para evitar ângulos negativos que impedem a construção estratificada e tensionamentos gerados pelos suportes de impressão de acordo com o tempo de exposição e cura.

Essa deformação pode comprometer o funcionamento de elementos de precisão, como as câmaras que recebem os êmbolos com os *o-rings*. Mas a razoável transparência

da resina nos permite visualizar conjugadamente com o sentido do tato o quanto a parede cilíndrica pressiona o *o-ring*, mantendo a vedação, reforçada por lubrificação em Teflon (PTFE).

Assim como na usinagem dos parafusos e suas porcas, nesse nível de protótipo o ajuste entre êmbolos usinados e câmaras impressas é semelhante: precisa ser feita aos pares. As variáveis são: a acomodação do *o-ring* na ponta do êmbolo - que é dependente da largura e profundidade do rasgo circular torneado (variando o diâmetro externo do componente de borracha); a rugosidade da superfície interna das câmaras impressas e a variação de diâmetro e circularidade dessas mesmas paredes.

Esse desafio de ajuste sub-milimétrico nos permite anteceder o termo impressão com o prefixo *micro* que já utilizávamos na fabricação subtrativa por remoção de metal. O último ajuste realizado na modelagem digital mudou o diâmetro em 0.982%.

Esse novo desenho de divisão das caixas fabricadas digitalmente flexibilizou as geometrias, permitindo que segmentos de êmbolos de caixas de controle vizinhas fossem agrupados em um só impresso, facilitando a disposição e montagem dos controles no topo da cabeça.

A presumida precisão dos volumes fabricados decorrente da origem numérica confronta as condicionantes físicas de sua materialização. A resina se contrai ao curar, exigindo que ignoremos esse acréscimo de volume - se o objetivo comportar - ou fazendo uma compensação por recuo da geometria em superfícies específicas.

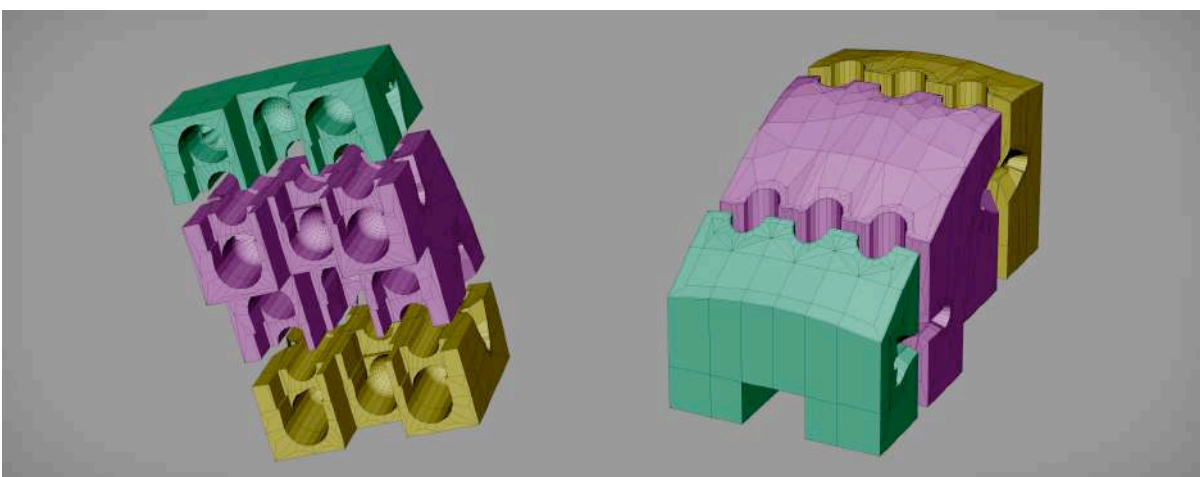


Figura 27. Agrupamentos de caixas de controle vizinhas (verde e amarelo) em peças compartilhadas (rosa). Topo curvilíneo para constituir a superfície do topo do crânio. Modelagem digital, imagens digitais e composição realizados pelo autor.

Não específica à impressão 3D - mas com consequências determinantes para os seus produtos físicos - é a possibilidade de um específico agrupamento tridimensional de peças desenvolvidos na modelagem digital não ser possível de ser montado. Ao priorizarmos a negociação do espaço e o bipartimento dos túbulos, nos deparamos com dúvidas sobre a sequência de montagem, lançando mão então do recurso da animação para estudar e apreender os encadeamentos possíveis em vista explodida (separação e espalhamento das peças).

Curiosamente adotamos a plataforma Autodesk Maya 2019²² - mais recorrente na animação digital que como ambiente de desenvolvimento de resultantes físicos. Essa escolha se deu por uma avaliação inicial de que seria necessário utilizar o método NURBS para modelar no estilo que se pretendia para a escultura da cabeça, como veremos adiante - sendo esse um recurso já utilizado nessa plataforma anteriormente.

Percebemos que nesse mesmo software ou em outros, futuramente será mais racional utilizar modelagem paramétrica para flexibilizar o reposicionamento do sistema de divisão bi-partida, facilitando a adequação do projeto para diversas outras morfologias de cabeça. Nessa forma de modelagem digital as variáveis de proporção são parâmetros editáveis.

Toda plataforma de animação digital - mesmo que voltado para resultantes visuais - apresenta recursos de simulação de deformação. Não aplicamos esse recurso como pré-visualização total do sistema em função do prazo, mas pontualmente na demonstração dinâmica dos músculos das pálpebras e órbitas e de forma estática na construção dos moldes para a obtenção dos músculos em folios cilíndricos moldados em silicone catalisado por platina.

O uso dessas duas tecnologias de fabricação digital é que nos permitiu vislumbrar um processo construtivo para as terminações pneumáticas flexíveis - os músculos propriamente ditos.

²² Embora não seja a plataforma mais adequada e usual, ela abre também a perspectiva de integração entre 3D físico e digital, muito recorrente em animações para fins comerciais e de entretenimento. Mas as necessidades de criação de geometrias complexas em processo subtrativo demandarão o emprego de aplicativos CAD-CAM, principalmente para usinar peças complexas aproveitando o quarto eixo da fresadora.

3.4. Concepção dos músculos tubulares expansíveis e contráteis.

A dinâmica de gases e fluidos pode ser aproveitada em duas formas para variações de volume, de acordo com as alterações no material dos seus contenedores: mudando a geometria das superfícies em si como em bexigas elásticas, ou apenas a sua disposição, como nas dobraduras de um fole.

Reservamo-nos a possibilidade de utilizar variação de área de superfície em desenvolvimentos futuros, mas procuramos antes esgotar nessa investigação o que a abordagem sem extensão de superfície pode propiciar.

Para que um elemento expansível e cilíndrico se alongue no sentido longitudinal sem alteração de superfície é necessário que ele tenha uma estrutura segmentada com dobras vincadas em geometrias alternadamente côncavas e convexas, constituindo um fole tubular.

Pensando em um cilindro orientado na vertical, identificamos que a estrutura geométrica mínima que o reduz a um sólido platônico é a do octaedro - quando orientado para duas de suas faces triangulares que estejam na horizontal.

Quando sobrepomos dois octaedros nessa orientação e rotacionamos o de cima no eixo vertical em 120 graus, obtemos o módulo fundamental da estrutura em fole.

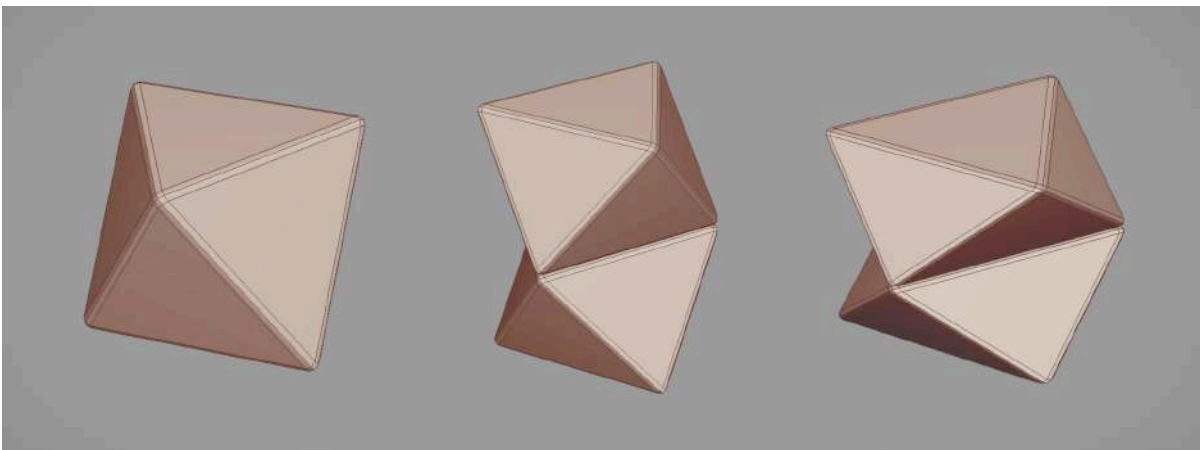


Figura 28. Origem geométrica do módulo primário em dois octaedros sobrepostos enquanto unidade mínima de fole poliédrico. Modelagem digital e composição pelo autor.

A proporção ótima entre largura e altura do módulo para o seu funcionamento é definida de acordo com a observação de uma forma semelhante obtida pela dobradura manual de um cilindro de papelão: o prosaico e ubíquo resto de um rolo de papel higiênico.

Na versão realizada, o módulo primário em repouso é mais alto que o modelo em papelão porque entendemos que a miniaturização demanda essa derivação da proporção de referência para que as paredes não fiquem finas demais. Além da própria relação entre a espessura das paredes e dimensão do módulo reduzido para 2mm de largura, no papelão os vincos são gerados pela quebra das fibras que a dobra proporciona.

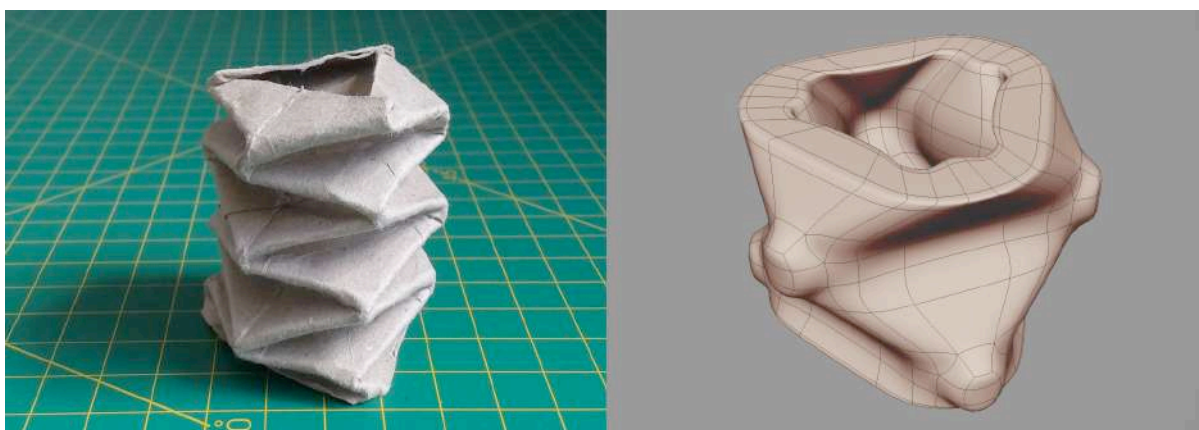


Figura 29. Ensaio por dobradura em cilindro de papelão; módulo modelado digitalmente com proporções de altura do octaedro e espessuras derivadas em função da miniaturização. Fotografia, modelagem física, modelagem digital e composição de imagens pelo autor.

Nos foles já moldados em silicone é preciso que a geometria tenha diminuições de espessura nas arestas, facilitando a dobra e desdobra nesses pontos. Possuindo a menor espessura do componente, esses vincos determinam a proporção entre as demais dimensões.

Então, o módulo primário mínimo é repetido no sentido longitudinal de acordo com a extensão do músculo que está sendo criado.

3.5. Modalidades construtivas de conexões tubulares musculares.

Ao módulo primário é adicionado outros elementos construtivos. O primeiro deles é constituído de um elemento transitivo entre a estrutura de fole e uma extremidade cilíndrica

que se encaixa na ossatura. Esta apresenta um chanfro para que seja encaixada sempre no mesmo ângulo, facilitando a montagem.

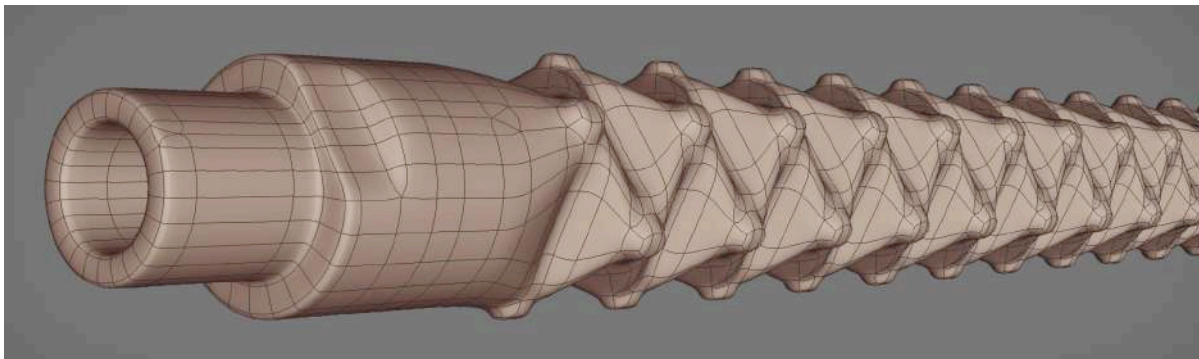


Figura 30. Transição de fole para cilindro e ponta de encaixe nos soquetes com chanfro de memória rotacional. Modelagem digital, *rendering* e composição de imagem pelo autor.

O segundo módulo é o que constitui extremidades hemisféricas para músculos que se contraem e se expandem a partir de um só ponto de encaixe na ossatura. Seu uso é conjugado com o terceiro tipo de módulo descrito adiante.

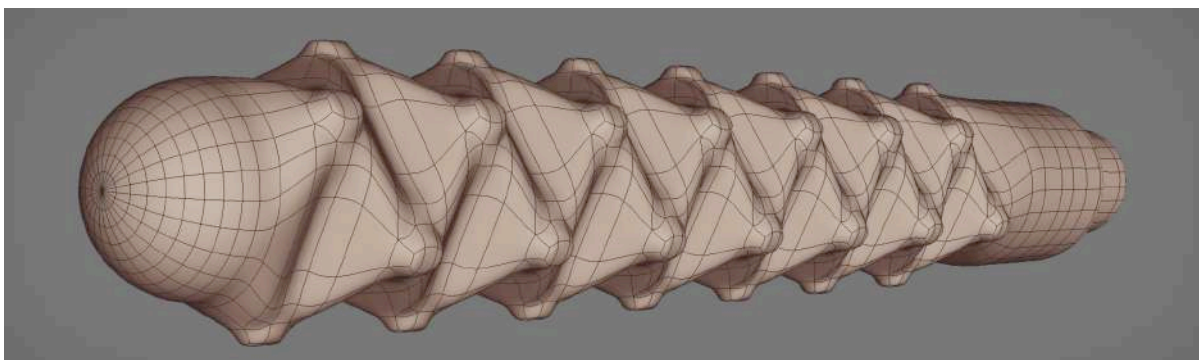


Figura 31. Transição de fole para extremidade hemisférica. Modelagem digital, *rendering* e composição de imagem pelo autor.

Quando os músculos são montados com dois ou mais pontos de encaixe, se utiliza a estratégia de expansão e contração simultâneas em um mesmo feixe acionado por caixas de controle duplas. O terceiro módulo é então uma ligação não-comunicante de ar entre duas câmaras assim unidas pelas extremidades. Ele mantém a separação entre a câmara do músculo que contrai e a câmara do músculo que se expande - e vice-versa.

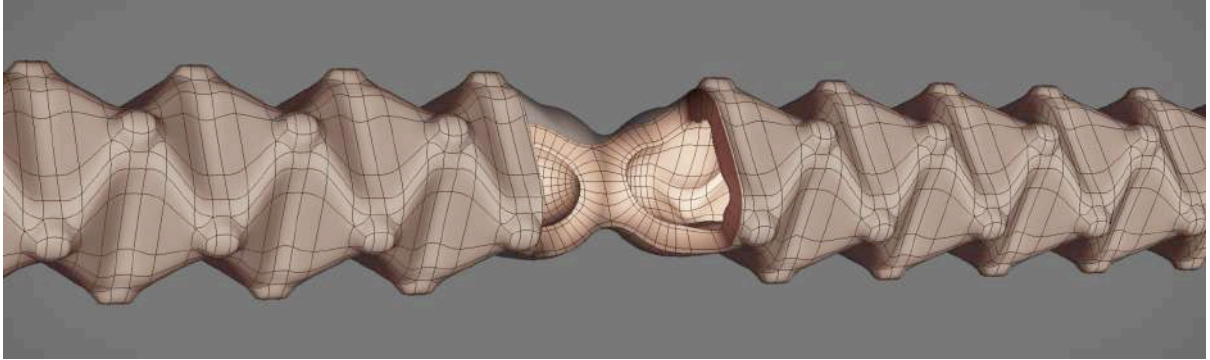


Figura 32. Ligação não-comunicante. Modelagem digital, *rendering* e composição de imagem pelo autor.

Também foram necessários módulos de divisão de ar em forma cilíndrica lisa, para quando um mesmo circuito se subdivide no seu setor flexível. O projeto muscular demandou bifurcações em forma de Y, T, trifurcações em forma de tridente ou como a letra grega *psi* (Ψ) e ligamentos em cruz com uma ou duas direções não-comunicantes.

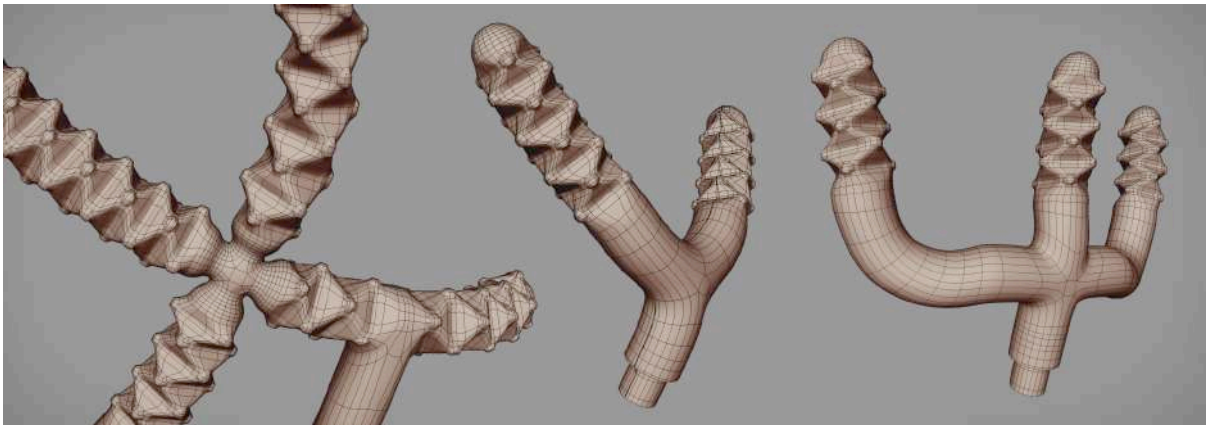


Figura 33. Módulos conectivos em forma de cruz, T, Y e psi (Ψ). Modelagem digital, *rendering* e composição de imagem pelo autor.

3.6. Desenvolvimento do arranjo muscular da face.

O conjunto muscular do nosso projeto é referenciado pelos projetos analisados no estado da arte, mas também pela observação do próprio rosto diante do espelho. O objetivo não é cumprir todo o comportamento muscular da face humana, nem mesmo atender a

todas AU (*action units*) do já mencionado FACS²³, embora optando por anotar os números das unidades de ação e a anatomia muscular humana correspondente aos vetores musculares aqui desenvolvidos²⁴.

A musculatura natural produz a sua diferenciação volumétrica por estímulo nervoso, consumindo energia suprida em glicose, não precisando ocupar espaço da ossatura para conduzir acionamentos mecânicos ou hidropneumáticos. Também não requer significativo espaço de passagem da energia para o funcionamento desses músculos, como os que precisamos adotar em sistemas artificiais como o nosso.

Atualmente são criados e aprimorados materiais com capacidade de alteração de forma por indução elétrica, o que poderia ter apresentado um novo caminho para esse âmbito de pesquisa e que merecem um escrutínio futuro, mesmo que para serem hibridizados com as soluções aqui já investigadas.

Mas antes ainda que a hidropneumática, a mecânica miniaturizada é no contexto do *stop motion* o terreno do qual não nos afastamos em sua relação com outras demandas infra-estruturais como o esqueleto corpóreo, já tratada anteriormente em pesquisa de mestrado.

E mesmo que se possa conectar sistemas de variação de geometria de maneira mais ou menos indireta com controles eletrônicos, este já seria o campo expandido da pesquisa, indo além do recorte aqui escolhido. Atemo-nos à específica relação do *stop motion* com o ato de animar, privilegiando assim os sistemas manuais indiretos e de incremento fino, independente da sua compatibilidade com recursos de atuação em tempo real e automação.

Em um dado momento verificamos, por exemplo, a viabilidade da adoção de atuadores piezelétricos. Apesar dessa tecnologia oferecer deslocamento vetorial controlado em frações microscópicas e com grande precisão de repetição ela apresenta desvantagens determinantes: o curso dos atuadores comercialmente disponíveis é muito curto; os invólucros dos atuadores são proporcionalmente muito grandes e o sistema dependeria de alimentação elétrica e controle externo ao corpo do personagem.

²³ Referencial de expressões codificadas pelo FACS está disponível em: <http://cicem.com.br/pesquisa/boomerang-facs-code-database-estudo-de-validacao-da-base-de-dados/> Acesso em 14 de Setembro de 2020.

²⁴ Uma explanação da musculatura da face se encontra em: <http://www.auladeanatomia.com/sistemamuscular/facee.htm> Acesso em 21 de Outubro de 2020.

Apêndices conectados ao personagem como estruturas animáveis de sustentação para saltos, corridas e vôos são corriqueiros na animação de bonecos em disposição ereta, principalmente com o advento da fotografia digital que facilita a sua remoção visual na pós-produção. Mas o caráter opcional de sua utilização parece afetar menos uma noção de integridade do boneco como projeção da própria integridade corpórea do animador.

Assim como Barry Purves nos disse considerar animação facial por substituição como uma interferência nessa integridade, em seus desenvolvimentos mais recentes Ron Cole abandonou o sistema de controle externo por cabos utilizado em *In The Fall of Gravity*.

Nossa pesquisa se mantém então conceitualmente alinhada com essa visão, iniciando o estudo das possibilidades trazidas pela escolha da hidropneumática ainda que em vistas bidimensionais para o arranjo espacial das caixas de controle.

Mantendo a orientação ortogonal dos acionadores por parafuso de potência em relação à superfície, procuramos definir a divisão entre o volume do cérebro e o resto da cabeça, percebendo que isso demandaria uma rotação do conjunto das caixas para acomodar um possível desenvolvimento para movimento de órbitas e pálpebras.

Planejamos o que foi possível nessas visadas ortogonais de posicionamento e dimensões das caixas de controle, elementos de transmissão e os músculos, constatando que mesmo já divididas em modalidades de acionamento simples e duplo poderiam e deveriam ter três dimensões distintas, variando apenas o seu comprimento.

Essas diferenças foram associadas à demandas de volumes de insuflamento e sugamento de ar diferenciadas de acordo com a musculatura. Por exemplo, o músculo de movimentação vertical da ponta do queixo (*mentalis*, FACS AU 17) é bem menos extenso do que o músculo de contração da maçã do rosto no sorriso (*zygomaticus major*, FACS AU 12).

Também foi observado a correspondência de um determinado conjunto muscular com controles simples ou duplos, que se dá basicamente em função da demanda por contração e expansão simultânea a partir de um ou mais pontos fixos na ossatura.

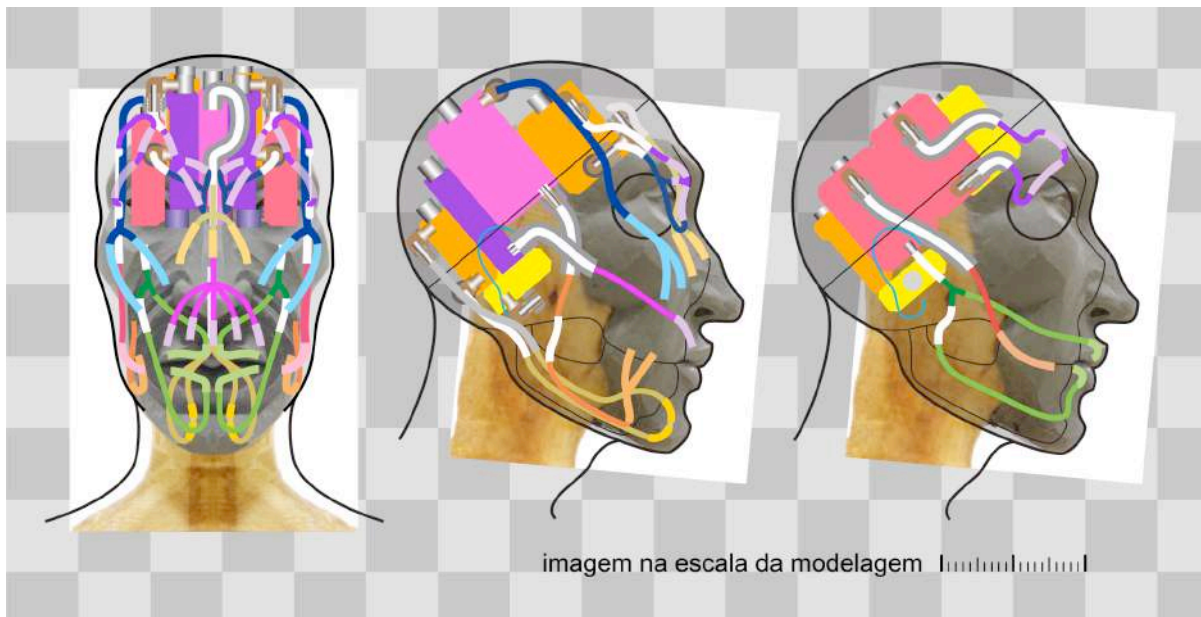


Figura 34. Estudo inicial dos circuitos pneumáticos em vistas ortogonais, na fase ainda sem previsão de mecanismo de movimento dos olhos e pálpebras e articulação da mandíbula. Imagem digital pelo autor.

3.6.1. Referencial escultórico da cabeça.

É curioso confessar que a inspiração para o estilo escultórico adotado no projeto resultou de uma reflexão sobre a própria condição de pós-graduando, quando questionamos a validade de um período de estudos no exterior através de uma bolsa sanduíche.

Em auto-reflexão da própria condição interdisciplinar da pesquisa na forma como ela traz para o estudo do cinema conhecimentos que usualmente lhe são alheios, imaginamos qual arranjo de ecossistema interdisciplinar poderia ser interessante para a pesquisa.

Então, essa conjectura também mirou o nosso próprio Programa de Pós-Graduação em Artes, nos fazendo enunciar a pergunta inversa: o que seria proveitoso para um pesquisador de stop motion estrangeiro estudando na EBA-UFMG? Mais especificamente, o que a cultura material deste contexto poderia oferecer em características estilísticas a essa cabeça ainda decapitada²⁵ de uma história? Obviamente nos ocorreu a obra de Antônio

²⁵ O apelo à eloquência do termo para descrever a separação desta face na falta de algum personagem específico quando invocamos o contexto mineiro obviamente nos faz pensar que essa poderia ser a cabeça perdida do Tiradentes - ideia que aqui anotamos para validar ou não em um outro momento.

Francisco Lisboa, o Aleijadinho - por afinidade pessoal e pelo que a linha de pesquisa em Preservação de Patrimônio poderia nos auxiliar. Algumas aulas assistidas como ouvinte na disciplina da Profa. Dra. Maria Regina Emery Quites foram inspiradoras para essa pesquisa e futuras investigações.

Começamos decalcando uma fotografia de perfil do profeta Ozéias, do notório conjunto do adro do Santuário do Bom Jesus de Matozinhos, em Congonhas do Campo. A partir desta, recortamos um perfil vazado em cartolina que orientou a construção de bases em madeira para a modelagem em escala real do resultante final em argila sintética Chauvant NSP Medium. O perfil foi sendo atualizado por fotografia da modelagem. A miniaturização possível determinada pelo tamanho dos *o-rings* e das mangueiras de silicone permitiu uma escala aproximada de 1:5.

Não foi feito nenhum desenho. A forma nasceu de um exercício direto em modelagem realizado em partes, começando pelos olhos, depois o nariz, a fronte, a boca e seu entorno e o queixo, observando-se os limites de volume referendados pelos perfis vazados. A primeira tentativa foi descartada por insatisfação com seu aspecto e por não ter previsto o volume dos globos oculares. Para a segunda versão adotamos esferas metálicas de 9 mm de diâmetro.

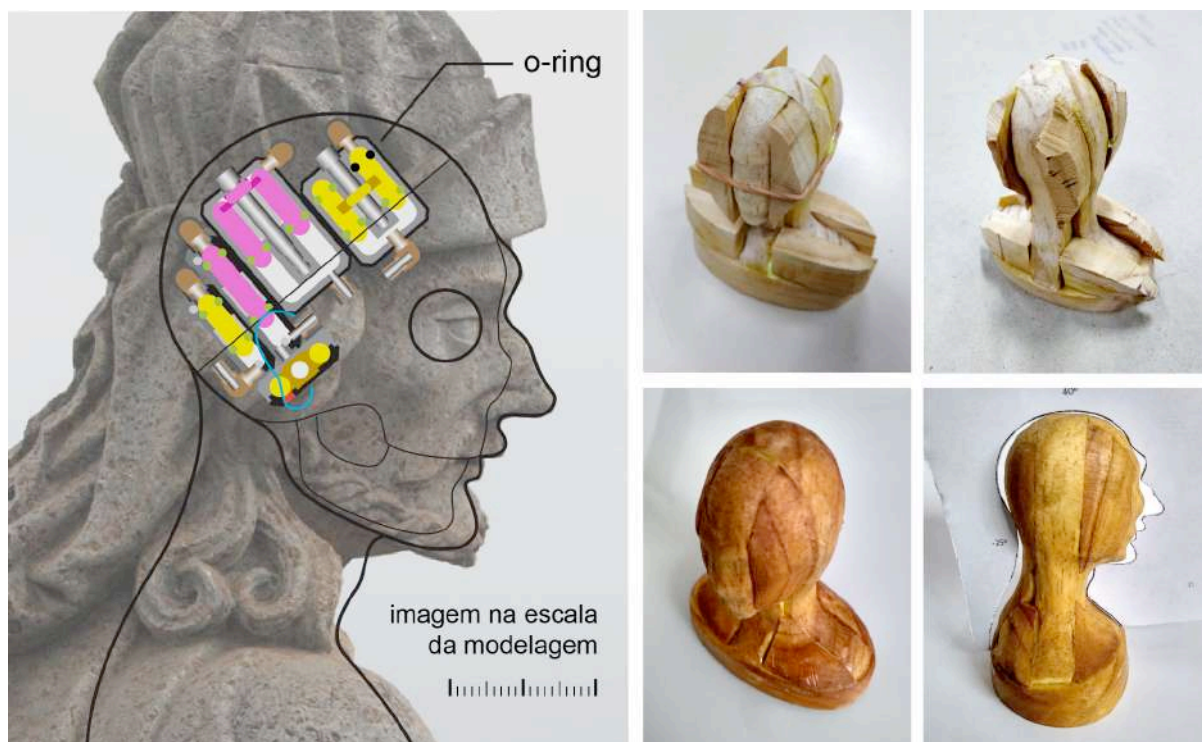


Figura 35. Perfil inicial referenciado no profeta Ozéias do Aleijadinho. Fotografia de Marco Nunes (2009). Bases em retalhos de eucalipto envernizado. Escultura e fotografia pelo autor.

Procuramos estabelecer uma interpretação contemporânea, utilizando arestas vivas no encontro de superfícies convexas para literalmente salientar as características recorrentes na escultura do Aleijadinho: o triângulo invertido acima do nariz entre as sobrancelhas; os olhos amendoados e inclinados; os lábios fendidos; o queixo pontudo e dividido; o nariz pontudo e com a “ponte” levemente protuberante no meio.

Tomamos a liberdade de compensar a boca recuada com lábios mais grossos, conferindo um aspecto africano que torna a escultura mais mestiça e portanto, brasileira. O elemento central saliente e convexo (“almofadado”), recorrente nas portas coloniais instaladas em locais mais solenes, inspirou os retângulos destacados presentes nas maçãs do rosto.





Figura 36. Progressão da modelagem física na segunda versão. Versão animada e fotografada em giro por intervalômetro em macrofotografia da etapa física disponível em: https://youtu.be/ohDxp3OiG_s

Acesso permanente ao sítio na internet mantido pelo autor. Concepção, modelagem e fotografia pelo autor. Modelagem final da superfície em versão digital por Igor Arantes Abrahão.

A cabeça não foi inteiramente acabada em argila sintética porque necessitávamos da sua transposição para o meio digital. De lá ela retornaria sobre a forma de moldes impressos tridimensionalmente para formar a superfície da pele sobre os elementos internos, como detalhamos adiante no final de: **3.7 Estratégias de moldagem.**

Enquanto foi desenvolvida a modelagem da ossatura e da musculatura, foi modelada digitalmente a superfície externa pela ajuda do profissional Igor Arantes Abrahão, sob nossa orientação. Esse processo está documentado em: **8.1 Comentários visuais de orientação de modelagem**, páginas 131 a 136.

A esse profissional foi dada a liberdade de conceber a estilização das orelhas, do pescoço, dos ombros e da base da escultura, sob o conceito de RTR - "Rococó Tardio Revisitado" que desenvolvemos para o rosto.

3.6.2 Músculos pneumáticos.

O conjunto de 15 músculos pneumáticos e um atuador hidráulico foi desenvolvido em vasta modelagem tridimensional digital após o planejamento para a previsão de posicionamento através das vistas ortogonais anteriormente mencionadas. Foram desenhadas bidimensionalmente em Adobe Illustrator CC 2018. Os músculos foram desenvolvidos indiretamente, pela construção dos seus moldes, entre 12 de Dezembro de 2019 e 03 de Agosto de 2020 detalhados adiante em: **3.7.1 Moldes dos músculos.**

O Autodesk Maya conta o número de vezes em que soldamos faces de polígonos (*PolyAppend*). Somando a modelagem dos músculos com a da ossatura e a refação das caixas de controle em divisão transversal, em 18 de Julho essa operação somava 12.867 ocorrências.

Não esperávamos desenvolver no prazo da pesquisa os mecanismos pneumáticos para movimentação de órbitas e pálpebras e o mecanismo hidráulico de abertura e fechamento da mandíbula, mas o desenvolvimento dos demais músculos nos forneceu fundamentos que poderiam ser aplicados a essas demandas.

3.6.2.1 Interação músculo-pele.

Mencionamos anteriormente uma taxonomia construtiva das conexões tubulares musculares, mas se essa classificação agora pode oferecer um conjunto modular de funcionamentos, estes derivam das necessidades apresentadas pelos músculos propostos.

Retomando as modalidades conectivas, apresentamos inicialmente o grupo de músculos que operam por duas câmaras não-comunicantes ligadas entre si em um único eixo linear que se conecta com a ossatura em ambos extremos, alternando compressão e expansão. São eles os quatro músculos de movimentação das sobrelhas e o par com movimentos simultâneos na ponta do queixo, controlados por atuadores duplos de caixas curtas e médias.

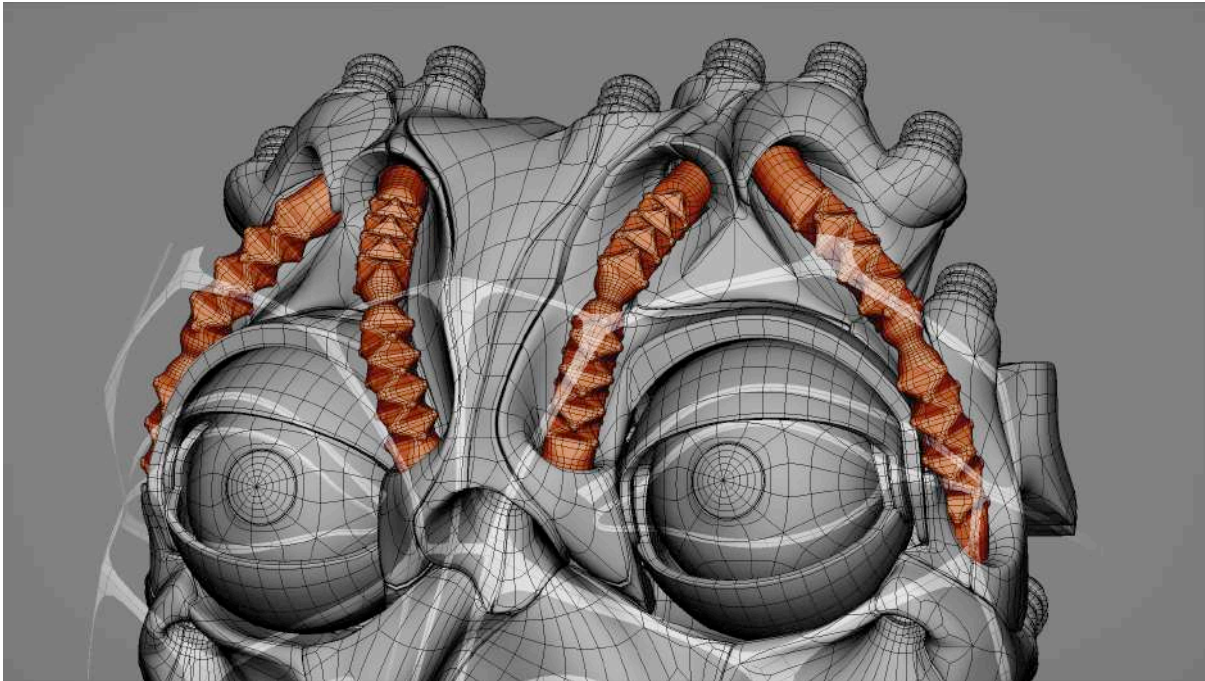


Figura 37. Músculos interiores e exteriores de movimentação das sobrancelhas. Os externos são controlados por caixas médias duplas e os internos por caixas curtas duplas. Correspondem respectivamente aos músculos *procerus* e *occipito-frontalis* e aos FACS AU 01 e 02. Concepção, modelagem e composição de imagens pelo autor.

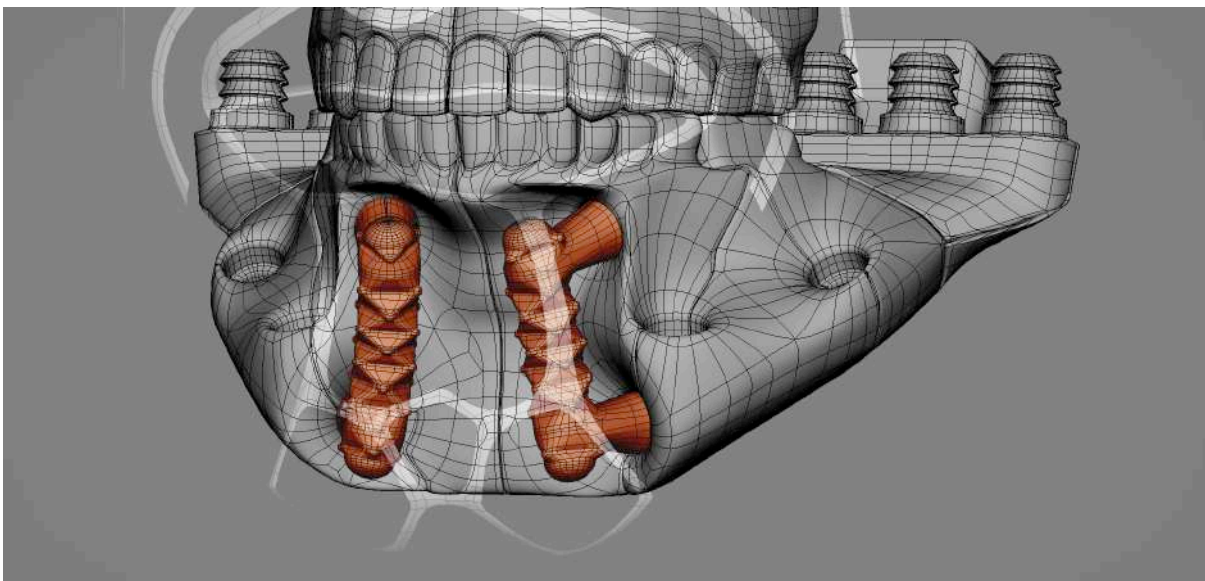


Figura 38. Músculos de movimentação da ponta do queixo, controlado por um único atuador duplo curto. Correspondem a uma combinação dos músculos *mentalis* e *depressor labii inferioris*, agrupando os FACS AU 16 e 17. Concepção, modelagem e composição de imagens pelo autor.

Seguindo pelo meio do rosto, temos um músculo que parte do ponto mais retraído na parte superior do nariz, quase na linha dos olhos. Ele se bifurca dos dois lados em forma de Y invertido, apresentando terminações soltas em seus extremos que penetram a carne, permitindo o franzir do nariz, controlado por uma caixa simples curta.

A conexão desse músculo representou um desafio na subdivisão da ossatura pela sua proximidade com as conexões inferiores de ambos os músculos interiores das sobrancelhas.

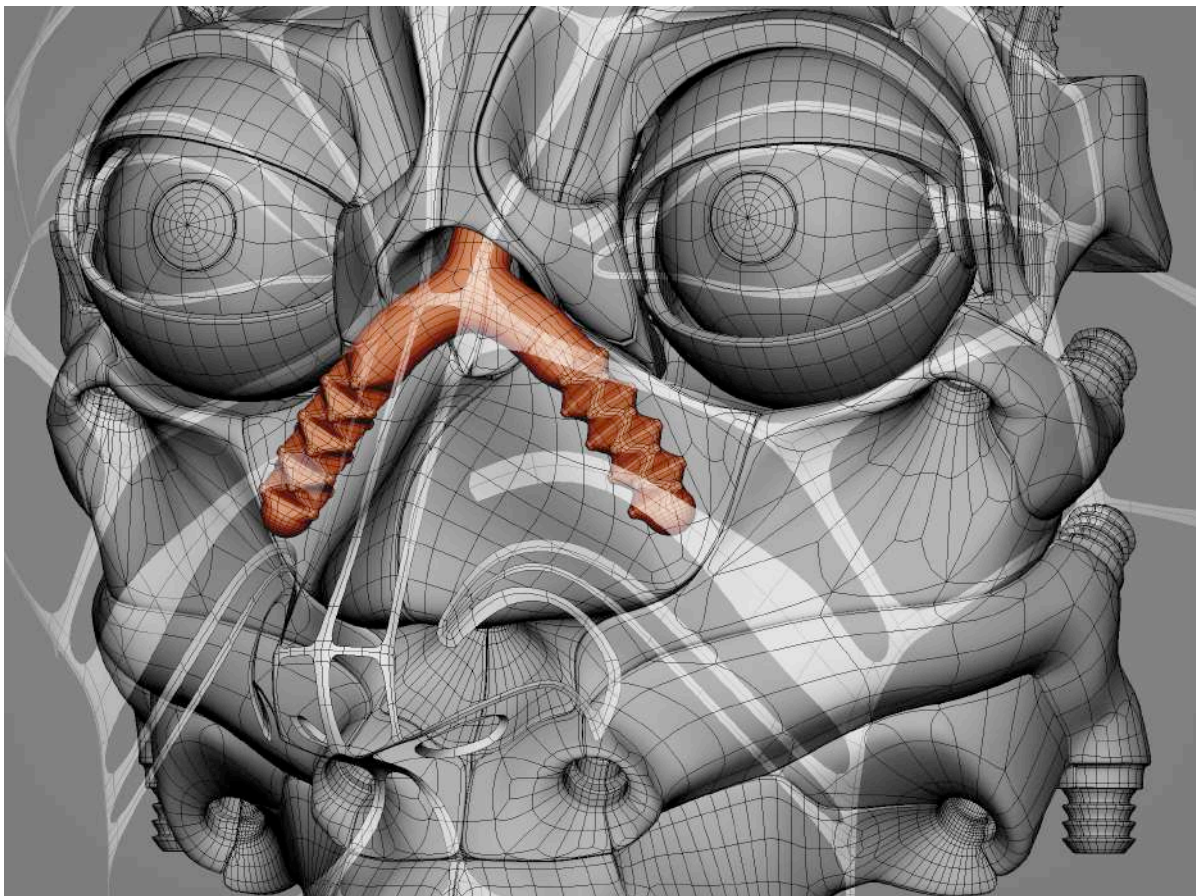


Figura 39. Músculos em bifurcação do franzido do nariz - *alaeque nasi*. Concepção, modelagem e composição de imagens pelo autor.

Em um ponto mais abaixo do meio do rosto se conecta o músculo de movimentação vertical do lábio superior utilizando uma trifurcação (forma de Ψ invertido), dividindo o fluxo em um fole ao meio e mais dois nas laterais. É controlado por uma caixa média dupla.

Completando as aplicações das conexões de divisão da tubulação, duas estruturas bifurcadas em forma de T invertido com pontas soltas dentro da carne compõem os músculos de movimentação horizontal do lábio superior em ambos os lados da face, com controles independentes.

Seus foles se arranjam um pouco abaixo das três pontas soltas do músculo de movimentação vertical do mesmo lábio. Mas não tem ligação não-comunicante com eles

Intrínseca à moldagem, em função da complexidade de interligar esses componentes em molde - como veremos em **3.7 Estratégias de moldagem**.

Os tubos lisos de fornecimento de ar para os músculos horizontais tem que passar por trás dos músculos já com as dobras sanfonadas das três extremidades dos músculos verticais. Apenas nos testes de movimento saberemos como as partes em fole do conjunto vertical são afetadas pela vizinhança com as partes lisas de alimentação da musculatura horizontal e vice-versa.

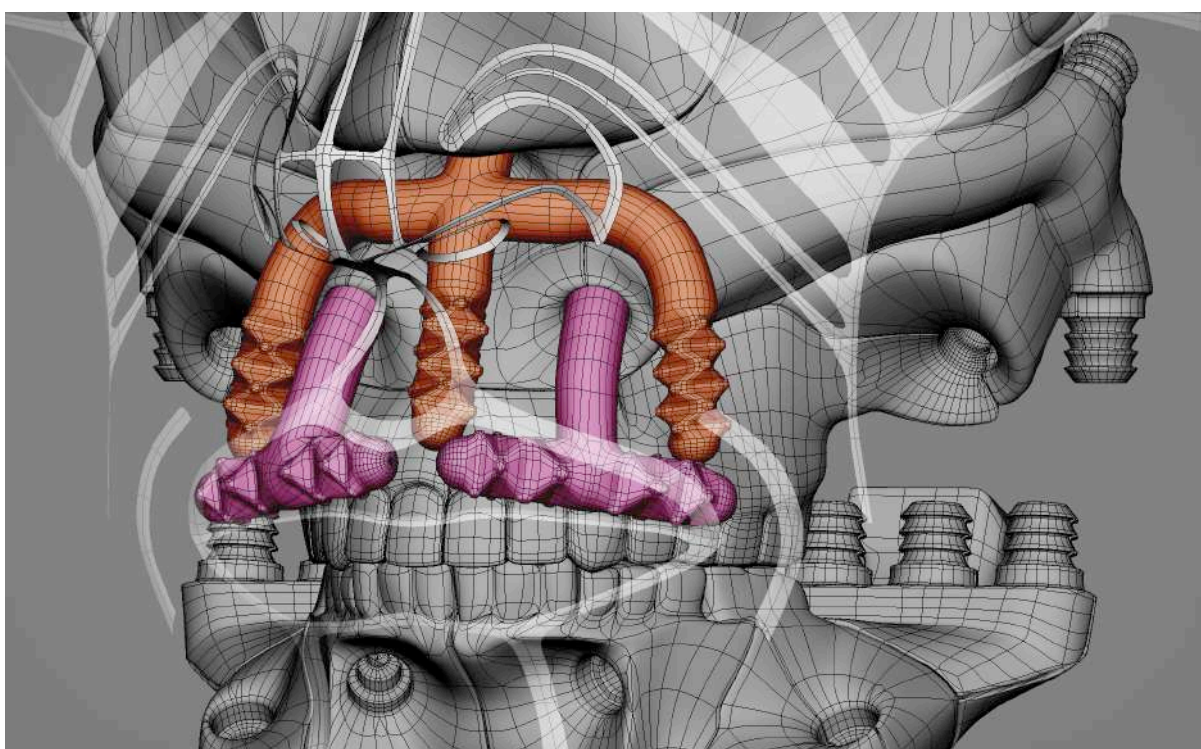


Figura 40. Músculos verticais do lábio superior, acionando os *levator labii superioris* FACS AU 10. Músculo horizontal do lábio superior, acionando o *orbicularis oris*. Concepção, modelagem e composição de imagens pelo autor.

Os músculos verticais e horizontais do lábio superior não estão unidos na moldagem, mas podem ser colados na montagem na face, integrando o músculo que circula a boca - *orbicularis oris*, também composto pelo par de músculos horizontais do lábio inferior que também tem movimentação independente para cada lado.

Conectados por ligação não-comunicante no meio da boca, ambos músculos horizontais dos lábios inferiores são acionados pelo mesmo par de controles duplos médios da horizontalidade que controlam horizontalmente dos cantos da boca à parte inferior das bochechas, correspondendo ao *risorius* (AU20).

Assim, coordenadamente ou em só um dos lados da face, esse conjunto contempla a contração e a extensão horizontal total ou parcial da boca, em um movimento participante de diversas expressões.

Quando em movimento coordenado dos atuadores a boca se contrai horizontalmente, o que ocorre não é exatamente a formação do bico (ou *pucker*, AU 18), devido a ausência de músculos que projetem os lábios para a frente, que seriam os *incisivii labii superioris e inferioris*.

Mas futuros testes demonstrarão se o material contraído já estufa a boca para frente, e também o quanto a conjugação da extensão do músculo vertical do lábio superior com o erguimento do músculo vertical do queixo podem gerar uma aproximação dessa postura.

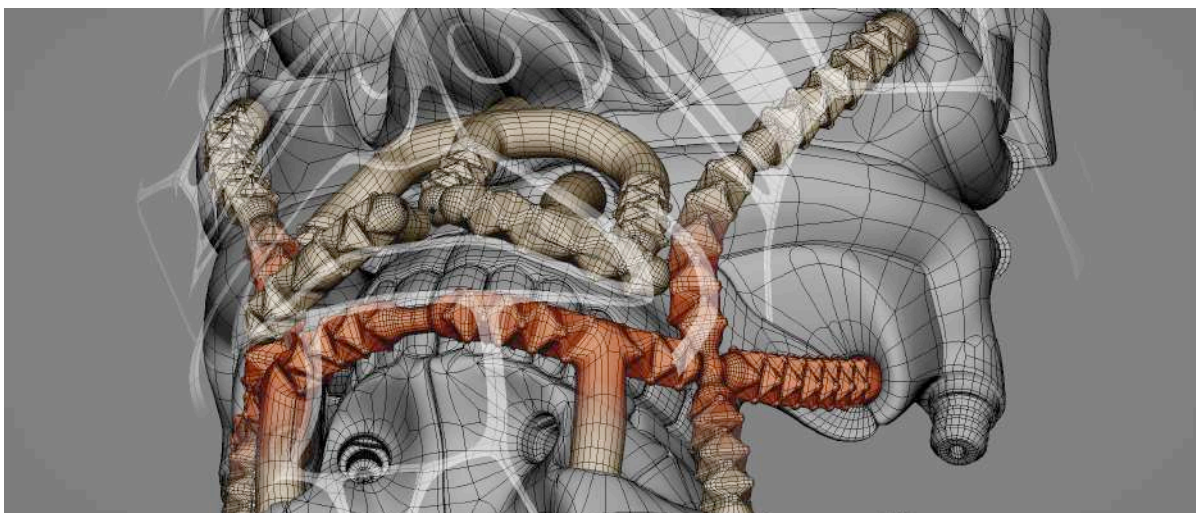


Figura 41. Músculos horizontais do lábio inferior (*circularis oris*) em biotensegridade com o *risorius*. Concepção, modelagem, diagrama e composição de imagens pelo autor.

O *risorius* presente nesse conjunto propicia o AU 20 (esticamento horizontal dos lábios). Se ele fosse associado à inclinação diagonal descendente decorrente da participação do *platysma*, obteríamos a *action unit* da expressão de medo. O próximo músculo que tem uma posição intermediária entre a que seria a do *platysma* é o *depressor anguli oris*.

No entanto, a intenção na concepção do *depressor anguli oris* era criar a expressão de tristeza a exemplo do sistema de Jim Randall. Porém, o planejamento de sua moldagem já previa a ligação não-comunicante com o músculo horizontal do lábio inferior e o *risorius*,

facilitando a expressão de medo por combinação, além da expressão de tristeza em uso isolado.

O *depressor anguli oris* se estende verticalmente para cima desse entroncamento, em ligação não comunicante com o músculo que contrai diagonalmente as bochechas, o *zygomaticus major*, integrando assim AU 15 (tristeza) e AU 12 (sorriso). Isso completa um subsistema em biotensegriedade com quatro vetores de cada lado da face interligados diretamente e em interação com os músculos do lábio superior e do queixo.

Com algum auxílio dos demais músculos esse subsistema em biotensegriedade propicia então: uma aproximação de AU 18 (pucker) e 20 (medo), e a execução de AU 15 (tristeza) e AU 12 (sorriso).

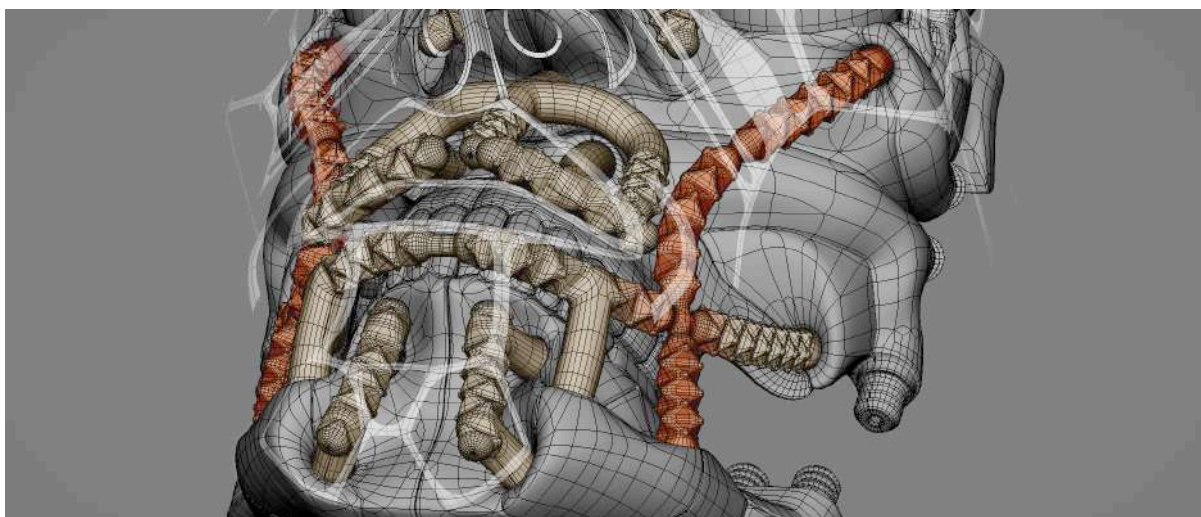


Figura 42. Músculos verticais do sorriso e da tristeza - *depressor anguli oris* e *zygomaticus major* ligados em biotensegriedade com os músculos de movimentação horizontal dos lábios. Concepção, modelagem, diagrama e composição de imagens pelo autor.

O estudo do FACS e antes deles os trabalhos de Duchenne [2008] nos ensinam que nossa expressão apresenta sorriso voluntário ou social, também chamado de PAN-AM, em referência ao sorriso de cortesia padronizado na atitude profissional do serviço de bordo da hoje extinta companhia aérea. Ele seria produzido apenas com a contração para cima do *zygomaticus major*, que no nosso método pode ser reforçado pela contração do *risorius*. Essa contração é coordenada com a extensão horizontal dos lábios (*orbiculari oris*) no sistema proposto.

Já o sorriso involuntário e portanto verdadeiro segundo este marco teórico, incluiria a contração dos cantos dos olhos, que é a parte externa dos *orbiculari ori*, que Ron Cole

sabidamente incorporou nos personagens do seu curta-metragem autoral, denominando-os “pés de galinha” em função dos vincos produzidos pela sua contração.

Em nossa investigação da pneumática este é um espaço entre o músculo externo da sobrancelha e o contrator das maçãs do rosto, que tornou-se exíguo para a inserção da tubulação e posicionamento de mais esse músculo. Esperamos então, que a combinação desses dois movimentos em uma contração convergente para esses pontos em ambos os lados da face propicie essa função.

Mas se nossa cabeça não for capaz de sorrir sinceramente, entendemos que uma futura complexificação pode ser obtida em outras escalas maiores que 1:5, que possam acomodar a inserção de novos músculos ou a hibridação com as técnicas já estudadas de cabos e alavancas e ainda outras soluções por se conhecer.

Por falar em escala, faltou mencionar anteriormente que todo esse esforço de miniaturização se dá em função de aspectos práticos e econômicos da cadeia de produção no stop motion que preveja a criação total da cenografia. Quanto maiores forem as figuras, também serão os cenários, o consumo de materiais, a demanda por iluminação, e a área dos estúdios, encarecendo a operação - seja em seus contextos educativos ou profissionais.

Mas entendemos também que em escalas maiores talvez possamos multiplicar o número de componentes ainda nessas mesmas dimensões miniaturizadas. Aproveitaríamos então o maior espaço disponível para justapor mais foles cilíndricos, por exemplo, como os necessários para garantir a autenticidade do sorriso por meio dos agora ausentes *orbiculari ori*.

3.6.2.2 Interação entre músculos e partes rígidas articuladas.

Com a ocupação do volume correspondente à caixa craniana com as caixas de controle hidropneumático, restou pouco espaço para implantação de atuadores exclusivamente mecânicos. Esses seriam usuais no caso de movimentações de curso mais linear, previsível - com menos interações com outros músculos como os que vimos anteriormente.

Seriam esses subsistemas de controles específicos para os movimentos de abertura e fechamento das pálpebras e de movimentação dos globos oculares. Usualmente esses

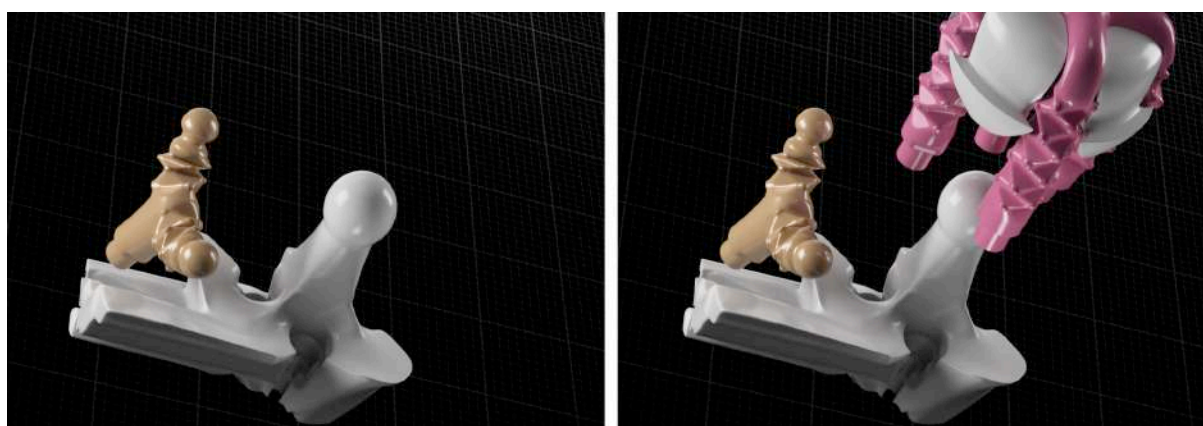
movimentos são resolvidos com mecanismos preparados para atuação direta, por substituição ou mesmo por ilusão de movimento com objetos estáticos, como os globos oculares imóveis do Barnabé de Jim Randall - sobre os quais se são reposicionados pupilas deslizantes para gerar a ilusão de rotação do globos.

No entanto, nos indagamos como dentre os 14 controladores previstos inicialmente poderíamos utilizar um da modalidade simples de maior comprimento para movimentar hidráulicamente a mandíbula, outros dois do modelo mais curto com ação dupla pneumática para as órbitas e acrescentar outras duas caixas de controle curtas do tipo simples para acionar as pálpebras por pneumática.

Os relativos ao conjunto dos olhos puderam ser resolvidos com duas formas distintas de fazer os foles tubulares atuarem movimentando partes rígidas, como a estrutura em tesoura das pálpebras e o dispositivo rotacional dos globos oculares.

Para os globos concebemos um subsistema no qual dois pares paralelos de músculos distribuídos em cruz fixam cada globo apoiando-o em um pino esférico, sobre o qual ele pivota de acordo com o movimento atuado por um ou pelos dois pares de músculos.

Um par controla o movimento na vertical, utilizando um controlador duplo para estender um dos lados enquanto o outro se contrai. O circuito dos túbulos liga os dois lados direitos com uma mesma conexão do controle, assim como os outros dois lados esquerdos são acionados simultaneamente pelo outro lado de mesma caixa. Esta controla simultaneamente um dos planos cartesianos no movimento, não permitindo animar movimentos de estrabismo divergente ou convergente. Naturalmente, o mesmo se aplica ao movimento na horizontal, permitindo a combinação dos dois controles para movimentos em diagonal e em arcos.



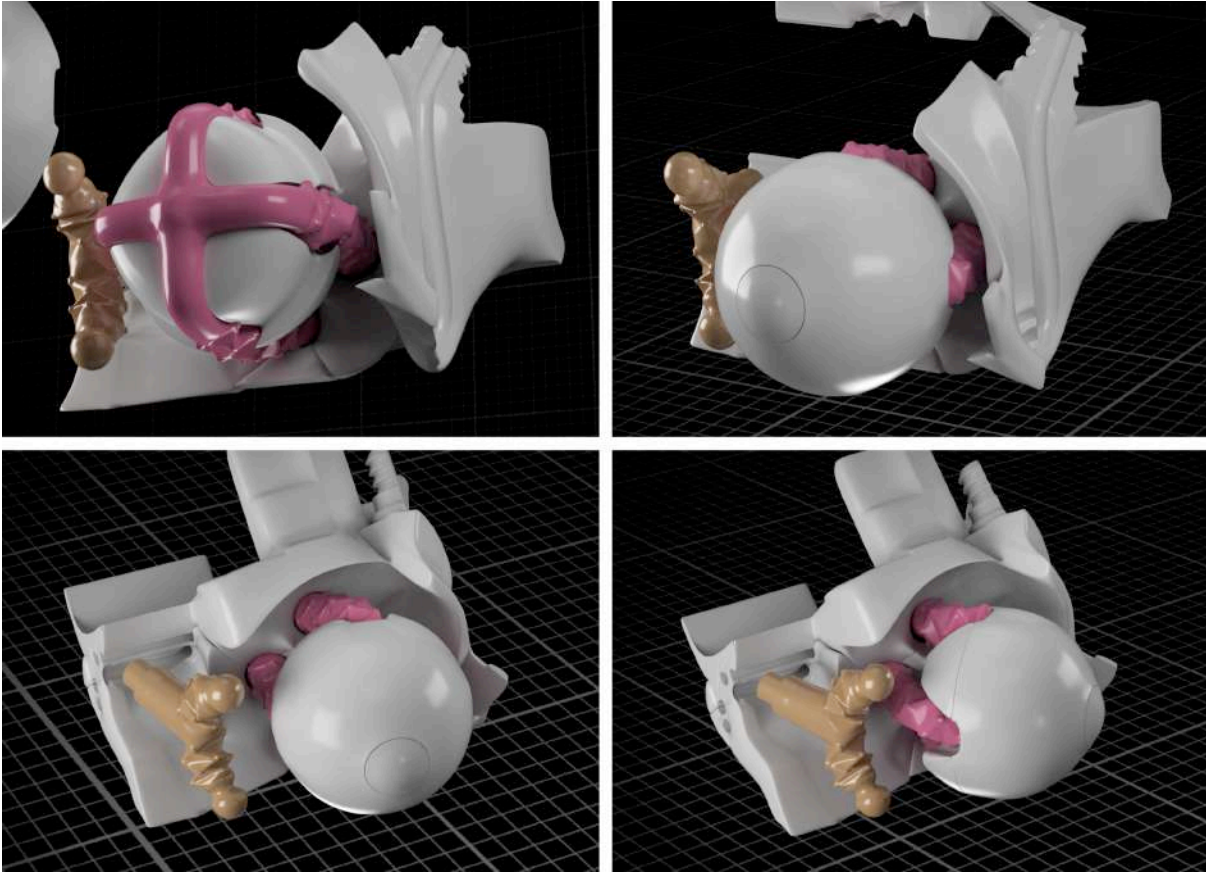
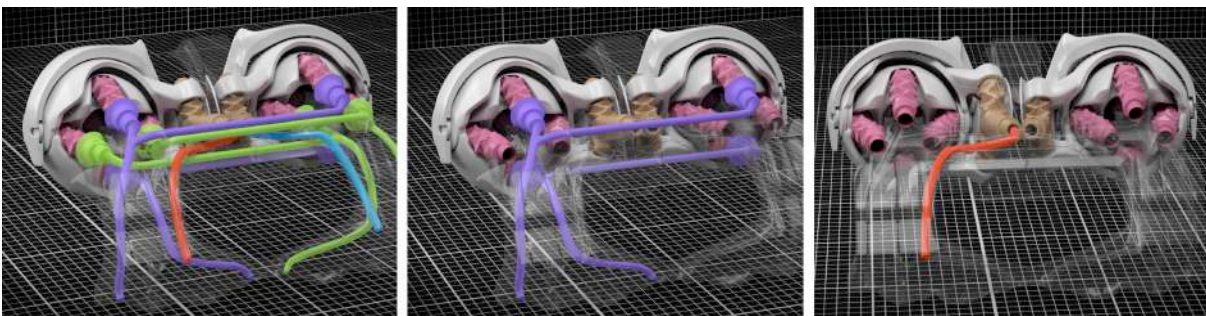


Figura 43. Fotogramas de uma animação demonstrando a montagem do globo ocular observando o uso de divisão bipartida dos soquetes dos músculos a serem construídos em silicone e demonstração do movimento orbital. Versão animada disponível em: https://youtu.be/RCAH_HltxhE

Acesso permanente ao sítio na internet mantido pelo autor. Concepção, modelagem e composição pelo autor. Materiais, iluminação, animação e renderização por Igor Arantes Abrahão.

As conexões pneumáticas das caixas menores duplas acionadas por orifícios nos ouvidos precisavam caber no disputado espaço da base do crânio. Para isso foi preciso eliminar o volume dos nipes metálicos em L e tubos de silicone. Eles foram substituídos por ligações diretas rígidas, através de um conjunto de meias-canas impressas em estereolitografia, ligando diretamente os controles primários com os soquetes dos músculos atrás dos globos oculares.



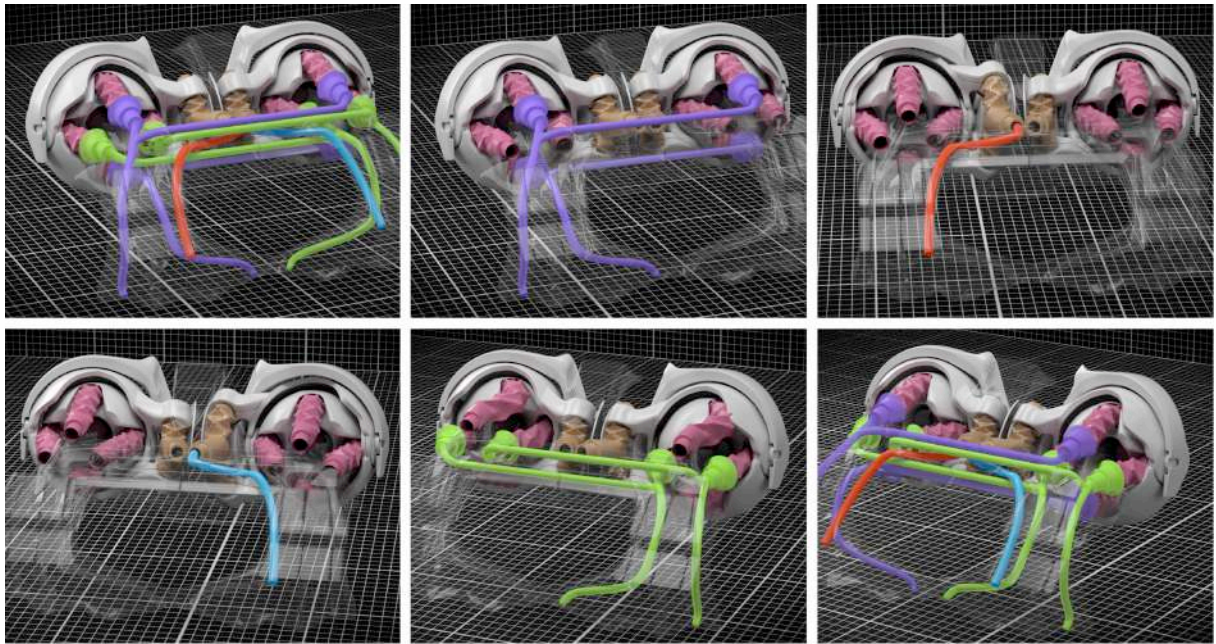


Figura 44. Fotogramas de uma animação demonstrando conjuntamente a distribuição dos túbulos de movimentação de ambos globos oculares (roxo para a vertical, e verde para horizontal) e pálpebras (vermelho para a esquerda e azul para a direita). Versão animada disponível em: <https://youtu.be/SogS4MaUWAw>

Acesso permanente ao sítio na internet mantido pelo autor. Concepção, modelagem e composição pelo autor. Materiais, iluminação, animação e renderização por Igor Arantes Abrahão.

Em função dessa condição, as caixas foram substituídas por uma versão impressa do malfadado design com a separação longitudinal, projetadas antes da detecção de sua falha. Porém, são vedadas por meio de colagem com cianoacrilato que obtemos na apresentação pastosa, evitando-se assim os problemas de capilaridade do adesivo anaeróbico. A resistência desta soldagem química da resina fotopolimerizável com este específico cianoacrilato (Loctite Power Flex Gel) se mostrou suficiente em um teste preliminar.

Se nos globos oculares os pares de músculos organizados em cruz tensionam-se mutuamente utilizando atuadores duplos, o espaço restante no crânio para incluir o subsistema de pálpebras era suficiente apenas para um controlador simples curto de cada lado da cabeça. Isso exigiu que os movimentos alternados de insuflar e sugar ar executassem alternadamente os movimentos de fechamento e abertura das pálpebras, sendo então suficientes para tal.

A elasticidade do fole tubular poderia gerar um desvio lateral durante a sua extensão, impedindo-o de impulsionar o esperado fechamento da pálpebra. A solução foi confinar os músculos em um tubo semi-circular, com uma abertura acompanhando o círculo

que fosse suficientemente estreita para que os músculos não escapassem. Essa abertura permite o movimento de um braço com um aro na extremidade que envolvesse a ponta do músculo, atando-o em uma das pernas da tesoura rígida das pálpebras. O mesmo subsistema é simetrizado para a outra pálpebra envolvente do mesmo globo, bem como o outro par de pálpebras é simétrico desse.

Portanto, esse é mais um par de músculos que aplicou o módulo de bifurcação tubular mencionado em **3.5 Modalidades construtivas de conexões tubulares musculares**, aqui dividindo-se em dois braços sanfonados curvos.

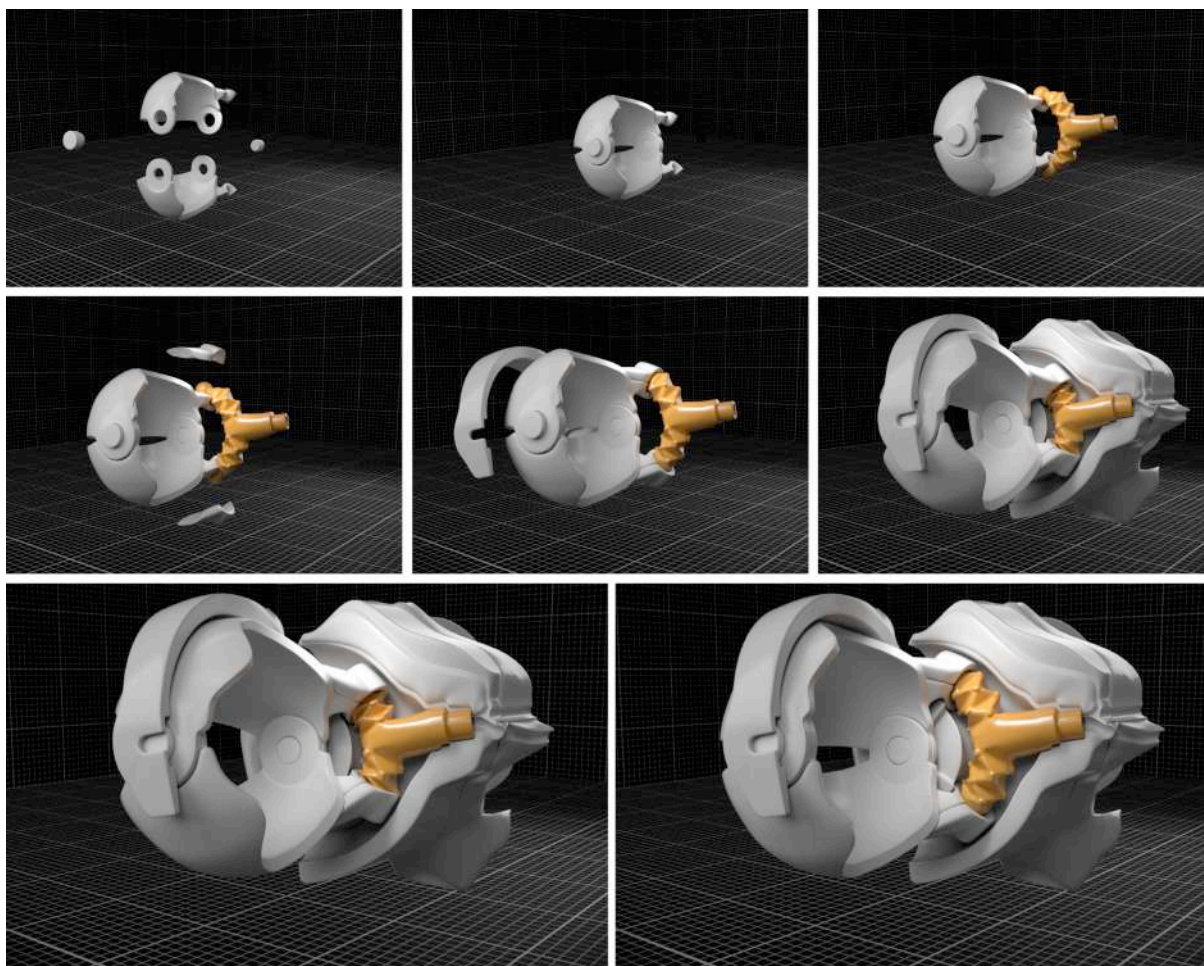


Figura 45. Fotogramas de uma animação demonstrando a montagem e o funcionamento do mecanismo das pálpebras. Para fins de clareza na demonstração, os materiais não apresentam exatamente o mesmo aspecto dos componentes executados. Versão animada disponível em: <https://youtu.be/e-tG62LloPo>

Acesso permanente ao sítio na internet mantido pelo autor. Concepção e modelagem pelo autor. Materiais, iluminação, animação e renderização por Igor Arantes Abrahão.

3.6.3 Atuador hidráulico.

Alertados pelo que Peter Saunders preconiza em relação ao movimento de mandíbula precisar resistir ao tensionamento da pele de silicone, e cientes de que deveríamos proporcionar a sustentação da posição da mandíbula em interação com o conjunto muscular ao redor da boca - ainda mais complexo que o dele e o de Jim Randall - optamos pela modalidade hidráulica.

Como foi o último subsistema que decidimos incluir, tivemos que aproveitar o pouco espaço encurtando vetores ao convertê-los em semi-círculos e também em óbvia observância do tipo de movimento pretendido. Nossa primeira opção de materiais seria por manter o uso de metais pelo menos nos êmbolos. Mas a usinagem dos próprios semi-círculos é que exigiria programação CAD-CAM para esculpir a sua geometria híbrida de sessão de cilindro curvado integrada com uma parte transversal em forma de T, o que inclusive é possível utilizando-se o quarto eixo já disponível para a fresadora, utilizado nos parafusos de potência. Faltou tempo e recursos para a estudo ou terceirização desta habilidade estratégica para o futuro do projeto.

Justamente a conexão da haste central do T com a parte semicircular é que apresenta a maior fragilidade. Para distribuir o esforço, dispomos em 180 graus as duas secções de círculo - mesmo acarretando a dobra do volume hidráulico necessário para a atuação, uma vez que o curso desse atuador secundário circular é mais curto que o atuador primário reto.

Mas mesmo com essas limitações circunstanciais no processo construtivo, os conjuntos hidropneumáticos de êmbolos semicirculares produzindo movimentos giratórios seriam muito oportunos tanto na função primária²⁶ quanto na secundária, como o que aqui ensaiamos em plástico por meio de impressão 3D.

Assim como nas caixas de controle dos movimentos dos globos oculares, seu método de fechamento herda também o design original de separação longitudinal em metades, oriundo das caixas de controle com êmbolos retos, porque este componente também foi concebido antes da constatação dos problemas de fechamento das caixas metálicas. Mas também lançou mão do fechamento com cianoacrilato pastoso. Detalhamos

²⁶ O funcionamento como atuadores primários com um ou mais pares de êmbolos rotacionais poderia contar com acionamento direto em seu eixo central utilizando redução de movimento por transmissão ortogonal de movimento giratório através de engrenagem e rosca sem fim, para aumentar a resistência ao retorno em proporção ao diâmetro da engrenagem.

a estratégia de montagem desse subsistema em: **3.9.2 Montagem do subsistema hidráulico da mandíbula.**

O ângulo possível de abertura e fechamento é de 30 graus, atuado por um circuito simples no qual o abrir corresponde à injeção de fluido no circuito e o fechar à sua sucção.

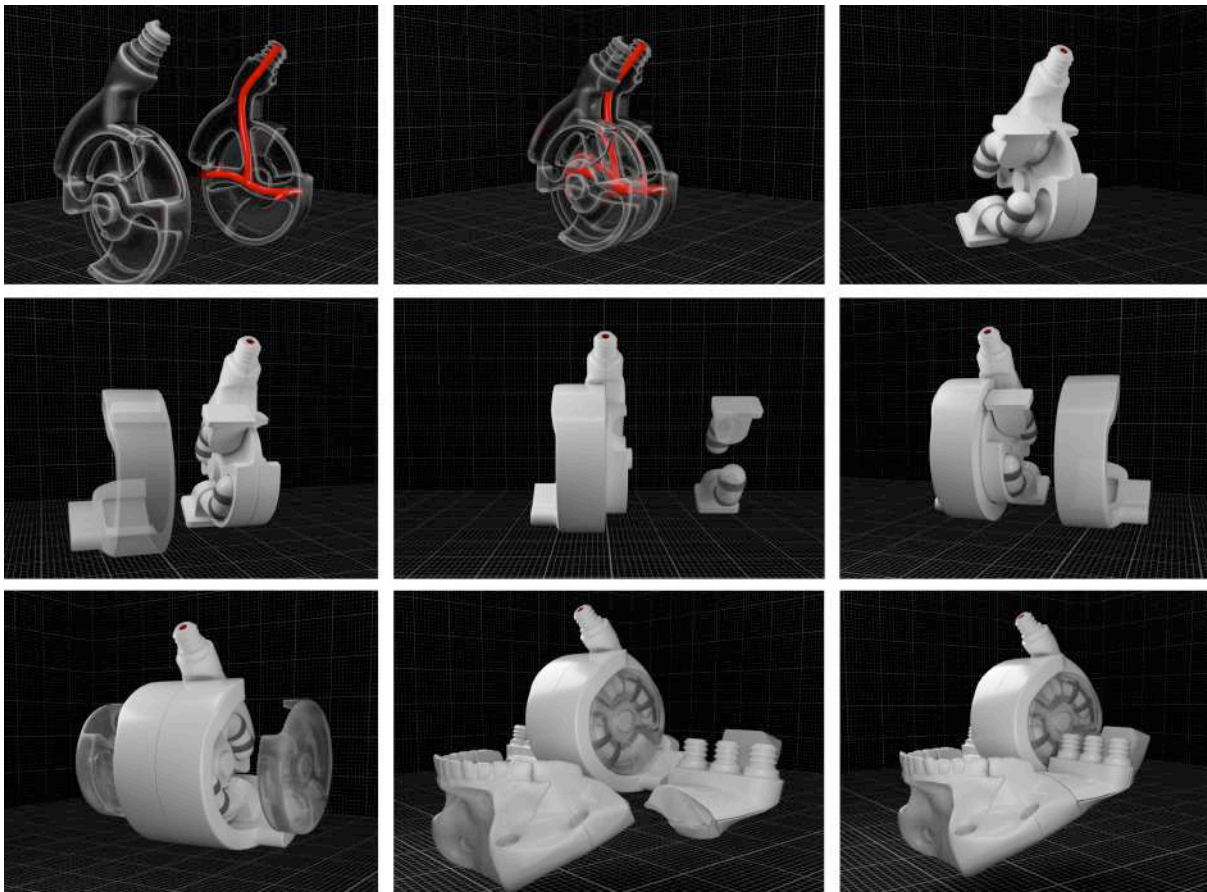


Figura 46. Fotogramas de uma animação demonstrando a montagem e o funcionamento do mecanismo da mandíbula. Para fins de clareza na demonstração, os materiais não apresentam exatamente o mesmo aspecto dos componentes executados, com exceção das tampas transparentes dos êmbolos em forma de discos na lateral do conjunto. Versão animada disponível em: <https://youtu.be/jdgJwwgoA-k>

Acesso permanente ao sítio na internet mantido pelo autor. Concepção e modelagem pelo autor. Materiais, iluminação, animação e renderização por Igor Arantes Abrahão.

3.7. Estratégias de moldagem.

Como mencionamos antes em **3.6. Desenvolvimento do arranjo muscular da face**, os moldes rígidos para os músculos em silicone dependem antes do seu posicionamento, que é definido pela modelagem tridimensional de três tipos de linhas: 1. A dos músculos propriamente ditos. 2. Os eixos dos túbulos rígidos dos soquetes dos músculos até os seus nipes (com exceção dos controles de órbitas que se ligam diretamente com as caixas de controle). 3. Para visualizar o posicionamento das mangueiras de silicone - entre nipes da ossatura e os dos controles.

Gerando o devido afastamento para a superfície da pele, os músculos foram distribuídos pelo posicionamento inicial do primeiro tipo de linhas, com soquetes avulsos temporários para estudo de posicionamento do seu encaixe na ossatura. É o primeiro módulo mencionado em **3.5 Modalidades construtivas de conexões tubulares musculares**.

Esses soquetes foram depois substituídos por componentes permanentes que acompanham a deformação do corpo do músculo, vindos de arquivos feitos em separado, nos quais foram deformados encadeamentos do correspondente em negativo do módulo em octaedro rebatido originalmente relatado em **3.4 Concepção dos músculos tubulares expansíveis e contráteis**. Uma vez consolidada a posição dos soquetes, eles tornam-se a base para modelagem das peças ósseas às quais pertencem, como veremos em **3.8 Anatomia da ossatura**.

Porém, esses módulos negativos da estrutura sanfonada não são só a inversão côncavo-convexo da geometria original. Eles foram planejados para a moldagem por pressão. Da linha de onde se dividem partem ortogonalmente planos lisos e geometricamente coincidentes de ambos moldes do conjunto, até um certo afastamento. Isto gera a área de contato que por pressão formará uma película a ser removida posteriormente.

Depois dessa primeira área de contato, um dos moldes apresenta um rebaixamento para recolher o silicone que é expulso no pressionamento dos moldes. Esse material não fica ali acumulado impedindo o maior contato possível das áreas lisas porque este mesmo lado do conjunto de moldes apresenta extensão em rasgos transversais para o escoamento externo do excesso de material.

Chamamos esse componente com rebaixamento e canais de escoamento de molde macho, porque entre esses rasgos de escoamento foram construídos protuberâncias para encaixe em reentrâncias “fêmea” presentes no outro molde.

Assim como eram suas matrizes positivas em octaedros rebatidos, a construção dessas características é modular, incluindo também o molde interno para formação do tubo sanfonado, conforme **3.4 Concepção dos músculos tubulares expansíveis e contráteis**.

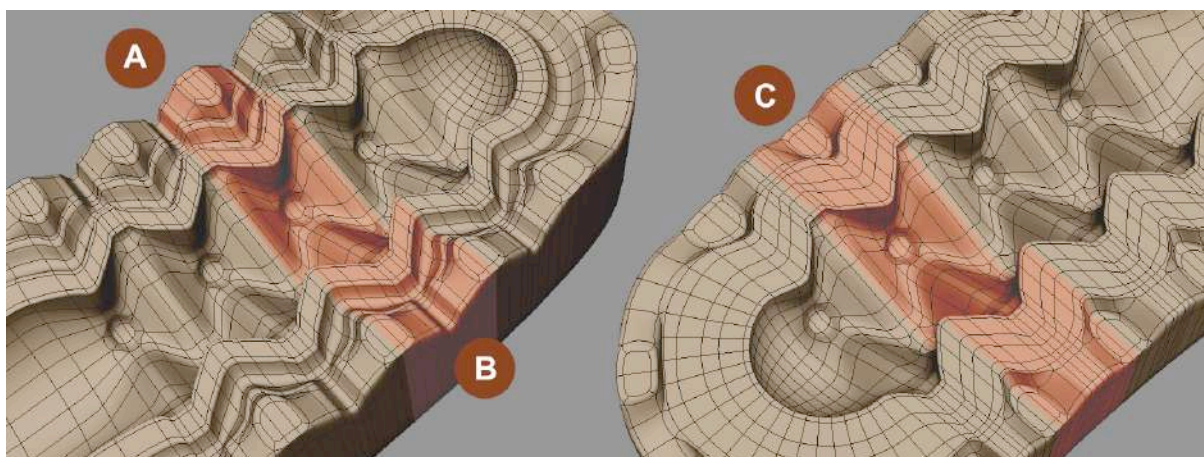


Figura 47. Detalhes dos dentes (A) e canais de escoamento (B) do molde macho e reentrâncias (C) no molde fêmea. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

O primeiro módulo conectivo - que é a transição de fole para cilindro com encaixe chanfrado (para registro rotacional na ossatura) - também recebe a mesma estratégia de expulsão do excesso de material moldado e registros de alinhamento por encaixes macho e fêmea.

Mas contíguo a ele - porém já fora do volume do músculo propriamente dito - encontram-se em ambos moldes concavidades com saliências convexas menores de registro que envolvem o suporte exterior do terceiro elemento de moldagem desenvolvido para estampagem interna do tubo sanfonado.

Essa interação entre moldes externos e molde interno foi objeto de extenso ajuste de tolerância por variação na modelagem para que o molde interno não afastasse indevidamente os externos, nem ficasse solto entre eles, assegurando a conformidade da espessura das paredes com a geometria projetada.

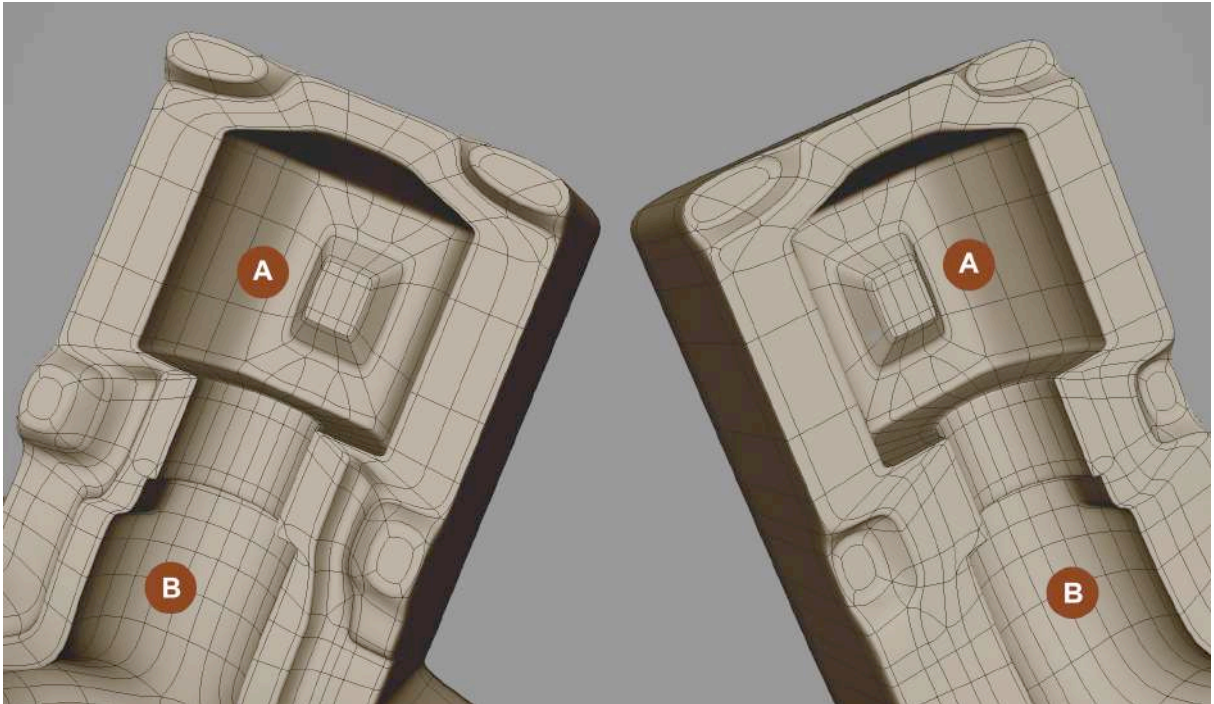


Figura 48. Saliências (A) no fundo de cavidades nos moldes externos utilizadas para registro do suporte de molde interno. Se posicionam em contiguidade da extremidade conectiva com chanfrado (B).

Os moldes internos (c) terminam em pontas envolvidas pelo respectivo módulo de moldes externos (a e b), nos quais a alternância entre canais de escoamento e encaixes macho e fêmea continua, circulando esta extremidade.

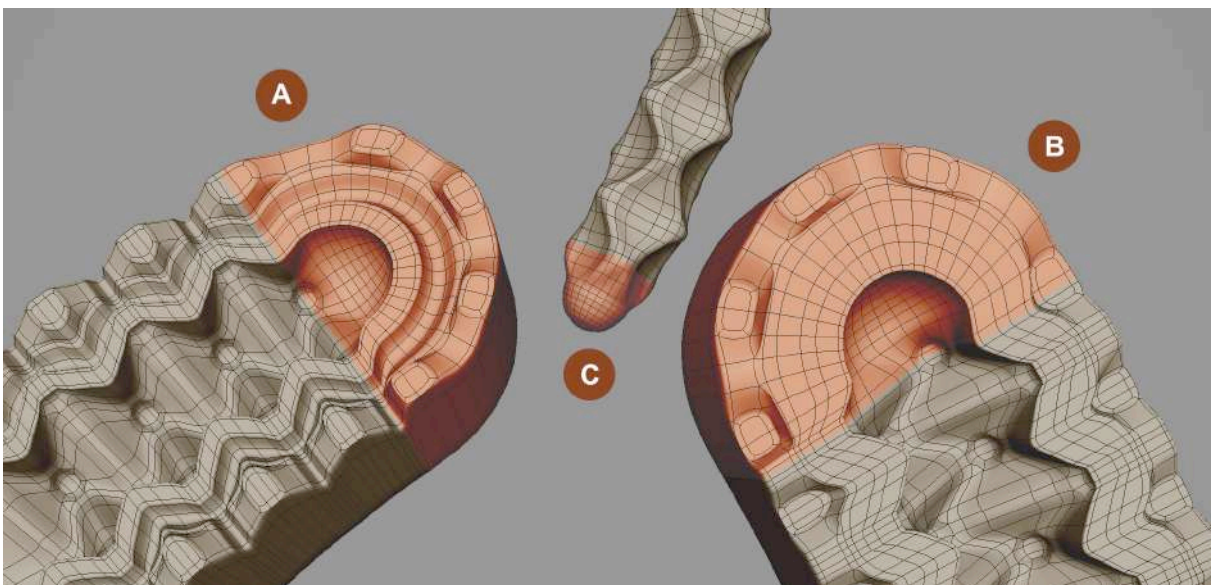


Figura 49. Conjunto macho (A), fêmea (B) e interior (C) do módulo de extremidade hemisférica adicional para a criação dos moldes dos músculos. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

Também alternando canais de escoamento e engates macho e fêmea para registro, os demais módulos conectivos foram contemplados: ligação não-comunicante reta, subdivisões comunicantes lisas em forma de Y, T e de psi (Ψ), além de cruzamentos sanfonados com uma ou duas direções comunicantes.

Embora essas ligações constituam um conjunto versátil que é aplicável a projetos futuros, o seu desenvolvimento foi por demanda, sendo desenvolvidas ao longo da criação da musculatura, comentada anteriormente.

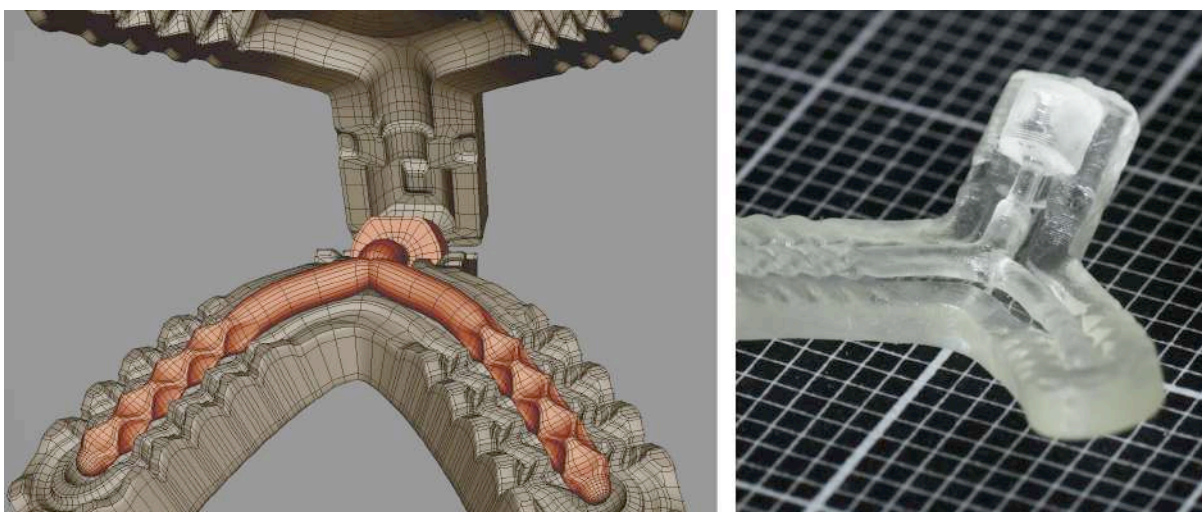


Figura 50. Conjunto macho, fêmea e interior para moldagem do músculo de franzido do nariz em Y. Vista giratória dos impressos tridimensionais por macrofotografia em intervalômetro disponível em: https://youtu.be/BvlzZSFKZ_Q

Acesso permanente mantido pelo autor. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

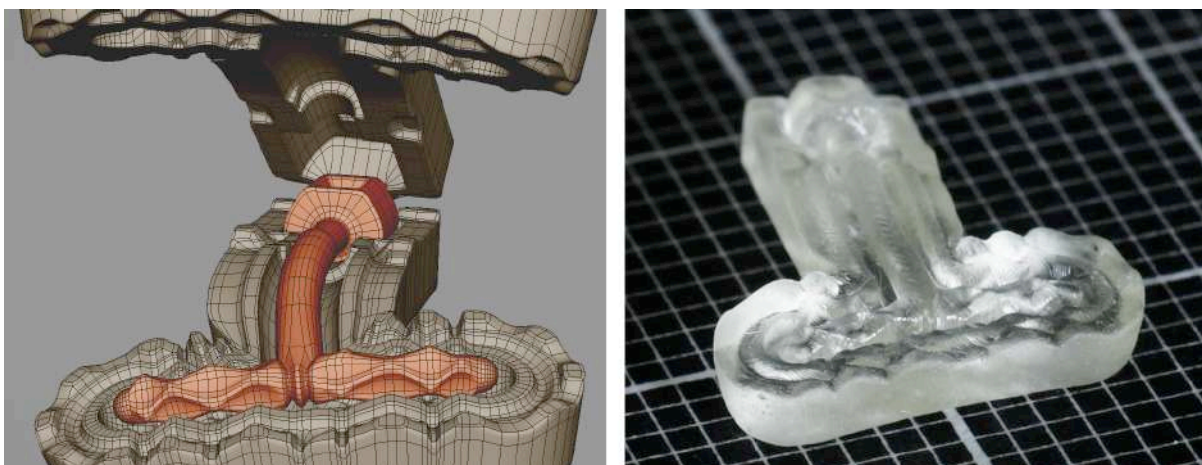


Figura 51. Conjunto macho, fêmea e interior para moldagem do músculo horizontal do lábio superior. Vista giratória dos impressos tridimensionais por macrofotografia em intervalômetro disponível em: <https://youtu.be/iC0eNjCbLdQ>

Acesso permanente mantido pelo autor. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

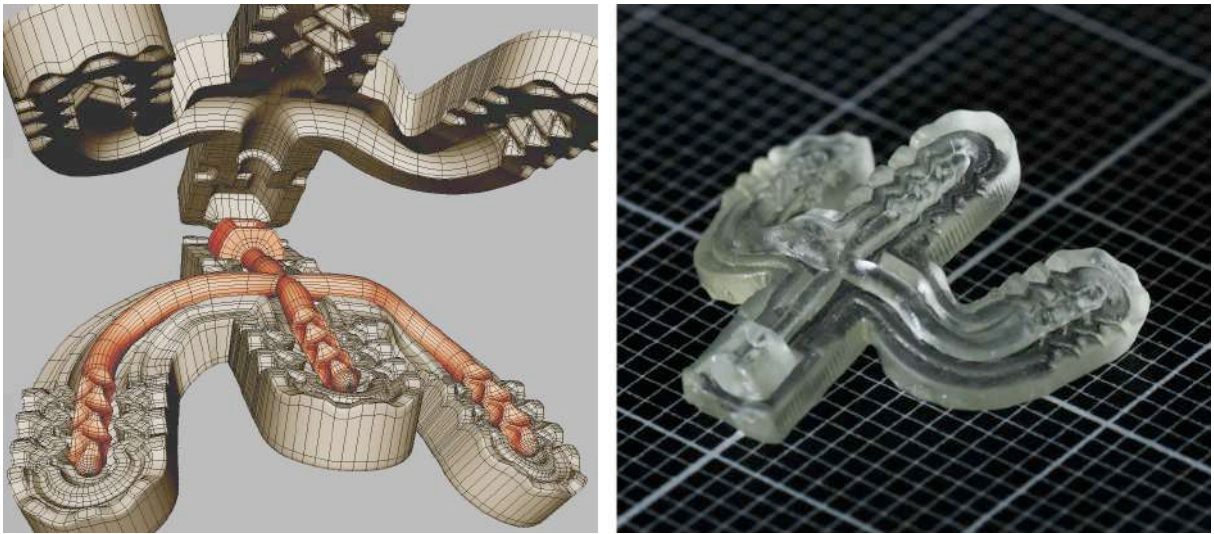


Figura 52. Conjunto macho, fêmea e interior para moldagem do músculo vertical do lábio superior em forma de psi (Ψ). Vista giratória dos impressos tridimensionais por macrofotografia em intervalômetro disponível em: <https://youtu.be/ZKOr69zARoo>

Acesso permanente mantido pelo autor. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

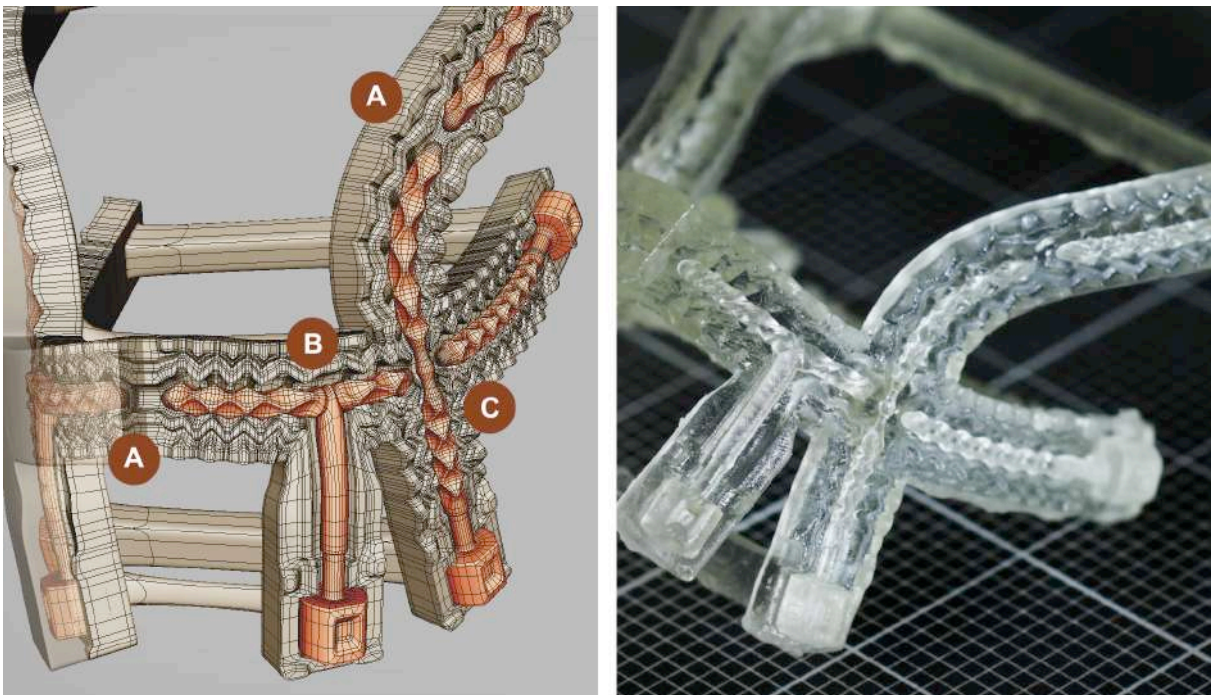


Figura 53. Ligações não-comunicantes (A), em T (B) e cruzamento comunicante em uma direção (C) no molde da musculatura em biotensegridade. Vista giratória dos impressos tridimensionais por macrofotografia em intervalômetro disponível em: <https://youtu.be/4BNhs-lqSF4>

Acesso permanente mantido pelo autor. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

Os músculos com tubulação que se subdividem nos trazem o desafio da extração do molde interno. O *software* fatiador converte a modelagem tridimensional digital em informação estratificada para impressão, gerando suportes de sustentação que nos inspiraram por apresentar um estrangulamento nos pontos em que dobras - justamente para facilitar a sua remoção por quebra.

Modelamos então vincos nos entroncamentos dos moldes internos. Após a cura do silicone ao redor dessas peças, forçaremos a quebra tomando o cuidado de não deixar a extremidade quebrada rasgar o silicone. Removeremos primeiramente o tronco e depois os galhos.

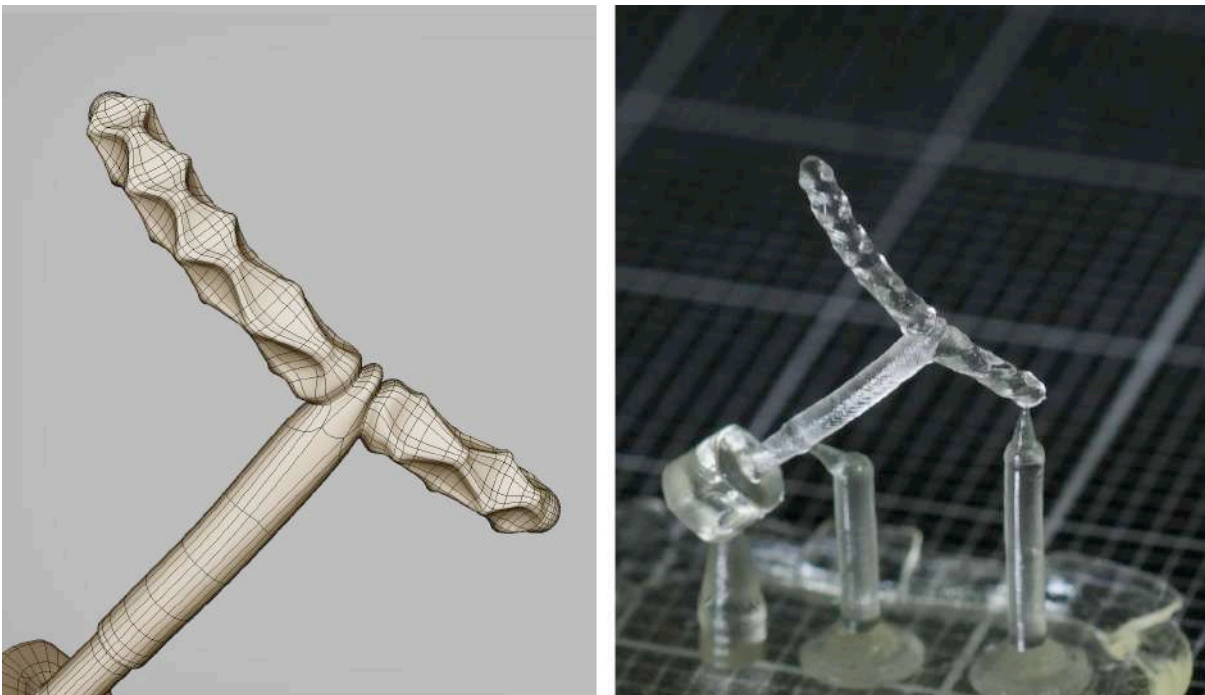


Figura 54. Estrangulamentos modelados nas bifurcações e trifurcações para facilitar a quebra. Vista giratória do molde interno do lábio inferior horizontal disponível em: <https://youtu.be/PnHbrqWvdcw>

Acesso permanente mantido pelo autor. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

A outra aplicação de conexão em cruz é para conectar em ligação não-comunicante os quatro músculos de movimentação de cada globo ocular. Para obter esse músculo foi desenvolvido um molde macho unitário para os quatro braços, seus respectivos moldes internos e os quatro moldes fêmea externos que se fecham sobre eles em forma de pétalas.

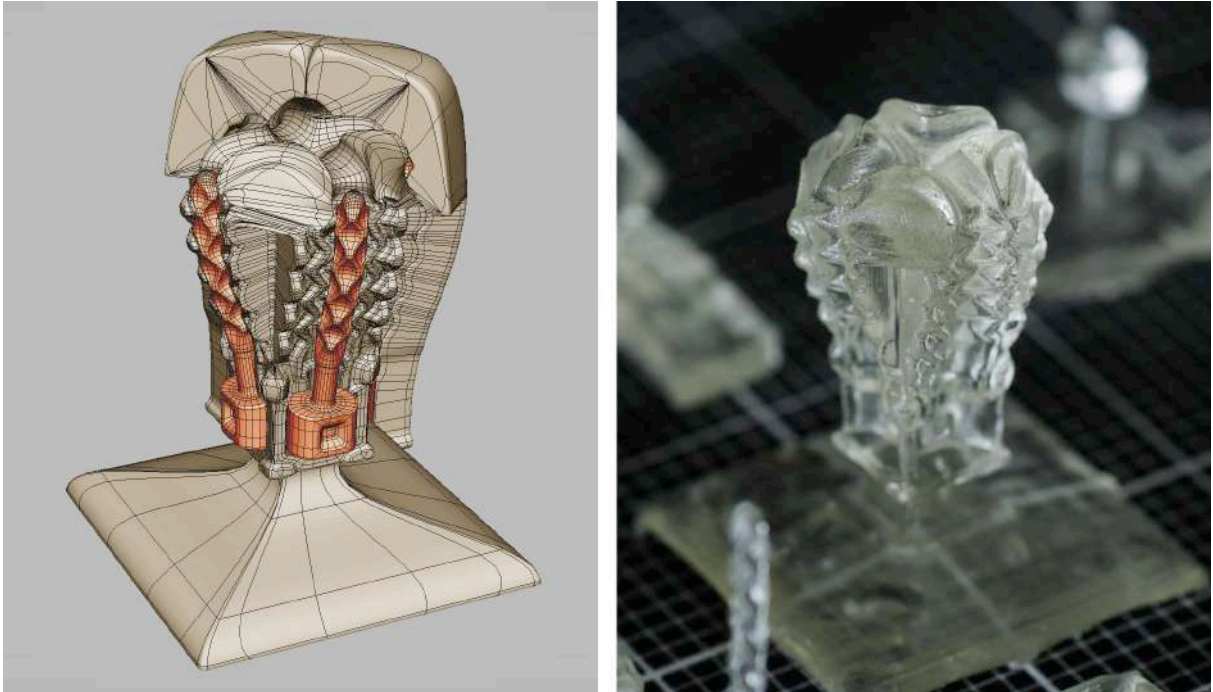


Figura 55. Conjunto de moldes para fabricação dos músculos articuladores dos globos oculares. Sequência de montagem em: <https://youtu.be/knnyo3O52UQ> Vista giratória dos impressos tridimensionais por macrofotografia em intervalômetro disponível em: <https://youtu.be/OH9ltfGzdME>

Acesso permanente mantido pelo autor. Modelagem digital, renderização, composição e fotografia pelo autor.

Os moldes formadores da pele seguem o mesmo raciocínio de extravasamento do material moldado com os rebaixos e áreas de escoamento, bem como os engates macho e fêmea para manutenção do alinhamento. Se os conjuntos para moldar músculos apresentam moldes internos para moldar os vazados da tubulação, essa estratégia retorna agora em três demandas diferentes:

A primeira questão era como formar a camada de pele sobre os músculos e os ossos mantendo um afastamento uniforme ao redor de toda a cabeça, pescoço e parte dos ombros. Todas as peças internas acima do pescoço assentam-se sobre uma base rígida e fixa - sem movimento nessa versão. Um corte horizontal no peitoral é o limite inferior da própria escultura. Para baixo desse plano estende-se uma protuberância com registros para os moldes externos da mesma forma que os pequenos moldes internos dos músculos. Esse é o ponto em que essa base é apoiada externamente pelos moldes frontal e traseiro da pele.

A segunda solução foi permitir a moldagem dos canais auditivos sem que os moldes tracionem a pele ao redor ao serem retirados frontalmente, utilizando-se um par de moldes intermediários de remoção lateral.

Por fim, a protuberância na base do busto que permite a moldagem da pele é depois fixada nas duas metades anterior e posterior de uma base em nosso estilo RTR (Rococó Tardio Revisitado).

3.8. Anatomia da ossatura.

O desenvolvimento da ossatura começou pela modelagem e fabricação da mandíbula. Das três tubulações que ela apresenta de cada lado, duas são para a fixação das extremidades inferiores de cada lado da face do conjunto em biotensegridade: o músculo da tristeza (*depressor anguli oris*) e o lábio inferior horizontal (*circularis oris*) - lembrando que são ambos integrantes de dois mecanismos de acionamento duplo com ligação não-comunicante. O lábio inferior horizontal (em amarelo e verde) liga-se com o *risorius* que se fixa abaixo da maçã do rosto. O músculo da tristeza (em roxo e laranja) liga-se com o *zygomaticus major*, na maçã do rosto (vide cores na figura 56).

Também acionada por um controlador duplo, a terceira tubulação não é simétrica. Ela alimenta no lado esquerdo a parte superior de dois músculos duplos verticais (ciano), assim como o lado direito se conecta com a parte inferior do mesmo par de músculos duplos (vermelho). Ambos são acionados simultaneamente porque constituem o movimento vertical do queixo, em combinação de *mentalis* e *depressor labii inferioris* (FACS AU 16 e 17).

A tubulação é toda bipartida, com exceção de um curto trecho (Fig. 26). A parte traseira da mandíbula recebe ar da parte superior da face e do crânio através de três tubos de silicones conectados em respectivos nipes de cada lado. Eles estão no limite de espaço disponível, mas comunicam-se com as caixas de controle de forma flexível e independente do próprio movimento de abertura e fechamento da mandíbula.

Essa tubulação tripla *per se* realiza e extrapola então a nossa premissa inicial de poder encadear mais de um movimento de acionamento indireto através da mandíbula, como exemplo de independência no controle de movimentos sobrepostos (página 51).

Foi em um teste de impressão da mandíbula com só duas partes que constatamos o entupimento dos túbulos que nos levou ao design bipartido de quase toda tubulação. Mas foi também quando atestamos a eficácia do cianoacrilato em gel escolhido para unir as partes.

A escultura dos dentes nessa ossatura e na arcada superior ficou a cargo de Igor Arantes Abrahão. Mas o resto da ossatura do maxilar teve que aguardar toda a volta na cabeça (passando por trás, subindo e descendo pela frente) para integrar os dentes de cima como a tubulação da parte superior da musculatura em biotensegridade localizada no maxilar superior.

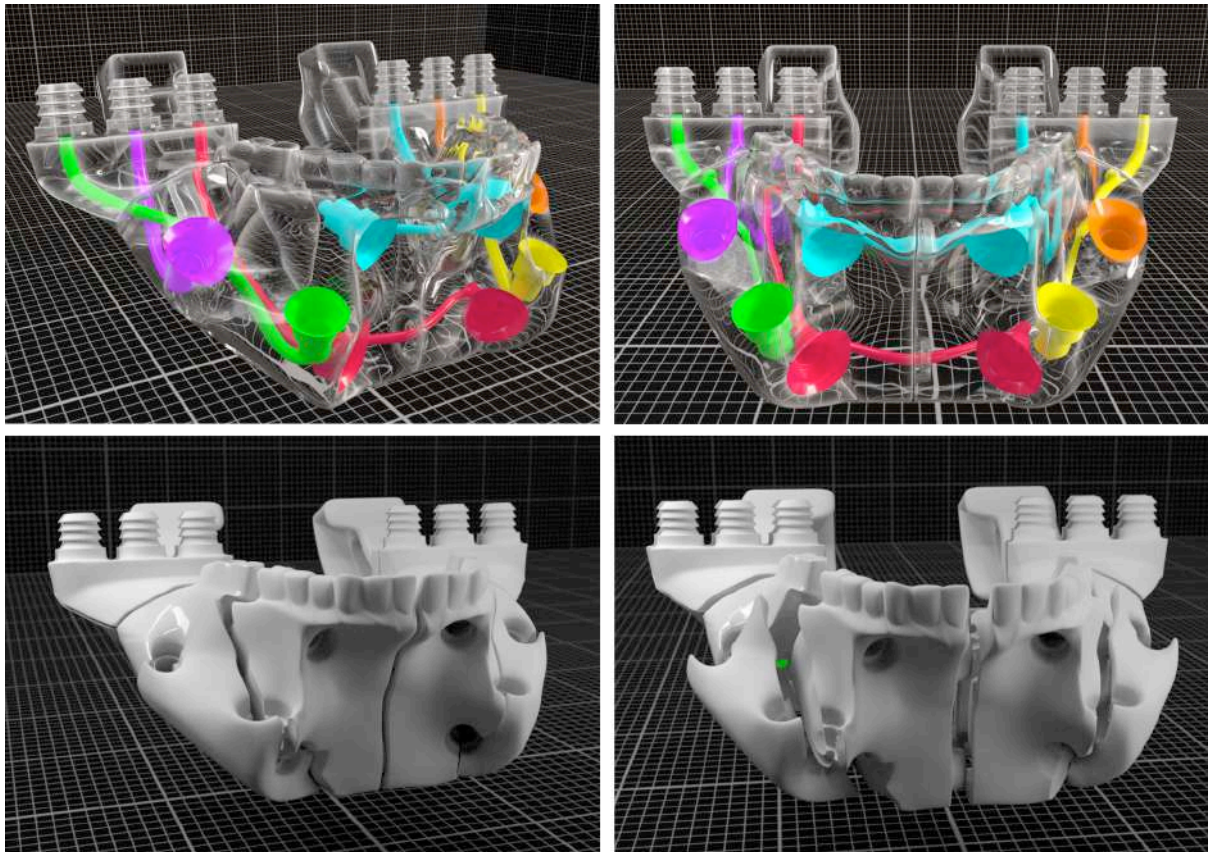


Figura 56. Túbulos da mandíbula e componentes que os formam. Vistas animada em modelagem 3D digital disponível em: <https://youtu.be/9N4YSVkqYvA> e Figura 26B <https://youtu.be/0ngPz9TgeoQ>.

Acesso permanente ao sítio na internet mantido pelo autor. Concepção e modelagem digital pelo autor. Materiais, iluminação, animação e renderização por Igor Arantes Abrahão.

A parte traseira e inferior que constitui a base do crânio acomoda a parte posterior do mecanismo hidráulico de articulação da mandíbula (nicho central na figura 58). Descrevendo os componentes de baixo para cima, esse subsistema começa com duas peças simétricas de base que apresentam saliências com meias-canas referentes ao túbulos de comunicação das duas caixas de controle duplas pequenas na horizontal que acionam o movimento dos globos oculares (A). Por serem caixas duplas, essas bases apresentam também o túbulo de ligação entre as duas câmeras que passam por baixo dos parafusos de potência (B).

Essas peças são separadas das metades inferiores das caixas também porque dividem em meias-canas as tubulações de alimentação de outros três movimentos: uma das vias do controle duplo de movimento do queixo de cada lado (C), as tubulações para movimento horizontal da boca no trecho do músculo *risorius* (D) e articulação da pálpebra (E). Na parte de trás são assentados três nipes de cada lado (F) sobre esses encaixes quadrados divididos com a parte inferior das caixas de controle integrando esses três circuitos bilaterais (G).

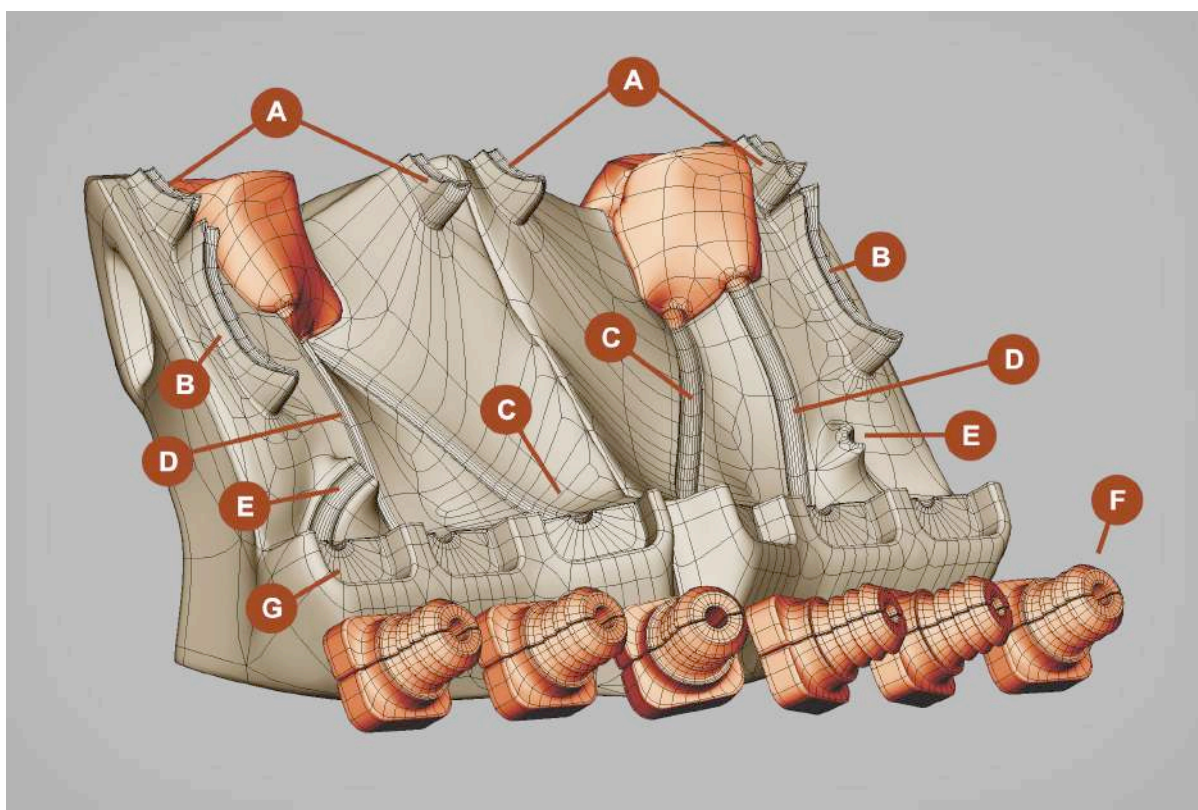


Figura 57. Base do crânio onde se localizam as caixas de controle dos globos oculares e condutora de outros três circuitos pneumáticos. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

Mas antes da parte inferior das caixas de controle há dois pares de peças intermediárias (em alaranjado na parte superior da figura anterior). As frontais (A) forma um encaixe quadrado voltado para baixo para receber os nipes (B) que conduzem ar para a ponta do queixo, completando para isso as meias-canas da peça de base. As outras peças atrás dela (C), são uma outra aplicação de segmentos inteiriços de túbulos sem divisão em meias-canas, como as peças intermediárias condutoras de túbulos na mandíbula descrita em: **3.3. Fabricação digital aditiva por impressão SLA-LCD** (figura 26, página 65). Elas também apresentam na parte superior meias-canas para formar com as peça frontais o conduto de ar para o *risorius* (D).

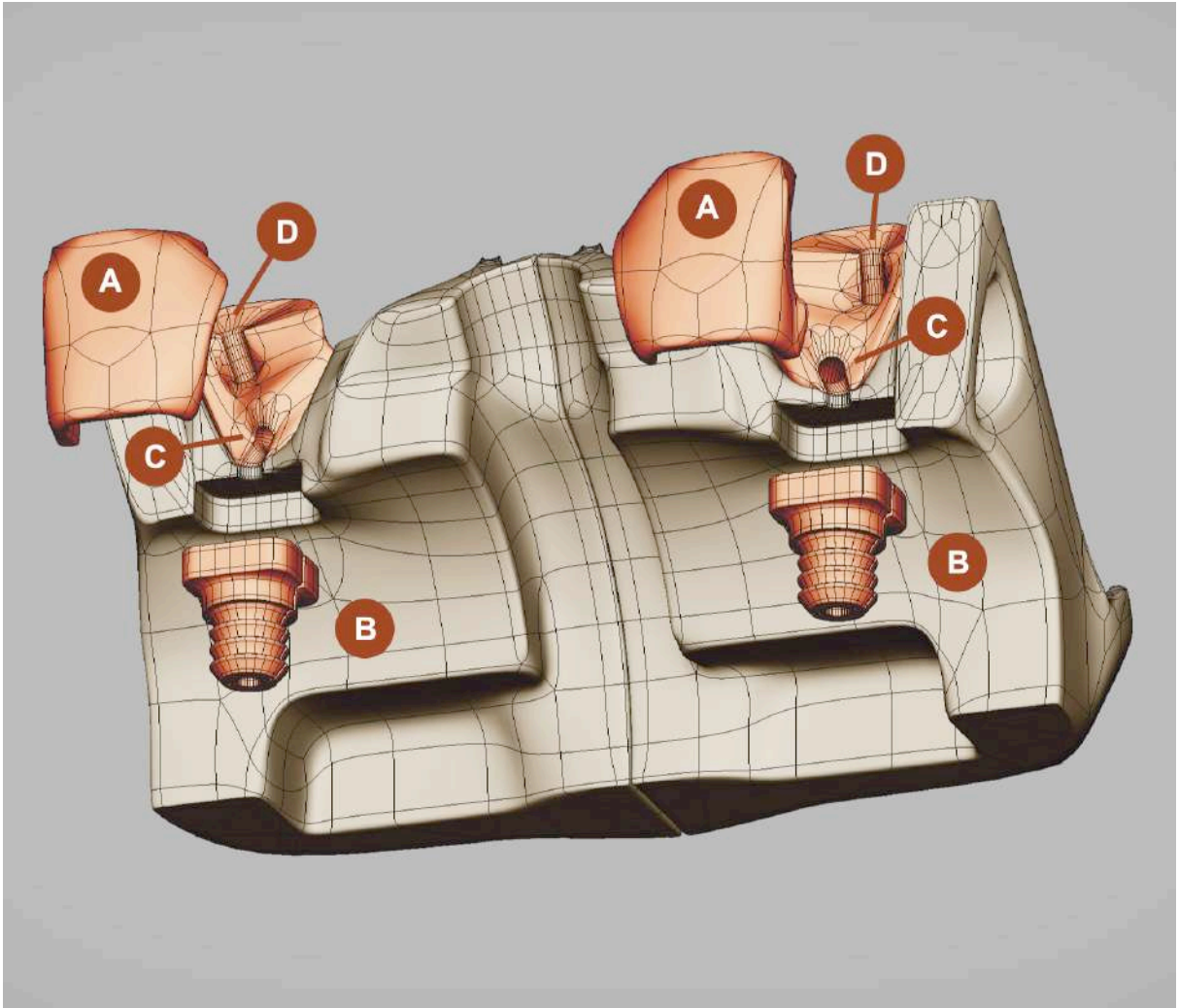


Figura 58. Peças intermediárias entre a base do crânio e a peça inferior das caixas de controle dos globos oculares. Conduzem ar para o queixo e o *risorius*. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

Sobrepõe-se então as peças inferiores das caixas de controle do movimento dos globos oculares, completando as meias-canas de comunicação para as duas saídas de controle (E). e as câmaras duplas por trás dos parafusos de potência (F). Também apresentam um curto setor inteiriço de túbulo para a continuação da tubulação do movimento de pálpebra, que segue verticalmente começando uma trajetória que passará por cima da caixa de controle (G).

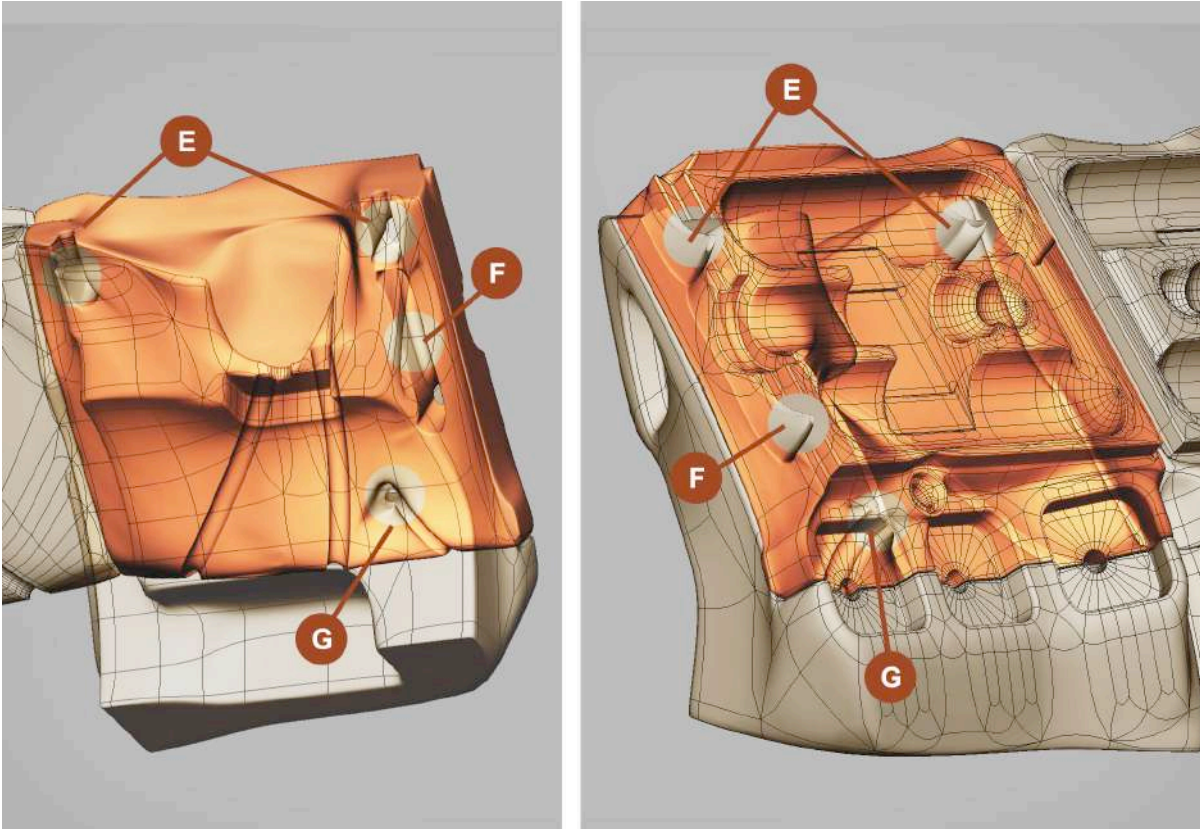


Figura 59. Peças inferiores das caixas de controle dos globos oculares. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

As peças superiores das caixas de controle dão continuidade ao túbulo do movimento de pálpebra, com um pequeno trecho inteiriço que depois continua em meiacana sobreposta e avançando para a frente (A na figura seguinte). Ambos lados apresentam em seus topos saliências assimétricas (B) que correspondem à diferenças de geometria nas próximas peças, que são a base das caixas de controle organizadas verticalmente, controlando os demais movimentos do sistema. Essa assimetria é decorrente do posicionamento interno do nipe inferior da caixa de controle hidráulico da mandíbula, melhor detalhado em **3.9 Montagem do sistema**, quando explanamos também sobre o posicionamento das caixas de controle.

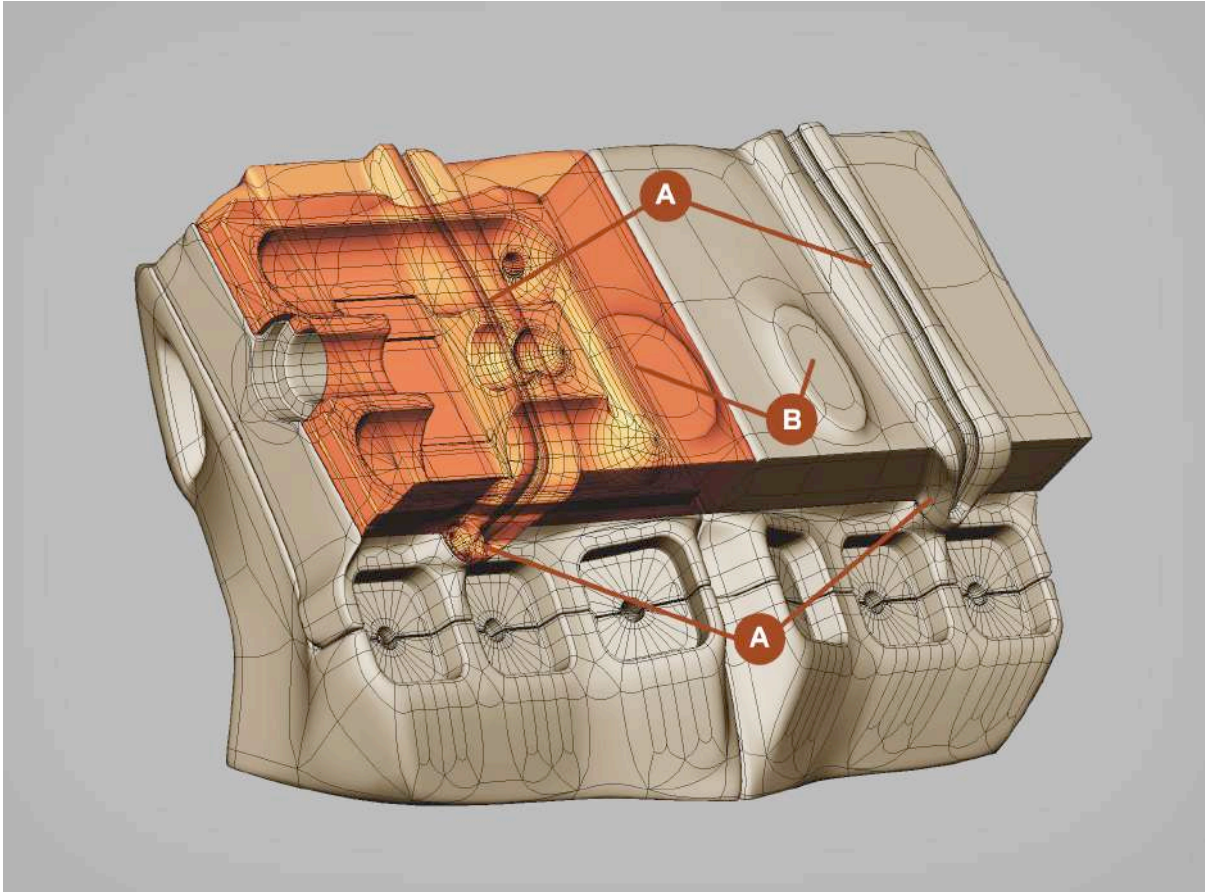


Figura 60. Peças superiores das caixas de controle dos globos oculares. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

Seguindo para frente, encontram-se dois conjuntos simétricos de cinco componentes cada, que constituem em meias-canas a continuidade de quatro condutos: um do *risorius*, dois dos globos oculares e um da pálpebra para cada lado do rosto. Esses conjuntos deixam um espaço no centro para a passagem de tubos flexíveis oriundos das caixas de controle verticais, que alimentam a articulação da mandíbula e os músculos da tristeza (*depressor anguli oris*).

Os túbulos do conjunto dos olhos seguem diretamente em meio rígido (A, na próxima figura), sendo os detalhados na Figura 44 (pg. 87). Já os túbulos que alimentam os *risorius* encontram nesse trecho nipes com encaixes redondos (B) para transpor ar para a parte frontal da cabeça através de tubos de silicone. Isso se dá para facilitar a montagem - e não para permitir movimento como ocorre com os tubos que descem para a mandíbula.

Os dois túbulos que vem do lado esquerdo para controlar o movimento vertical dos globos oculares se bifurcam passando dois condutos para o lado direito (em roxo). O lado direito contribui com os túbulos do movimento horizontal (verdes), somando quatro tubos

horizontais paralelos além dos outros dois diagonais que passam entre eles para alimentar as pálpebras (vermelho e azul) constituindo a tubulação mais complexa do projeto.

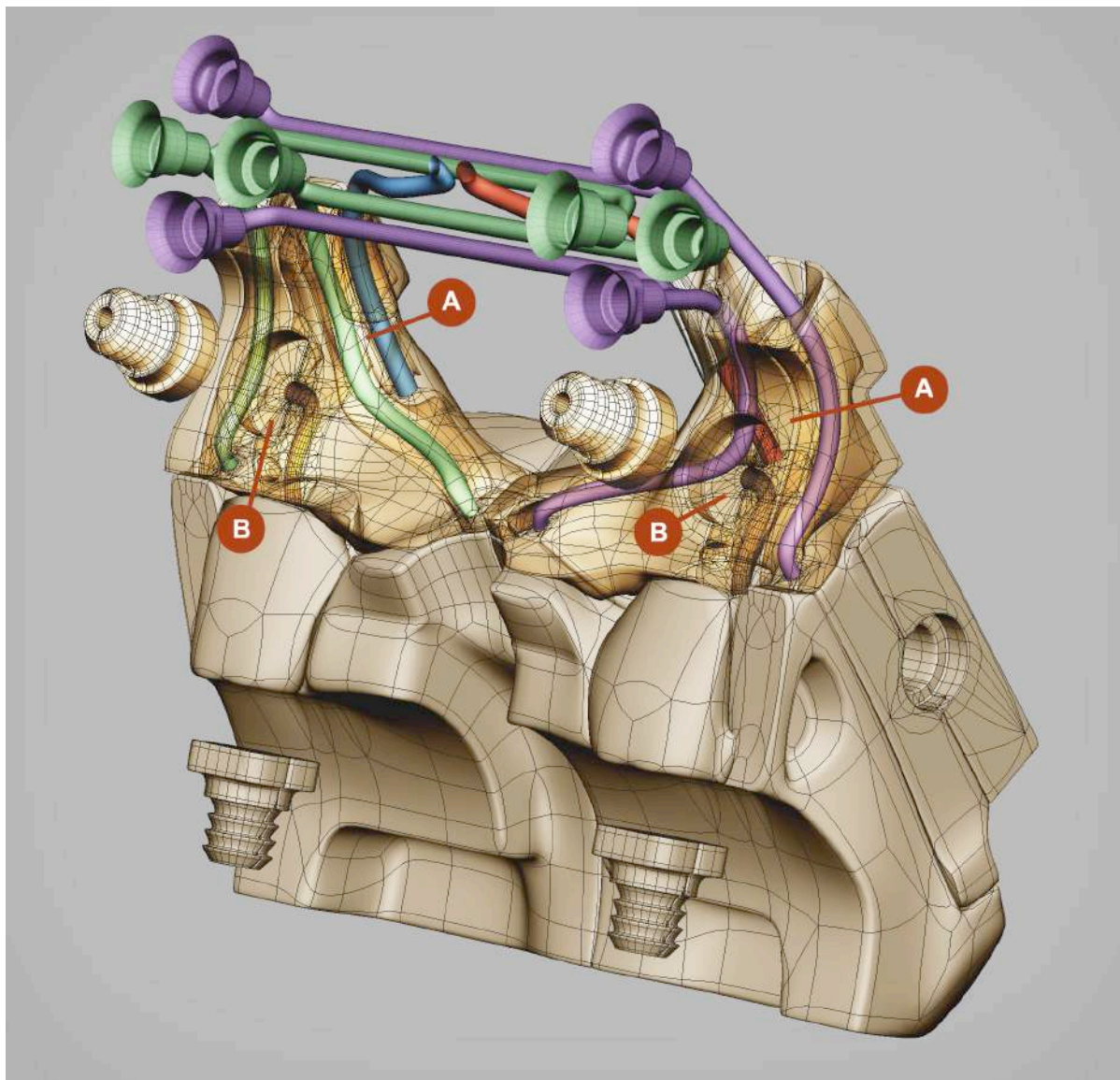


Figura 61. Componentes formadores dos túbulos do conjunto dos olhos (A) e encaixe para nipe de alimentação do músculo *risorius* (B). Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

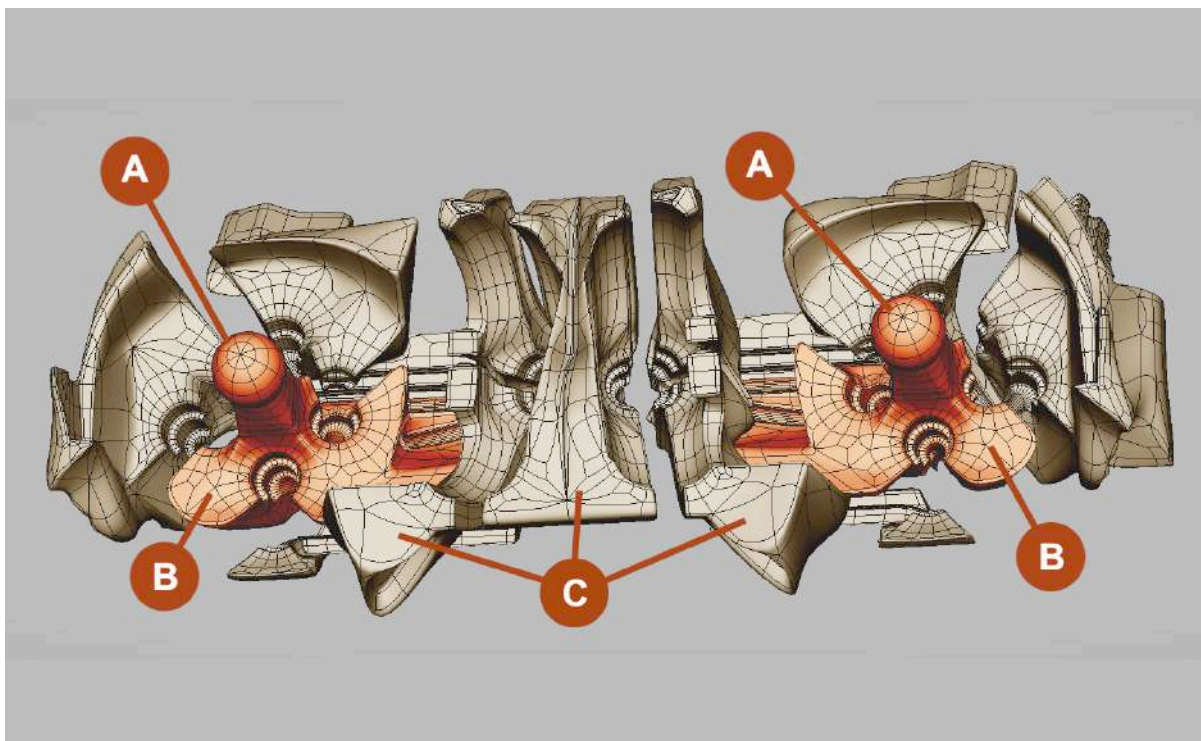
Na etapa seguinte, os principais componentes do conjunto do fundo dos olhos são as peças que também oferecem esferas de apoio da parte posterior dos globos oculares (A) na extremidade de pinos. Elas também incluem os quatro soquetes que circundam esses pinos para o encaixe dos músculos que movimentam os olhos (B).

A divisão dos quatro soquetes não é exatamente em meias-canas, mas em frações variadas. Só os soquetes laterais exteriores são em meias-canas diagonais. Os soquetes

laterais interiores e os inferiores são divididos em duas peças de um quarto e outra de três quartos. Os soquetes superiores são divididos em três partes. Os correspondentes túbulos são divididos em meias-canas. As partes dos soquetes aderem ao silicone da ponta do músculo por meio de preparação química (com o Primer Loctite 770).

Essas peças também fazem a conexão com a parte frontal das caixas de controle no topo da cabeça, com os componentes da ossatura dos movimentos interno e externo de sobrancelhas e ao centro com as peças tubulares de confinamento dos músculos que acionam as pálpebras, compondo também parte da base das cavidades oculares (C).

Os componentes exteriores (D) apresentam também meias-canas dos túbulos que alimentam os soquetes inferiores do movimento externo de sobrancelhas (FACS AU 02). Estes soquetes estão integrados aos ossos zigomáticos, mas sua contração descendente só pode fazer às vezes da parte externa dos *orbiculari ori* na construção do sorriso verdadeiro (como comentamos na página 84) se essa expressão estiver compatibilizada com essa postura da sobrancelhas.



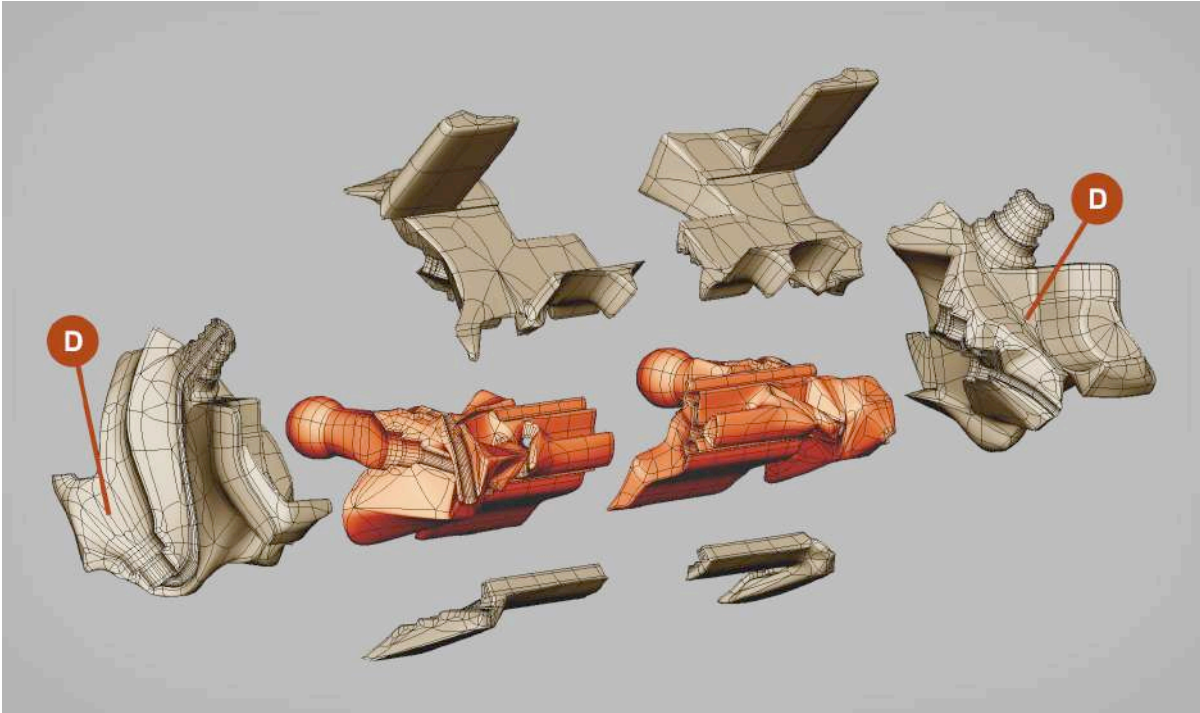


Figura 62. Componentes principais do fundo dos olhos com peças complementares em visão explodida. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

Na próxima figura, as duas peças centrais da frente no espaço entre os olhos (A) constroem a tubulação para alimentar o bifurcado *superioris alaeque nasi* - franzido do nariz (FACS AU 09). Esse conjunto constitui em seu topo o nipe que conecta esse túbulo com a caixa de controle deste movimento - que é a mais central na parte frontal do topo da cabeça.

A posição do nipe é assimétrica para que não dispute espaço com o nipe que sai da caixa de controle. Embora a conexão com mangueira flexível facilite a montagem, essa é uma característica remanescente do antigo design com caixas de controle metálicas inseridas na ossatura plástica. No futuro esse arranjo pode ser substituído por um circuito tubular integralmente rígido, como o do fundo dos olhos.

A mesma terminação superior em nipe se dá nas tubulações imediatamente justapostas do centro para as bordas laterais da testa, que fecham os túbulos que alimentam ambos soquetes inferiores dos músculos internos das sobrancelhas (*procerus*) (B).

Este soquetes foram posicionados próximos do soquete do músculo de franzido de nariz, para gerar o máximo de amplitude possível para o movimento interno de sobrancelha (FACS AU 01), passando pela aresta do triângulo invertido que é típico do Aleijadinho.

O fechamento desses soquetes inferiores se dá pelas peças arqueadas (em verde) que sustentam o mecanismo de movimento das pálpebras, apoiando-se externamente nas peças que provém o FACS AU 02, fechando a parte superior das cavidades dos olhos. Elas são vistas engatando-se nos pinos das pálpebras no quinto e sexto quadros da figura 45, na páginas 88.

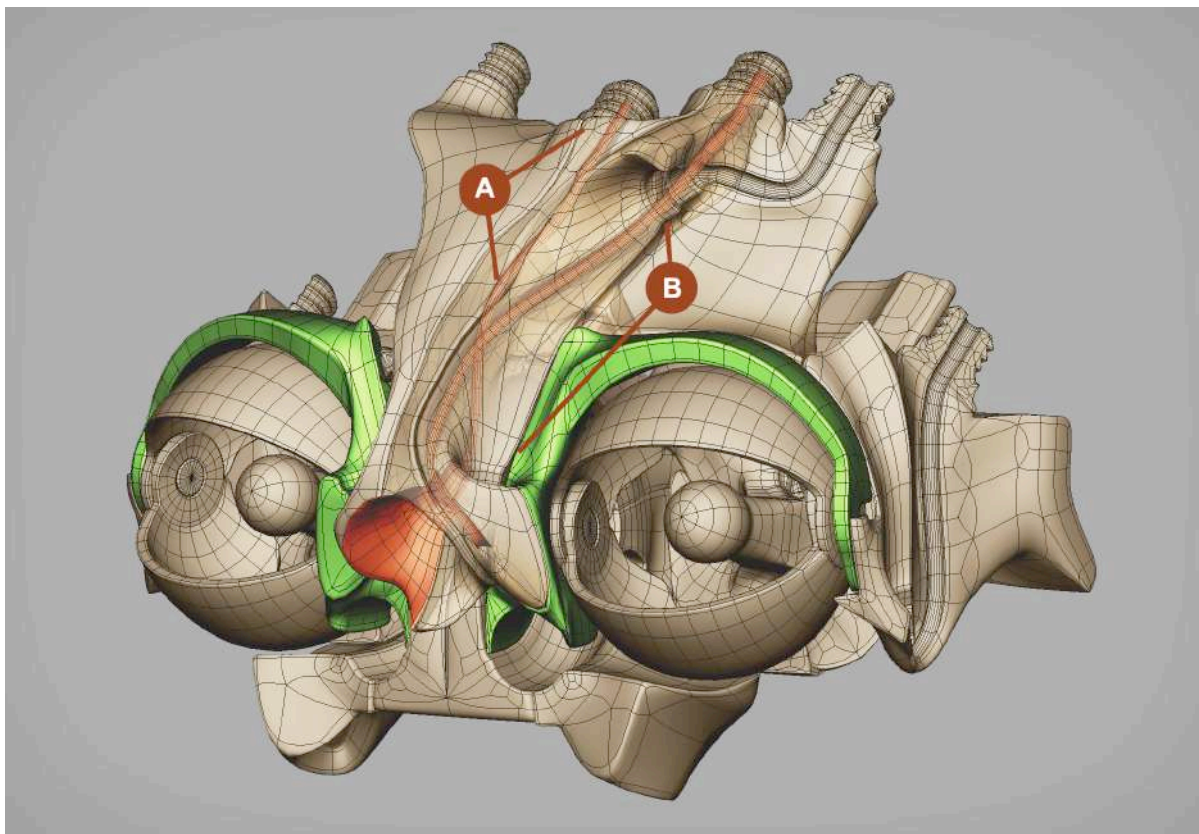


Figura 63. Componentes da tubulação do franzido do nariz (A) e dos soquetes inferiores das sobrancelhas internas (mostrado apenas a esquerda). Mod. digital, rend. e composição pelo autor.

Acima desses arcos estão as peças que fecham os soquetes superiores dos músculos de movimento interno de sobrancelha e seus túbulos até os nipes (alaranjados na figura anterior). Essas peças trazem também metade dos soquetes e condutos das extremidades superiores dos músculos externos de sobrancelha (próxima figura). Esses soquetes estão o mais próximo possível dos seus vizinhos das sobrancelhas internas para mais uma vez alargar a amplitude do movimento e propiciar maior interação entre os movimentos.

Dois pares de componentes de fechamento completam os circuitos dos soquetes superior (verde) e inferior (azul) das sobrancelhas externas, concluindo a frente.

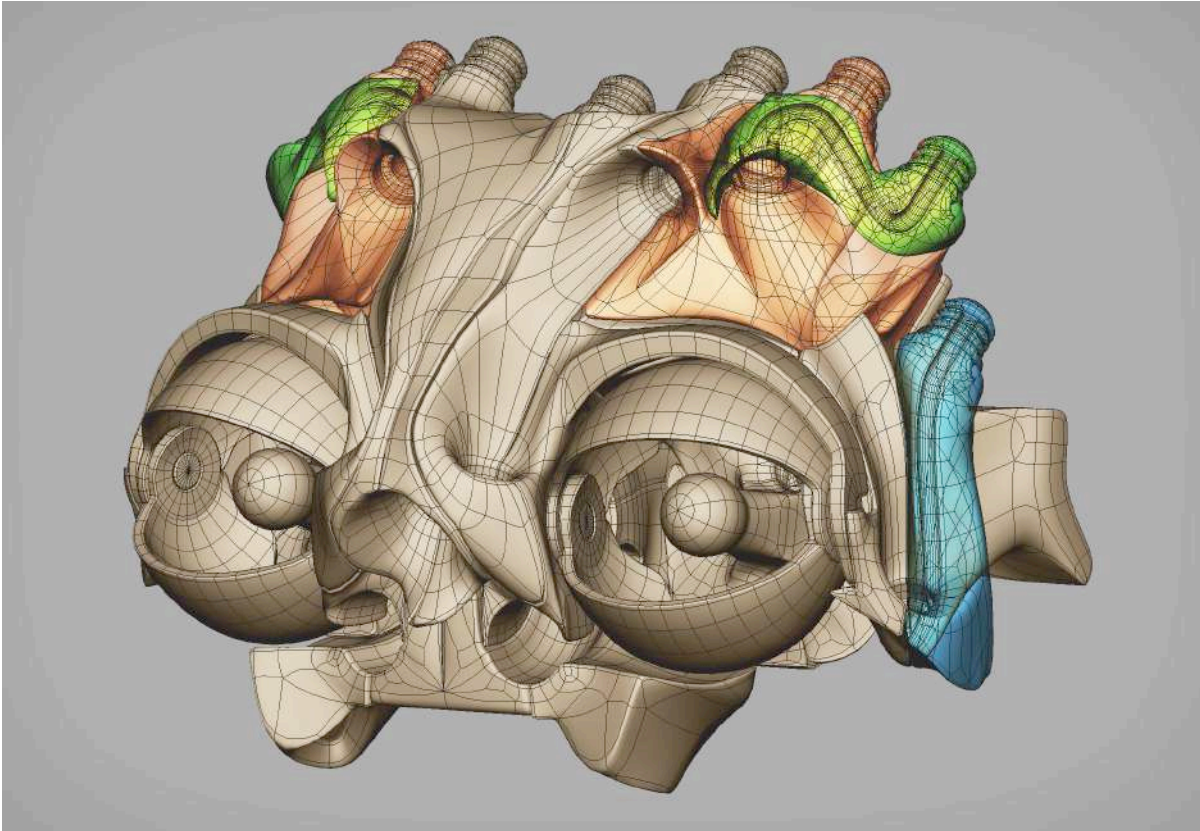


Figura 64. Fechamento dos soquetes das sobrancelhas, seus túbulos e nipes. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

Completando a volta, chegamos nos componentes interiores do maxilar superior, separados em duas partes para conduzir ar para o músculo trifurcado vertical do lábio superior (*levator labii superioris*). Na sua parte posterior, eles constituem um encaixe redondo para o nipe que traz a alimentação desse músculo (A). Ele é fora de centro para não colidir com a mangueira que alimenta a articulação hidráulica da mandíbula, que passa por trás dele.

Na parte frontal acima do soquete do músculo vertical do lábio superior apresenta-se uma protuberância estruturante do nariz (B) que volta a recuar na sua parte superior para gerar uma área de influência do músculo bifurcado de franzido do nariz (C).

Na parte posterior das laterais desses ossos, se apresenta as metades dos encaixes redondos dos nipes que recebem mangueiras alimentadoras dos túbulos dos *risorius* (D), apresentando também os meios túbulos e os meios soquetes desse músculo.

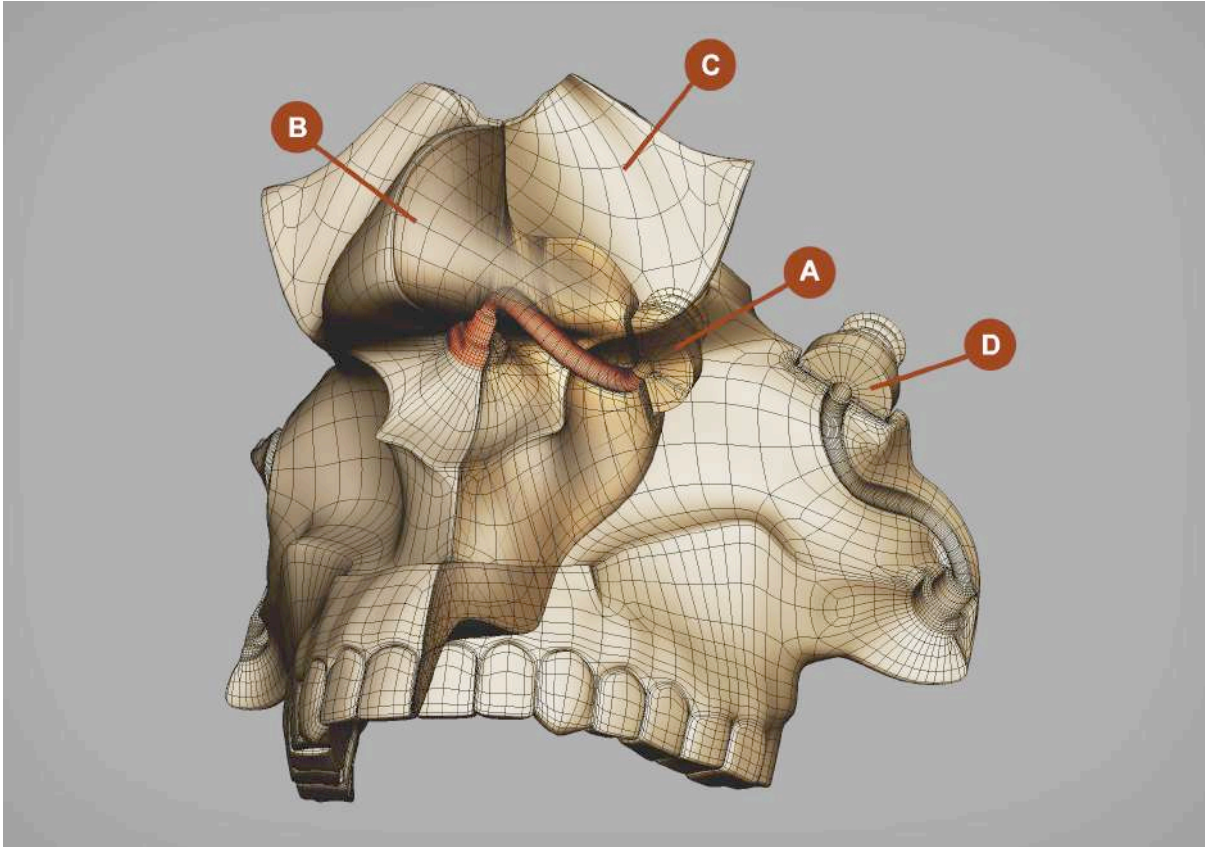


Figura 65. Componentes interiores do maxilar superior. Modelagem digital da arcada dentária superior por Igor Arantes Abrahão. Resto da modelagem, renderização e composição pelo autor.

Continuando os circuitos pneumáticos do maxilar superior, somam-se no trecho superior as partes que completam as órbitas oculares (A) e que contém os meios nipes, meios túbulos e meios soquetes dos músculos de elevação dos cantos da boca - *zygomaticus major* (verde).

No trecho médio esses componentes apresentam as metades internas dos bipartimentos dos circuitos que recebem ar para controlar os músculos horizontais do lábio superior (B). Além de alimentar esses músculos o mesmo circuito distribui ar para nipes na parte posterior apontados para baixo (C). Esses se conectam com a mandíbula através de mangueiras, alimentando simultaneamente os músculos horizontais do lábio inferior, fechando o *orbicularis oris* (D) em oposição ao *risorius*, alimentado pela outra saída de uma mesma caixa dupla (E).

Os nipes, túbulos e soquetes dos músculos *risorius* das duas metades que se apresentavam nos componentes interiores do maxilar são agora completados no trecho exterior destas peças. Como na frente, duas peças fecham os condutos completando os circuitos dos músculos horizontal e diagonal de abertura do sorriso (F).

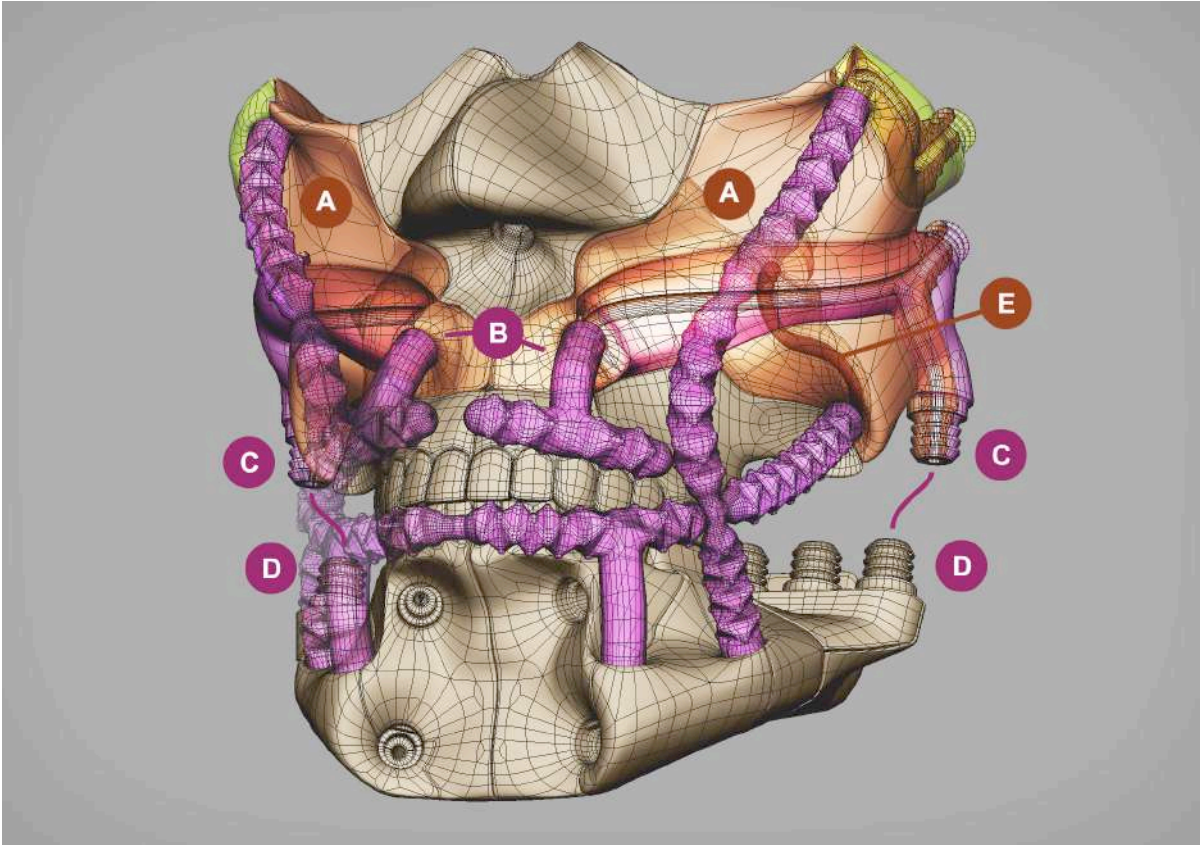


Figura 66. Componentes intermediários e de fechamento dos circuitos do maxilar superior. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

3.9 Montagem do sistema.

Conforme antecipamos em **3.3. Fabricação digital aditiva por impressão SLA-LCD** (na página 67), assim como os ossos reais do crânio humano apresentam suturas intertravadas que não permitem desmontá-lo como um quebra cabeças, a concepção de um sistema tridimensional com muitas 183 peças plásticas e 56 peças metálicas peças como este pode nos levar a um conjunto de montagem complexa ou mesmo impossível.

A ordem de montagem teve que ser estudada por meio de animação, não refletindo exatamente a sequência descritiva que vimos anteriormente em **3.8 Anatomia da ossatura** - reiterando que os termos “anatomia”, “ossatura” e mesmo “crânio” não implicam em um funcionamento nesse sistema artificial idêntico aos naturais, apesar de referenciados por neles.

Também mencionamos antes o termo subsistema, que para a questão da montagem também é determinante e não só como forma de compreensão do projeto por suas partes. A forma como descrevemos alguns desses subsistemas na tipificação dos músculos e na estruturação da ossatura já se aproxima da sequência de sua montagem para para cada conjunto lateral de mecanismo de pálpebra, quanto para a movimentação do globo ocular e as caixas de controle de movimento das órbitas.

O único detalhe é que a parte frontal do globo ocular tem suas escleras, íris e pupilas pintadas e envernizadas antes da montagem. Os volumes das córneas são formados por gotas de cianoacrilato pastoso.

Como descrevemos em **3.7. Estratégias de moldagem**, a parte inferior da peça rígida do pescoço e parte dos ombros se encaixa tanto nos moldes para formação da pele quanto na base de sustentação da escultura (páginas 98 e 99).

Então, com essa peça do pescoço temporariamente presa a esta base, montamos sobre ela todos os componentes da parte posterior da cabeça, na mesma sequência em que foram descritas em **3.8 Anatomia da ossatura**, (figuras 57 a 60) em roxo na próxima figura.

Também são montadas as peças que formam os túbulos que alimentam o subsistema dos olhos (D na próxima figura), somando-se duas peças laterais que servirão de apoio para a junção com a parte da frente do rosto (peças alaranjadas assinaladas com A na próxima figura).

Com esse trecho pronto já é adicionado o mecanismo de movimentação da mandíbula com apenas as peças posteriores que contem as três terminações em nipe de cada lado (azul na próxima figura).

Nesse momento, não se conclui a montagem da mandíbula para permitir acesso a montagem da parte anterior do rosto, enquanto preserva-se o contato entre as arcadas dentárias previamente pintadas e envernizadas.

Os nipes da mandíbula mais internos são conectados com os nipes de base quadrada (verdes), alimentando os queixos (B).

Os nipes do meio alimentam de ar os músculos da tristeza (*depressor anguli oris*), conectando-se com os tubos de silicone que sobem por dentro da cabeça.

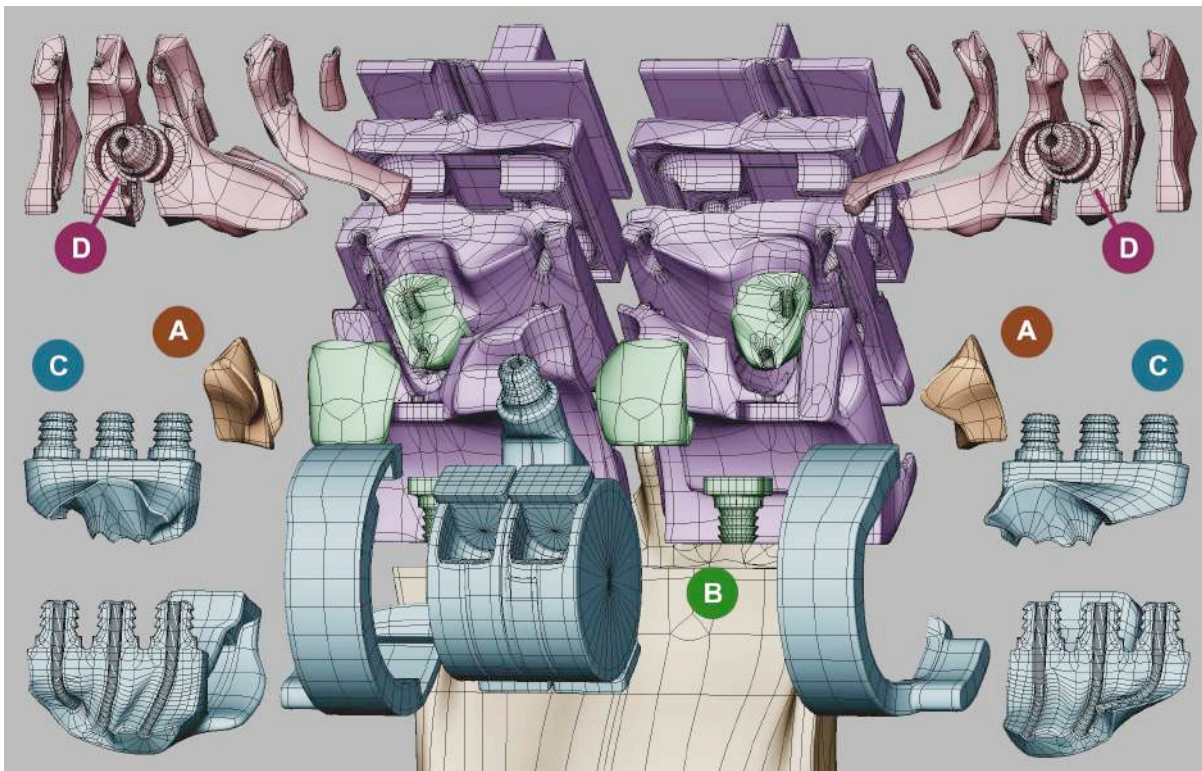
Os tubos ligados aos nipes exteriores (C), aguardam a colagem de sua extremidade nos nipes que alimentam o movimento horizontal do lábio inferior (*orbiculari oris*), que se

localizam nas partes laterais e posteriores do maxilar superior (ligação C - D na figura 66), antes desse conjunto ósseo ser aderido à parte posterior da face.

Os três pedaços de tubos que se conectam nos três nipes da mandíbula tem um comprimento extra para que a própria articulação da mandíbula não os tracione. Conforme mencionamos antes (na página 99) eles são muito próximos, demandando engate simultâneo das três pontas de tubos nessa peça plástica, reforçado por colagem.

Nipes de cada lado se encaixam horizontalmente em nichos cilíndricos (D) nos grupos de condução pneumática para os olhos em forma de pontes (em rosa na próxima figura). Mas antes, são colados nesses nipes tubos com outros nipes idênticos nas outras extremidades para transmitir ar para os músculos *risorius*, através do maxilar superior na parte posterior do rosto.

Lembremos que essas estruturas em formas de pontes onde se encontram esses nichos cilíndricos condensam os túbulos de alimentação dos olhos nas laterais do crânio justamente para que haja esse espaço central para a passagem dos tubos de silicone durante a montagem.



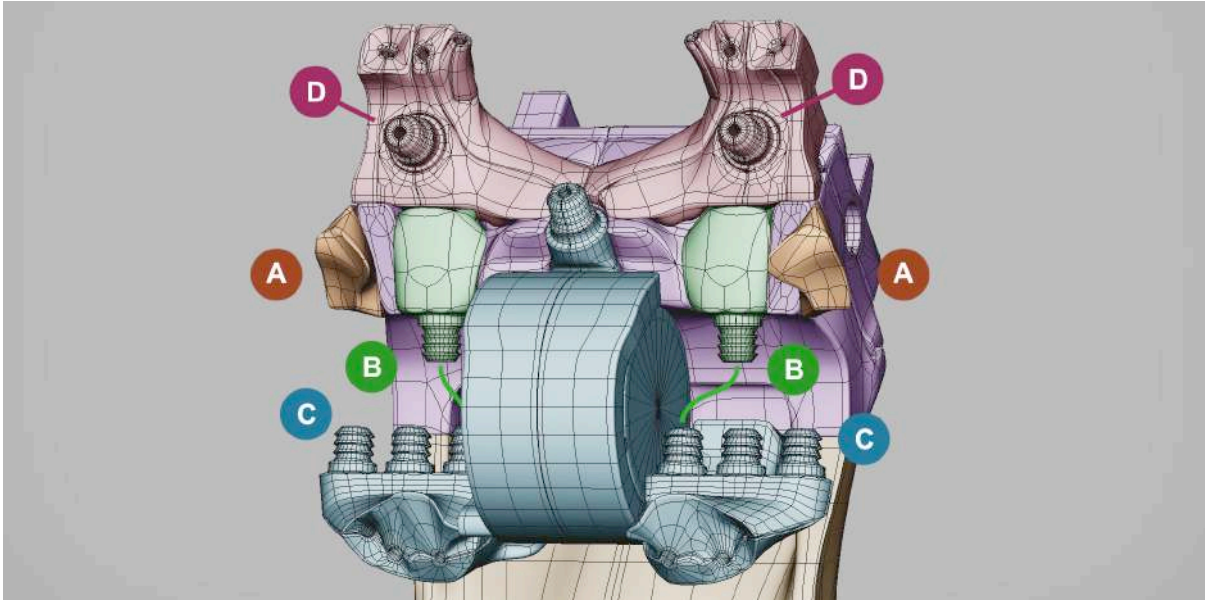
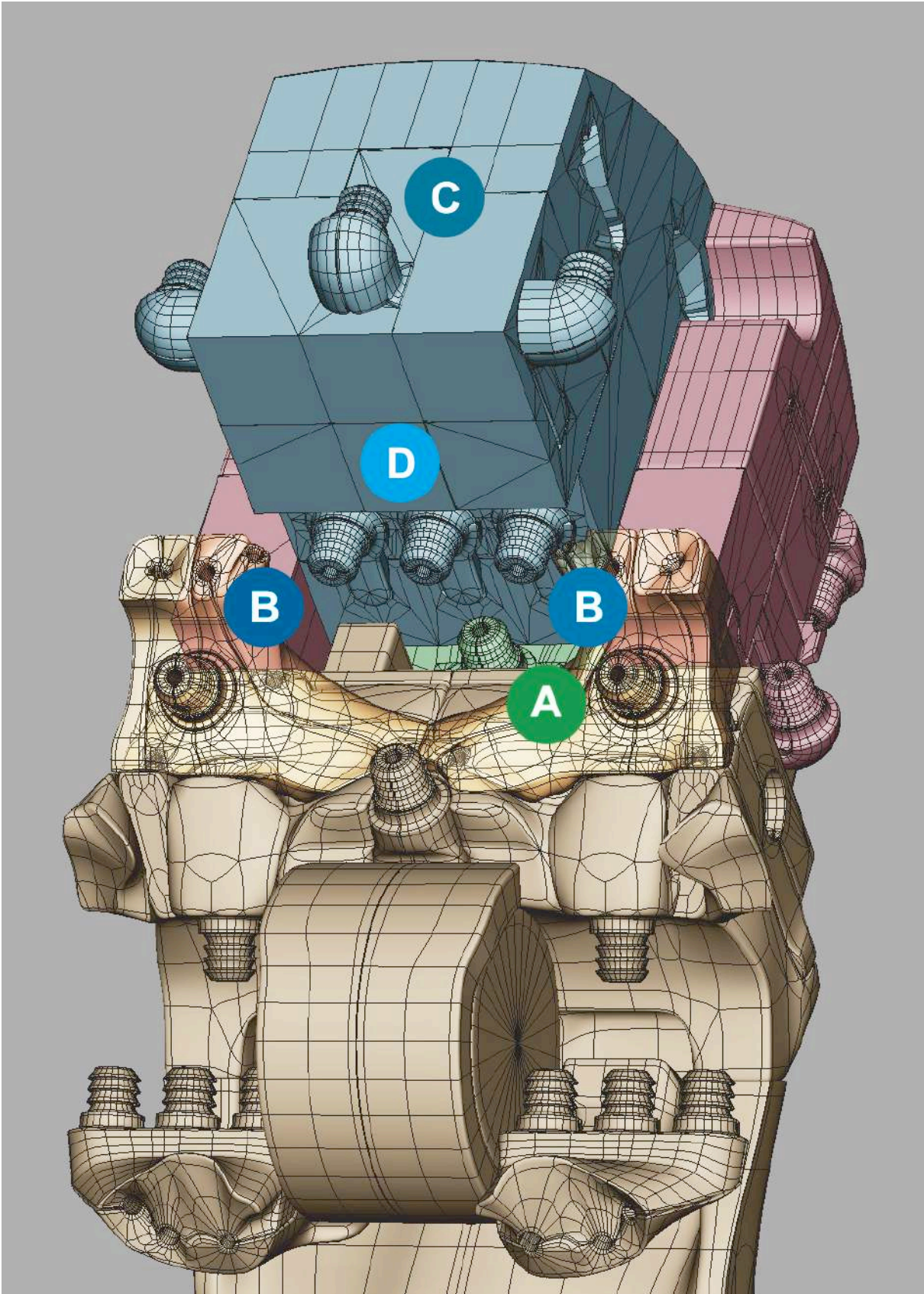


Figura 67. Primeira sequência de montagem da parte de trás da cabeça, incluindo os controles horizontais de movimentação dos globos oculares e controles de mandíbula e queixo. Não está representada a montagem das partes metálicas. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor. Versão animada disponível em: <https://youtu.be/zlfnQ-sIQv0> Acesso mantido pelo autor. Modelagem digital, renderização, composição e animação pelo autor.

Na segunda etapa da montagem são sobrepostas apenas três grupos de caixas de controle vertical localizadas na parte mediana e posterior da caixa craniana (verde, vermelho e azul), pois quatro dos seus nipes precisam ser conectados antes da continuação da montagem.

Esses nove nipes são para: o tubo que alimenta o mecanismo hidráulico de mandíbula (A); os dois tubos que alimentam o *depressor anguli oris* (B); o tubo que alimenta o franzido no nariz, com nipes em seus dois extremos para serem colados posteriormente (C) a conexão da mandíbula (D) e os quatro nipes dos músculos das sobrancelhas internas (E).

As caixas de controle vertical na ordem em que são montadas são: o grupo de queixo e mandíbula (verde), os controles de movimento horizontal da boca (vermelho) e o grupo de caixas (azul) que controla sorriso-tristeza, franzido do nariz e movimento interno das sobrancelhas. Mas esse último grupo não deve agora ser colado - só encaixado.



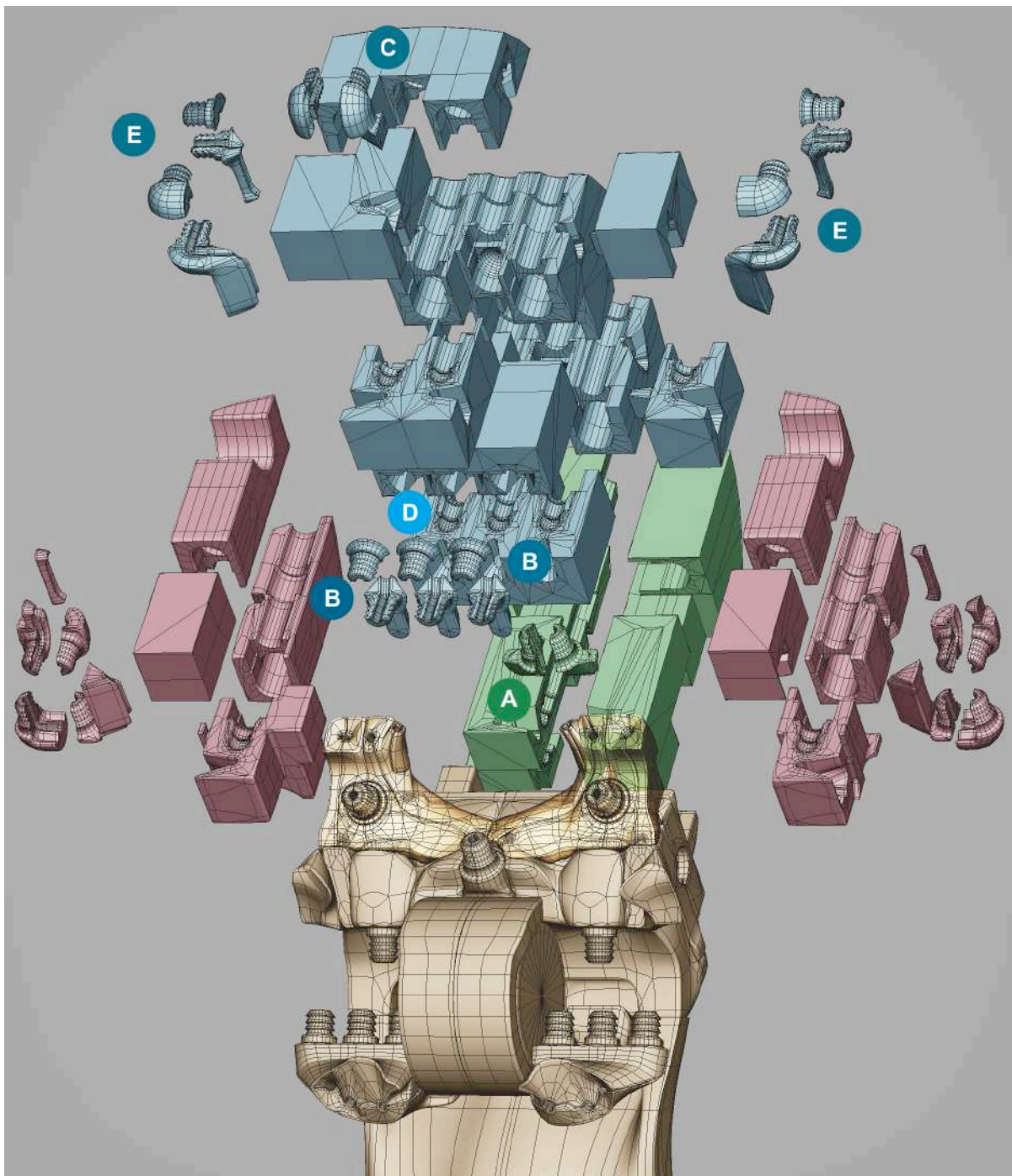


Figura 68. Segunda sequência de montagem da parte de trás da cabeça, com preparação de conexões em tubos de silicone antes do fechamento com a parte da frente. Não estão representados os tubos em si e a montagem das partes metálicas. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

Versão animada disponível em: <https://youtu.be/-IURCchd6zY> Acesso mantido pelo autor.
Modelagem digital, renderização, composição e animação pelo autor.

Na terceira sequência há uma peça no centro da cabeça que integra o subsistema de movimento das pálpebras. Ela apresenta as metades internas dos tubos circulares de confinamento dos músculos de acionamento das pálpebras (A).

Ela é ligada aos dois componentes centrais da frente entre os olhos e acima do nariz que constituem o circuito do músculo de franzido de nariz (B), fixando-o em seu soquete.

Então são montados cada lado do subsistema (C) de movimento das pálpebras²⁷ e unidos às respectivas peças de fechamento dos soquetes inferiores do movimento interior de sobrancelhas (D), fixando as extremidades desses músculos.

Os subsistemas de movimento dos globos oculares são montados em grupos separados de cada lado, mas sem incluir as peças que fecham os músculos mais exteriores nas laterais da face (como ocorre nas figuras 43, 63 e 64).

Agora, esses subsistemas são encaixados por trás dos mecanismos de movimento das pálpebras, unindo-se pelo meio, como é demonstrado no final da versão animada da figura 45 (com *hiperlink* na página 89).

Soma-se a essa parte da frente (vermelha e roxa) ao conjunto posterior vertical de caixas de controle (azul na figura anterior e na próxima) ainda não aderido ao resto da cabeça para permitir o ajuste de adesão aos grupos de condução pneumática para os olhos, em forma de pontes por trás dos olhos. Adiciona-se lateralmente os componentes que fecham os músculos externos de sobrancelhas (E), completando a parte superior do rosto.

Em sequência, monta-se o conjunto referente ao maxilar superior (em tons de verde), iniciando-se pelas duas peças internas que fecham o circuito do músculo vertical do lábio superior. São então montados os nipes de base circular alimentadores dos *risorius* (F).

As peças que complementam externamente os soquetes dos músculos *risorius* (G) são adicionadas iniciando a fixação do conjunto muscular em biotensegridade ao se prender esses músculos. Elas iniciam os circuitos dos músculos horizontais do lábio superior e sua bifurcação para ser conectada com a mandíbula, bem como metade do soquete dos *zygomaticus major*. Somam-se agora as peças que completam esses circuitos do maxilar superior (H) e o conjunto pode então ser colado por baixo da parte superior da face e nos apoios da parte posterior.

²⁷ Como demonstrado na figura 45, nas páginas 88 e 89.

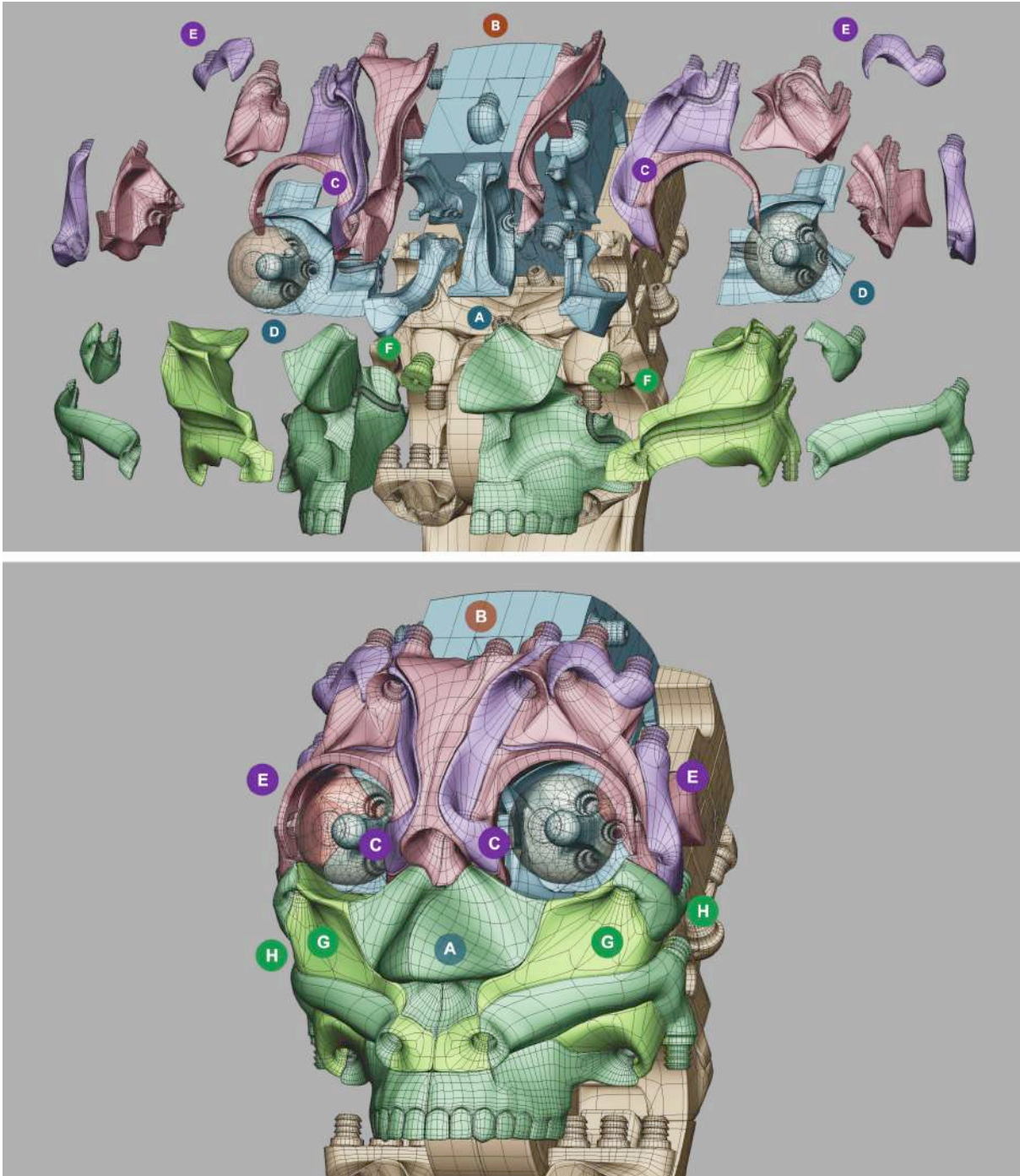


Figura 69. Terceira sequência de montagem referente ao rosto com fixação da musculatura correspondente. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

Versão animada disponível em <https://youtu.be/jRjF7rtA6y8> Acesso mantido pelo autor. Modelagem digital, renderização, composição e animação pelo autor.

Continuando a somatória dos controles presentes na caixa craniana, adiciona-se os controladores que acionam os músculos externos de sobrancelha (A). Para que elas possam se encaixar, é preciso que os nipes superiores (roxo) das suas vizinhas caixas de controle dos *zygomaticus major* e *depressor angulii oris* ainda não estejam encaixados

(sorriso e tristeza, letra B). Eles são introduzidos posteriormente, através da cavidade oval (B) que se forma com a adição dessas últimas caixas de controle.

Já com esses nipes aderidos posicionando os tubos de silicone, é que se insere as últimas caixas de controle na posição lateral traseira (C), responsáveis pela atuação das pálpebras e enfim, completando toda a montagem do sistema de movimento.

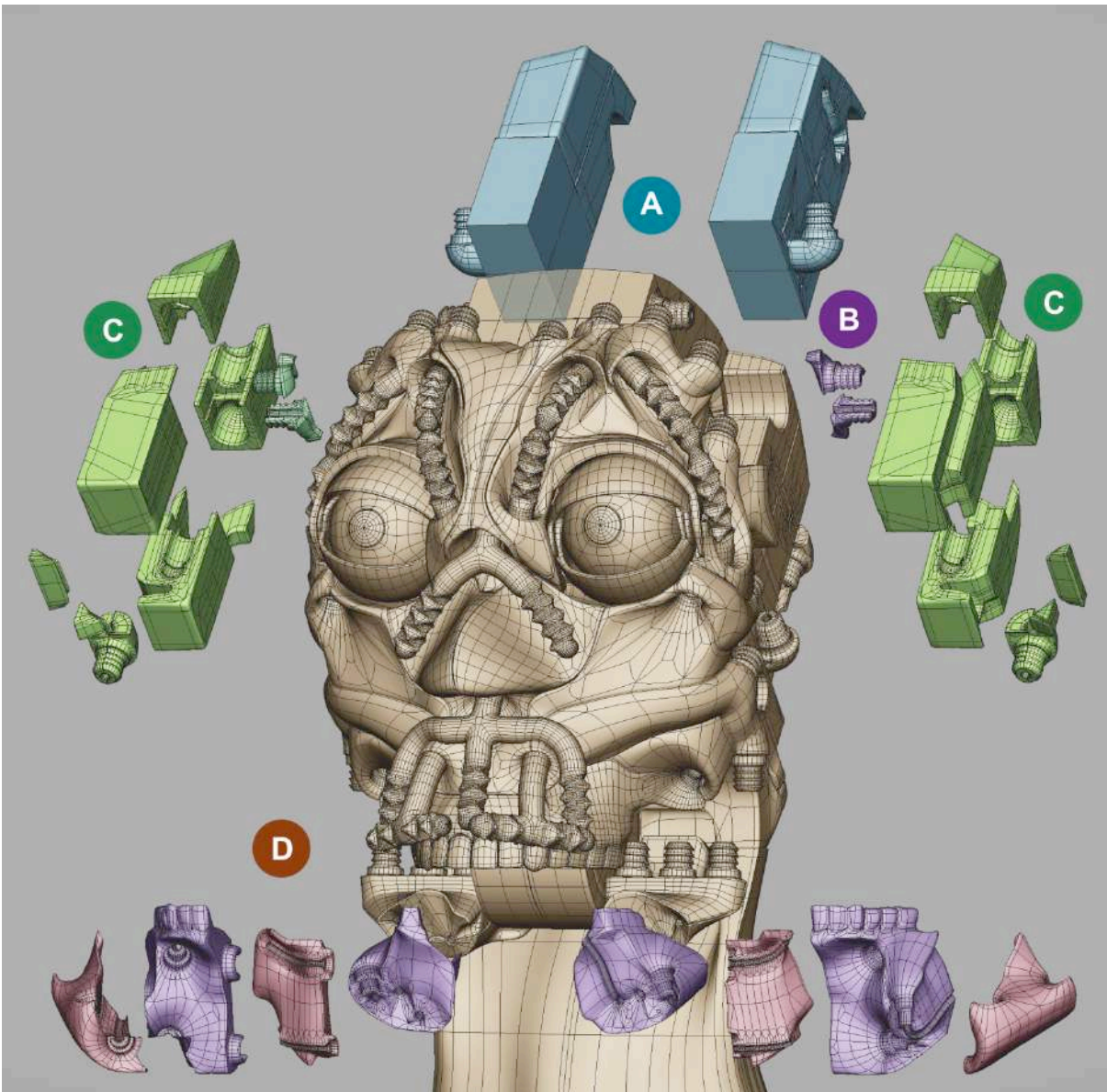


Figura 70. Montagem restante da mandíbula e das últimas caixas de controle com estratégia de sequenciamento incorporada na geometria. Modelagem digital, renderização e composição pelo autor.

Versão animada disponível em: <https://youtu.be/FSQGfXy5HDc> Acesso mantido pelo autor. Modelagem digital, renderização, composição e animação pelo autor.

3.9.2 Montagem do subsistema hidráulico da mandíbula.

Como mencionamos anteriormente, o subsistema hidráulico de acionamento da mandíbula exige um método de integração específico. Por ser inerte, pretendemos utilizar fluido de freio automotivo inserido no atuador primário e no secundário por imersão e sucção ao atuar-se os próprios êmbolos. A formação de bolhas poderá ser checada por exame visual do subsistema em lupa e/ou macrofotografia, uma vez que ele é transparente, na falta de uma câmara de vácuo.

Restará o enchimento da mangueira de silicone que os conecta, também por imersão e sucção ao pressionarmos e soltarmos o tubo submerso no fluido de freio. Ele também é transparente, permitindo a checagem visual da formação de bolhas.

Ainda submerso, ele será parcialmente conectado com a ponta em um dos nipes presentes nos conjuntos de êmbolos primário e secundário. Se ainda restar uma bolha, o conjunto será novamente imerso para forçar a sua expulsão, permitindo repetir em seguida a mesma preparação para adesivação.

Fora da imersão e secos, eles poderão receber aplicação do *primer* reforçador de adesivação para silicones primeiramente em um dos nipes. Esperamos que a compressão tornada possível pelo volume de uma eventual bolha de ar residual seja desprezível no subsistema.

4. Expectativas para o protótipo.

Considerando os limites temporais da pesquisa, concluímos esse texto com seu correspondente desenvolvimento prático em significativo avanço, porém ainda incompleto. Como relatamos e demonstra o registro fotográfico e videográfico, a execução dos componentes observou uma complexidade presumidamente decrescente, iniciando-se pela usinagem dos parafusos de potência e suas respectivas e individualmente ajustadas porcas e na sequência ocupando-se das caixas de controle, cujo processo pode ser observado na série de registros em vídeo mencionada na legenda da figura 23, página 59.

A sua substituição das caixas metálicas pela versão plástica se mostrou inadequada, demandando uma futura retomada da micro usinagem na abordagem por divisão transversal. Os moldes dos músculos como projetados estão prontos, aguardando a sua checagem. **3.7 Estratégias de moldagem**; as partes ósseas descrita em **3.8 Anatomia da ossatura**; parte dos moldes finais da superfície exterior; as peças do pedestal de sustentação e envoltório da base do busto.

Seguindo a estratégia relatada em **3.9 Montagem do sistema**, restam então: a montagem das caixas de controle pneumáticas e o sub-sistema hidráulico (conforme detalhamento anterior **3.9.2**); a moldagem dos músculos de silicone sob pressão, sua montagem junto às partes ósseas; a moldagem da pele de silicone envolvendo os músculos e o acabamento da superfície.

As delicadas tarefas relacionadas ao silicone são mais uma limitação para uma conclusão breve do protótipo, por constituírem uma técnica ainda não ensaiada no curso da pesquisa. Já prevemos que o corte do silicone para a definição do limite das pálpebras é uma operação delicada visando não prejudicar o acabamento pictórico dos globos oculares.

Antes da borda das pálpebras, os furos dos ouvidos que precisam ser executados para permitir o controle de posicionamento dos globos oculares em área menos crítica por baixo do trecho que se cortará da borda de cada pálpebra.

Outra peculiaridade é que os lábios precisam se desgrudar e constituir uma curvatura interna que parte da tangência entre eles e faceia os dentes. Para tal, foi desenvolvida uma peça para ocupar esse espaço durante a moldagem da pele, permitindo que um corte se encontre com essas curvaturas.

Mas depois de impressa tridimensionalmente é que percebemos que um fragmento de cerâmica plástica PVC modelado com essa forma e grudado na frente dos dentes pode proporcionar o mesmo resultado e ser mais fácil de ser removido por sua maleabilidade.

A pintura dos olhos, dos dentes e suas gengivas utilizará tintas acrílicas próprias para pintura de miniatura, aplicadas manualmente em pincel 000 e pouco maiores, forçando a representação de luz e sombra para melhor definir as formas na diminuta escala.

Como não houve tempo para imprimir a superfície externa da cabeça em positivo, realizar tratamento de superfície e só então realizar manualmente os moldes negativos, o caráter estratificado da impressão mesmo na escala de 50 microns pode ficar evidente na superfície dos moldes já impressos em negativo.

Mas esse eventual corrugado marcadamente digital pode ser mitigado na pigmentação da pele: o silicone catalisado por platina pode ser pintado a mão com pincel, em pigmento especial também siliconado, criando finas camadas que podem cobrir as entrâncias decorrentes do molde impresso digitalmente.

O esquema pictórico deve ser variado para que se possa compreender a dinâmica da superfície, mas que também ofereça trechos translúcidos favorecendo a compreensão do mecanismo.

5. Considerações finais.

No sentido estrito, entendemos que talvez tenhamos projetado a primeira face exclusivamente animada por mecanismos de acionamento indireto e também única na utilização de mecanismos hidropneumáticos no âmbito da animação por stop motion. Porém, mesmo que venhamos a constatar que essa exclusividade não perdure em futuras soluções para a mesma demanda, esperamos que tenha sido um exercício proveitoso na compreensão de suas possibilidades.

Sabemos que, apesar do nosso esforço em gerar uma razoável amplitude de variabilidade para uma face animada quadro a quadro, o que ela representa é por comparação infinitamente mais complexa: a principal interface dos seres sociais que somos, resultantes de milhares de anos de evolução - um número que condensa probabilidades ainda muito distante da quantidade de combinações expressivas tornadas possíveis no sistema ensaiado nesse projeto.

Mas talvez essa meta nunca precise ser atingida, mesmo que venha a ser possível, porque toda forma de representação é uma síntese. E a animação tem sido mais bem sucedida em gerar empatia e engajamento com rostos sintéticos do que muitos projetos do âmbito da robótica, em sua insistência com a imitação total de aspectos estáticos sem a correspondente implementação dos aspectos dinâmicos, gerando nesse contraste o recorrente "vale da estranheza" - conceito da robótica que descreve a repulsa por um hiperrealismo incompleto.

O contraste é o princípio compositivo fundamental da *Gestalt* e deve ser utilizado com estratégia. Consideramos que o estilo volumétrico da cabeça (espaço) deva ser tão

sintético quanto a limitação de movimentos (tempo), criando um sistema espaço-temporal coeso que opera o contraste pela sua síntese do rosto humano e não apresentando uma incongruência sem significado estético em si. Ou seja, o conhecimento artístico pode ser oportuno para o campo da robótica de antropomorfos.

Mas ainda no uso passivo do sistema aqui proposto em sua aplicação para o stop motion, entendemos que assim como um instrumento musical para um músico é a própria extensão do seu corpo, o boneco de stop motion é para o animador o seu corpo inteiro enquanto anima.

Quanto mais sensorialmente variável for esse corpo para quem o toca e o vê, mais ressonante será a sua arte. Mas todo e qualquer instrumento é incompleto, assim como o ser representado no personagem de uma narrativa - e como também haveria de ser o espelhamento da sua alma. Deixar essa complementação ocorrer pela imaginação e engajamento do espectador é prerrogativa da fruição artística.

Portanto, toda a complexificação técnica desse projeto parte de um ânimo nutrido pela eficiência da tecnologia em oferecer a precisão como condicionante de viabilidade da expectativa de se obter um resultante singular, mas entendemos que a técnica é um meio que precisa encontrar a sua validação enquanto facilitadora da expressão.

Apesar nos atermos ao recorte da animação facial por mecanismos internos de acionamento indireto para o stop motion em um contexto de doutoramento em Artes, na linha de cinema, percebemos que esses recursos tanto extrapolam esse contexto como propõem indagações transversais sobre a interligação entre arte e tecnologia, objeto e imagem, tempo fílmico e tempo performado, boneco, autômato e andróide - criador, criação e criatura.

Também iniciar um contato com o universo escultórico do Aleijadinho mesmo que através de um distanciamento na reinterpretação estilística não pode ser um gesto impune.

Suas obras e todo o contexto da arte sacra que sua época apresenta na peculiaridade de Minas Gerais se dá para expressar narrativas, como os Passos da Paixão, no mencionado Santuário de Bom Jesus dos Matosinhos em Congonhas do Campo, Minas Gerais.

Inclusive a mencionada Professora Dra. Regina Emery Quites chamou a nossa atenção para o uso de imagens articuladas já naquela época, utilizadas em encenação de histórias bíblicas. Só lhes faltaram antecipar em um século a própria invenção do cinema para que os escultores sacros do século XVIII tivessem sido precursores do stop motion.

Não podemos deixar de notar também que uma dessas cenas - o presépio - é o tema de uma obra processual e inacabável - como humildemente também sentimos ser o nosso estudo, conciliando arte e tecnologia popular na automação intuitiva do também mineiro Raimundo Machado em seu Pipiripau. Temos estas obras e seus “motos” (perpétuos?) como uma indagação: o que a arte e as tecnologias do século 21 podem trazer para este mesmo tipo de impulso expressivo?

Mesmo que inconscientemente, estivemos nessa pesquisa imbuídos de um espírito animista que reverbera essas obras e seus contextos, ainda que atribulados com muitos desafios técnicos. Esperamos que o devido distanciamento temporal e a oportunidade de novas empreitadas de investigação nos tragam mais do que exatamente respostas, mas que aprofundem os nossos questionamentos, bem como acolham e encampem outros.

6. Referências.

6.1 Livros.

AMISS, John Milton Amiss, JONES, Franklin D. RYFELL, Henry. **Machinery's Handbook Guide: A Guide to Tables, Formulas, & More in the 31st.** Edition. Industrial Press, Inc. Março de 2020.

DUCHENNE DE BOULOGNE, G.B. **The mechanism of human facial expression.** Editado e traduzido do Francês para o Inglês por R. Andrew Cuthbertson. Cambridge University Press, 12 de Janeiro de 2008. ISBN-10: 0521032067 ISBN-13: 978-0521032063

DUTRA, Leonardo. **Tornando física a animação facial digital para a animação de bonecos: o caso Laika.** In: TAVARES, Mariana Ribeiro. GINO, Maurício Silva. Pesquisas em animação: cinema & poéticas tecnológicas. Editora Ramalhete, 2019, v1, p. 171 - 184. ISBN: 9786550340162

DUTRA, Leonardo, GINO, Maurício Silva. **Evolution of spatiotemporal resolvability in the technical development of stop-motion.** AVANCA | CINEMA 2019. International Conference. Edições do Cineclub de Avanca, Portugal. V1. Páginas 760 a 767.

_____. **From cartoon to facial animation in the contemporary stop-motion.** AVANCA | CINEMA 2019. International Conference. Edições do Cineclub de Avanca, Portugal. V1. Páginas 723 a 731.

_____. **Jim Randall's facial animation design for stop-motion by mechanical miniaturization.** Conferência proferida no ExperimentaAnima - 1º Encontro de Animação Experimental. DADIN - UTEP. Departamento Acadêmico de Desenho Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 24 de Agosto de 2020.

ECKERMAN, Paul. **A linguagem das Emoções.** Traduzido por Carlos Szlak. Editora LeYa. Primeira edição em português em 2011. ISBN-10: 8563066420 ISBN-13: 978-8563066428

HOLLINSHEAD. W.H. **Anatomy for Surgeons. Ed. 3, Vol 1. The Head and Neck.** Harper & Row, Hagerstown, 1982.

MARTIN, Joe. **Tabletop Machining: a basic approach to making small parts on miniature machine tools.** 1999. Sherline Products Inc. Segunda edição. ISBN 0-9665433-0-0

MESQUITA, Marilisa da Silva. **O Sorriso Humano**. Dissertação de Mestrado em Anatomia Artística. Universidade de Lisboa. Faculdade de Belas Artes.

MOTRO, René. **Tensegrity: Structural Systems for the Future**. Butterworth-Heinemann; 1ª Edição (1 junho 2003). ASIN: B001KZGWEW

OSIPA, Jason. **Stop starring: Facial Modeling and Animation Done Right**. Terceira Edição. Wiley Publishing. 2010

PRIEBE, Ken. **The Advanced Art of Stop-motion**. Boston: Course Technology PTR. 2010.

PURVES, Barry J. C. **Stop Motion: Passion, Process and Performance**. London: Focal Press. 2008.

RAMOS, Fernão Pessoa. **Bazin espectador e a intensidade na circunstância da tomada**. Revista Imagens no 8, Maio/Agosto, 1998, pp.98 - 105.

SCARR, Graham. **Biotensegrity: The Structural Basis of Life**. Handspring Pub Ltd;, 2019. ISBN-10: 1909141844 ISBN-13: 978-1909141841

STAREVITCH, 1936. Ladislav apud POTAMKIN, Harry Alan. **Dolls in Motion: Starevitch Reveals Secrets**. World Film News and Television Progress, v. 1, p. 13. Disponível em: <<http://archive.org/stream/worldfilmnewstel01worl - page/n21/mode/2up>>. Acesso em: 3 ago. 2012

6.2 Sítios na internet:

Mini-documentário sobre o longa-metragem *Boxtrolls*, de 2014. Disponível em: <https://youtu.be/thxGicLUkx8> Acesso em 14 de Setembro de 2020.

Mini-documentário sobre o longa-metragem *Frankenweenie*, de 2012. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sxcikdUO0vc> Acesso em 14 de Setembro de 2020.

Vídeo no qual animador iraniano Mojtaba Moustavi demonstra animação facial por mecanismo interno de acionamento indireto. Disponível em: <https://vimeo.com/132512629> Acesso em 14 de Setembro de 2020.

Sítio de Bradley McNaughton, Modelador de substitutivos de animação facial para a Aardman. Disponível em: <https://bradleymcnaughton.weebly.com/aardman-work.html>
Acesso em 14 de Setembro de 2020.

Referencial de expressões codificadas pelo FACS. Disponível em: <http://cicem.com.br/pesquisa/boomerang-facs-code-database-estudo-de-validacao-da-base-de-dados/> Acesso em 14 de Setembro de 2020.

6.3. Filmes.

BOXTROLLS. Direção de Graham Annable e Anthony Stacchi. Produzido por: David Bleiman Ichioka, Matthew Fried e Travis Knight. Portland, Oregon: Laika Entertainment, 2014 (96 min), son., color. Blu-ray e DVD. Tradução de The Boxtrolls.

IN THE FALL of Gravity. Direção e Produção de: Ronald S. Cole. Wobbly Tripod Productions. 2008. (11 min), son., color. Indieflix em DVD. Disponível em: https://youtu.be/PacDj_7GX3M e <http://itfog-dvd.blogspot.com/> Acesso em 10 de Setembro de 2020. Sem título em português.

FRANKENWEENIE. Direção de: Tim Burton. Produção de: Allison Abbate, Tim Burton, Derek Frey, Don Hahn, Connie Nartonis Thompson e Simon Quinn. EUA, Reino Unido: Warner Bros. 2012. (77 min), son., color. Título idêntico em português.

THE FOOL of The World and the Flying Ship. Direção de: Francis Vose. Produção de: Chris Taylor. Manchester, Reino Unido: Cosgrove Hall Productions & WGBH Boston. Thames Television. 1991. (60 min), son., color.

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZbKFAy97fYQ> Acesso em 10 de Setembro de 2020. Sem título em português.

THE GREAT Cognito. Direção e Produção de Will Vinton. Animação e modelagem de Barry Bruce. Portland, Oregon - EUA: Will Vinton Productions, 1982 (4min), son., color. DVD. YouTube. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=TIrcsUoP_n4 Acesso em 10 de Setembro de 2020. Sem título em português.

MARTE Ataca! Dirigido por: Tim Burton. Produzido por: Tim Burton, Paul Deason, Larry Franco, Mark S. Miller, Mary Ann Marino, Laurie Parker. Tim Burton Productions, EUA: Warner Bros. 1996. (106 min), son., color. Tradução de: Mars Attacks!!

MOI, Barnabé (I, Barnabas). Direção de Jean-François Lévesque. Produção de Julie Roy. Canadá: National Film Board of Canada. 2020. (16 min), son., color. Sem título em português.

A NOIVA Cadáver. Direção de Mike Johnson. Produzido por: Allison Abbate e Jeffrey Auerbach. EUA, Reino Unido: Warner Bros. 2005. (77 min), son., color. Tradução de: Corpse Bride.

THE NEW Gulliver (Novyy Gulliver). Dir. Alexandr Ptushko. Produzido por A. Minin. União das Repúblicas Socialistas Soviéticas: Soyuz Video studio, 1935 (75 min.), son. p&b. DVD. Disponível em: https://youtu.be/CkW8v_qbQbl Acesso em 10 de Setembro de 2020. Sem título em português.

LE ROMAN de Renard (The Tale of The Fox). Irene e Ladyslas Starevich. Produzido por Louis Nalpas e Roger Richebé. Paris, França: Paris Cinema Location, 1937 (63 min). son. p&b. Doriane Films. DVD (2006). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=gzgsAWnZTaU> Acesso em 10 de Setembro de 2020. Sem título em português.

RIGOLETTO. Direção de: Barry Purves. Produzido por: Christopher Grace, Glenn Holberton, Colin Rose, Mikael Shields. Manchester, Reino Unido: Bareboard Productions para a BBC e S4C para a série Operavox. (28 min), son., color.

SHAUN, o Carneiro. (Shawn, the Sheep). [Série] Direção de: Richard Golezowski, Ian Carney, Trevor Ricketts, Glenn Dakin e Rob Dudley. Produção de: Miles Bullough, Peter Lord, Nick Park e David Sproxton. Bristol, Reino Unido: Aardman Animations para Netflix, British Broadcasting Corporation, CBBC, BBC One e TV Cultura (no Brasil), 2007. (20 episódios de 7 min), son., color.

7. Originais de citações traduzidas.

Página 19. PURVES, 2010, p. 85.

(....) Elements where the movement might fight the natural tension of the skin, such as opening a jaw, might need a geared device to hold it open. (....) 2010, p. 85.

Trecho de entrevista com os diretores de Boxtrolls Annable e Anthony Stacchi (citado na página 33):

(...) And the reason we have to do it in that way is (because of) so much hair on his face that had to be animated. We couldn't print out all that hair everytime. (There's no way to get in there - diz Annable). So we make him a traditional character. But I thin it's kind of great! After have seeing all those other characters for so long, and saving Herbert to the end, when he does show up it's not like you saying: "Oh, that guy doesn't look good as the other guys" He's so fantastic looking and so well animated, swinging upside down. Its kinda of nice just when you though: "there's nothing new in this movie" Them you calm down a little, you meet this extraordinary, weird looking character. (...) STACCHI, 2014.

Página 43. Correspondência com Ron Cole por e-mail:

(...) The metal parts in front of the teeth on both jaws are what I've always referred to as the 'second set of jaws' which control the height of the lips separate from the jaw position. Each lip has 3 metal strips attached to them, the ones on the left and right can slide side to side and the center one is hinged so that it can push forward for the "O" pose. All three are attached to a plate inside the skull that is held down in the closed position by a spring steel clip and can be pulled open by a cable. (see attached photo) (....) [COLE, 2018]

Página 44. *Ibdem.*

(...) When I say that they are pressed down in the closed position, what I mean is that the lips will remain closed even if the jaw is partially opened, just like real human lips can. The opposite is also possible, the teeth can be completely clenched while the lips can be pulled open for a smile or growl. That's important because there's nothing more familiar to viewers than a human face and we instinctively know that when pronouncing the letter "M" our teeth are open and our lips are closed. (...) [Ibdem, 2018].

Página 45. *Ibdem.*

(...) One difficulty in adjusting the faces is that sometimes in order for one cable to pull, another must loosen and so to help minimize the amount of knob turning, I created a plate inside the control box that would do that for

me. For example, when making the lips pronounce the "O" the tension had to be slacked off of the smile and frown cables... so the "O" control also pulled a plate with holes that the smile and frown cables ran through, causing them to automatically loosen as the "O" was tightened. That is a luxury I've not been able to duplicate when the controls are located inside the head. (...) [*Ibdem*, 2018].

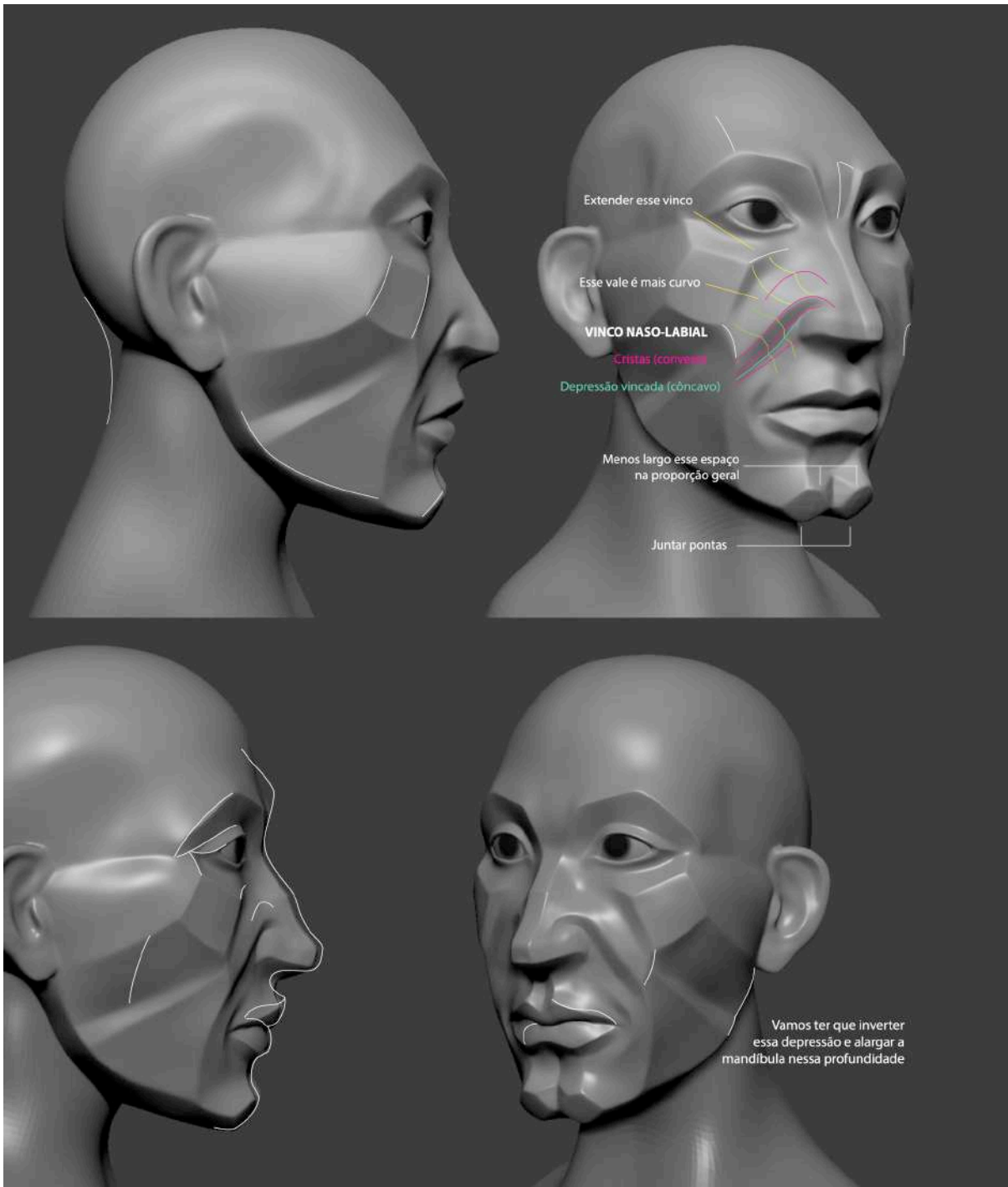
Página 47. *Ibdem*.

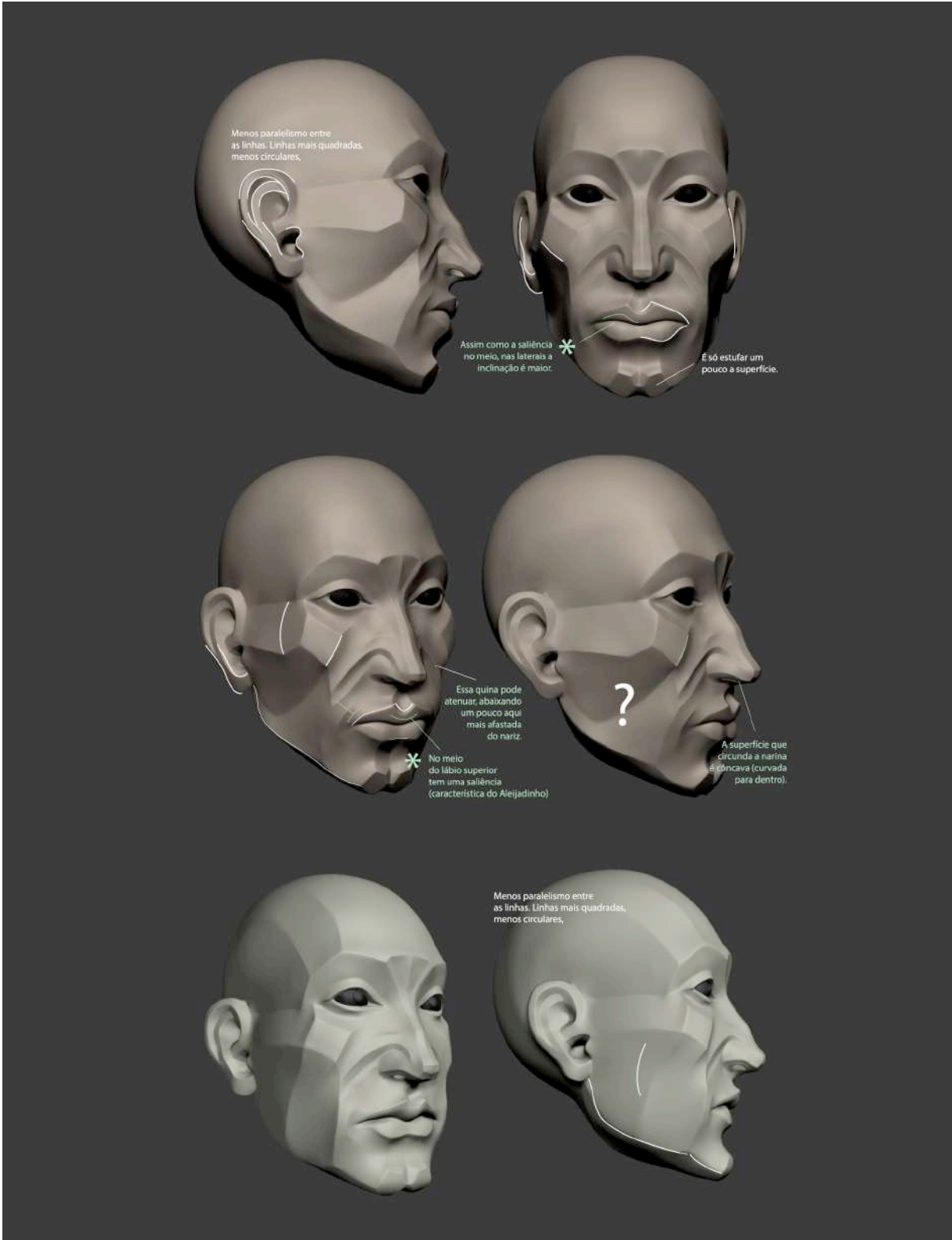
(...) Back when I made 'In the Fall of Gravity' it was impossible to glue the metal to silicone so that's why I opted to use urethane rubber (SkinFlex III). I was able to simply super-glue the urethane to the steel. Now that it's possible to do the same with silicone (by using 'Loctite 770 Primer' on the silicone) my newer puppet faces are all silicone. In both cases (with silicone and urethane) there is always a danger of the rubber ripping, so I reinforce the rubber with a layer of nylon fabric (pantyhose) that's embedded inside the rubber while casting it in layers. (...) [*Ibdem*, 2018].

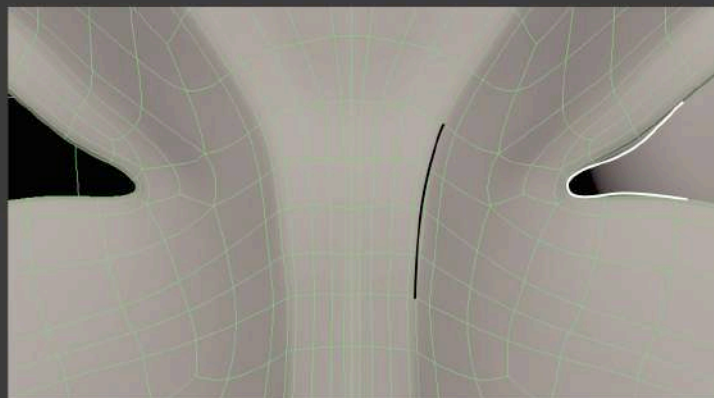
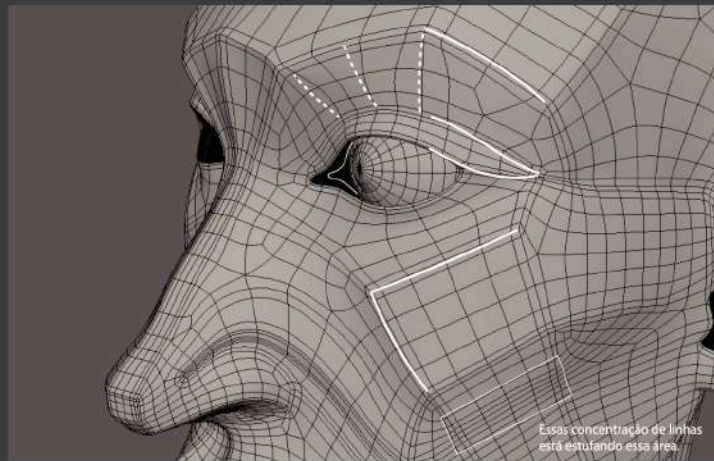
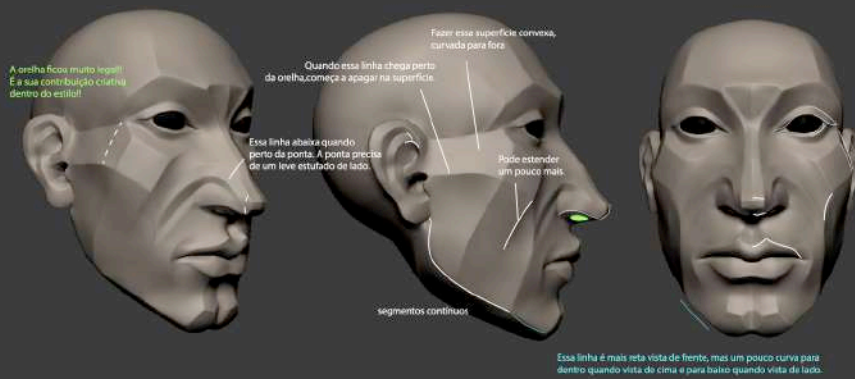
(...) Mechanizing a stop motion puppet face is always a battle for space. The scull must be strong enough to support all the tension being pulled on the rubber so the scull must be thick enough for that and the mechanisms each require space, so it's a bit like wristwatch making but that wristwatch has to be strong enough to pull a rubber face into a broad smile with raised eyebrows... LOL, not an easy task. So that's where having an external control box is a big advantage, it's so much easier to just run the cables into the puppet while all the controls are in a separate box, which allows me to move the face without touching it. (...) [*Ibdem*, 2018].

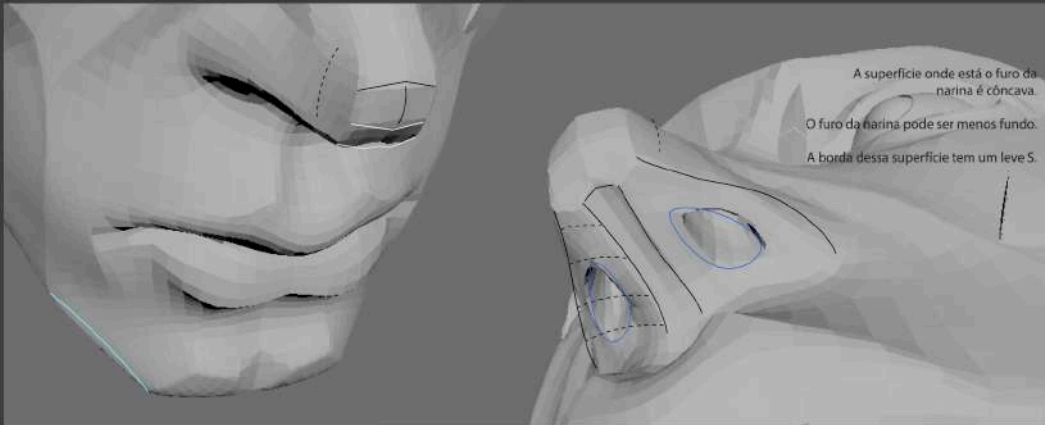
8. Anexos.

8.1 Comentários visuais de orientação de modelagem.

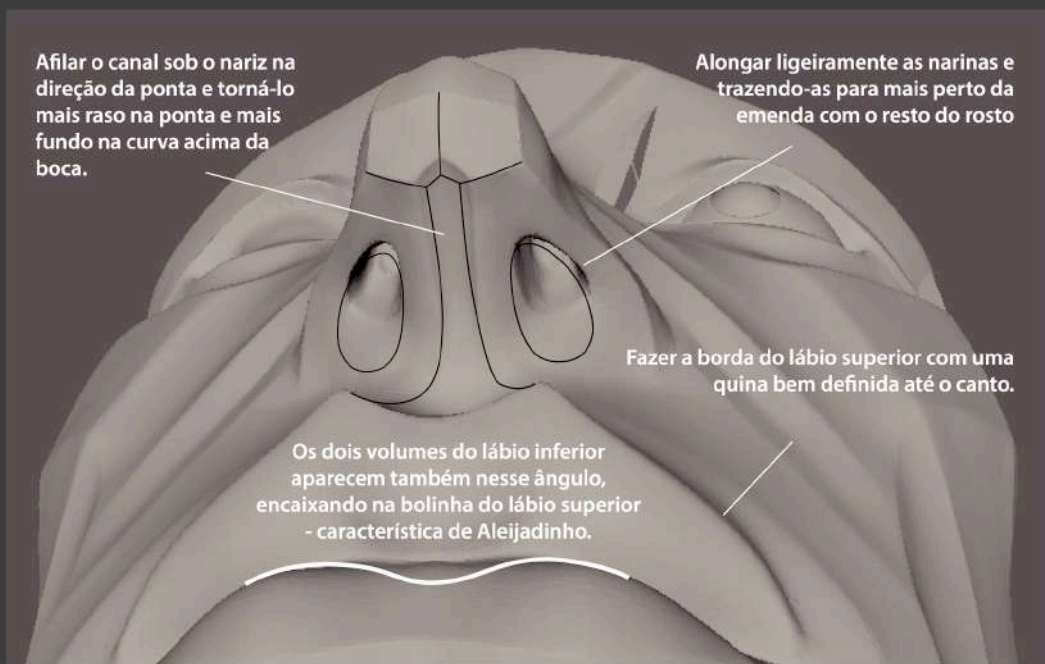








A superfície onde está o furo da narina é côncava.
O furo da narina pode ser menos fundo.
A borda dessa superfície tem um leve S.



Afilar o canal sob o nariz na direção da ponta e torná-lo mais raso na ponta e mais fundo na curva acima da boca.

Alongar ligeiramente as narinas e trazendo-as para mais perto da emenda com o resto do rosto

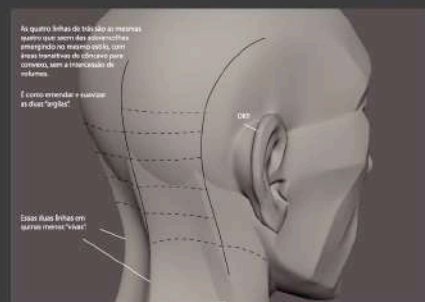
Fazer a borda do lábio superior com uma quina bem definida até o canto.

Os dois volumes do lábio inferior aparecem também nesse ângulo, encaixando na bolinha do lábio superior - característica de Aleijadinho.



Subir um pouco essas quatro linhas na superfície de trás da cabeça

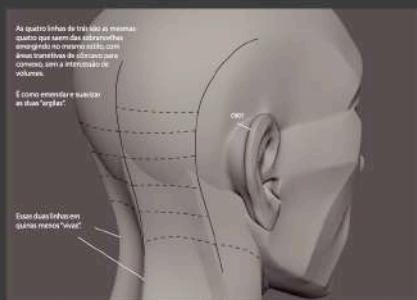
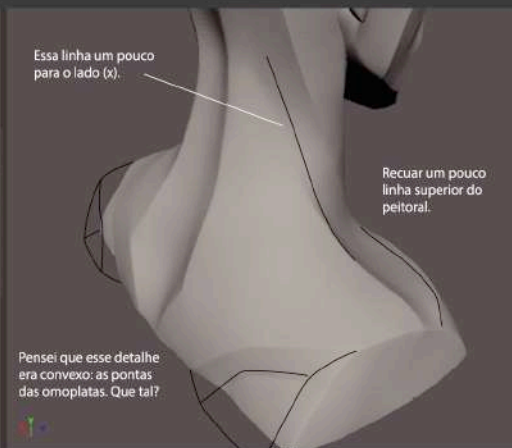
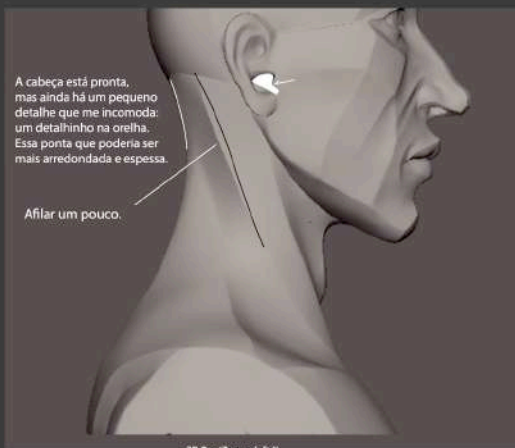
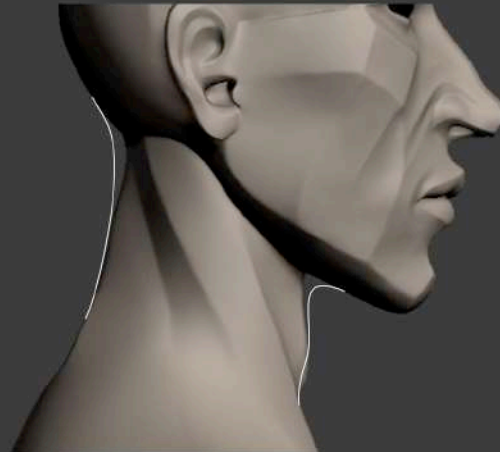
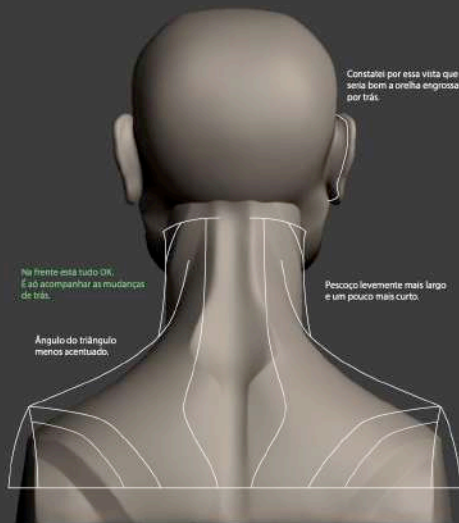
Não sei se o meu arquivo já é o com as orelhas mais grossas.



As quatro linhas de trás são as mesmas quatro que estão em posições diferentes em relação ao tempo de vida, com áreas topográficas de colarinho para conectar, sem a interrupção de reflexos.

É como entender e construir as duas "origens".

Essas duas linhas em outras versões "são".



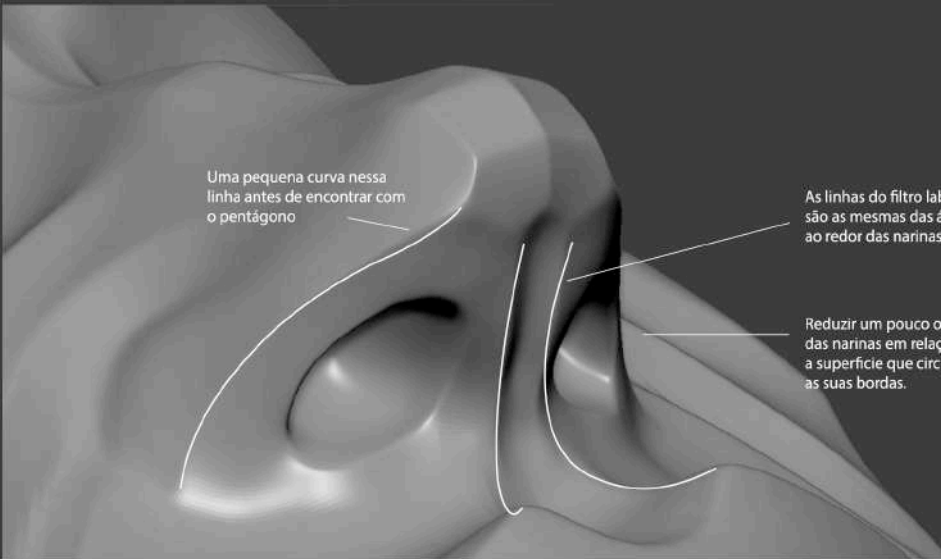


Recuar um pouco na parte de baixo dessa linha.

O vinco que comentei no anterior.

Esse vinco pode ser um pouco menos intenso.

Essas linhas podem ser ligeiramente mais curvas.



Uma pequena curva nessa linha antes de encontrar com o pentágono

As linhas do filtro labial são as mesmas das áreas ao redor das narinas.

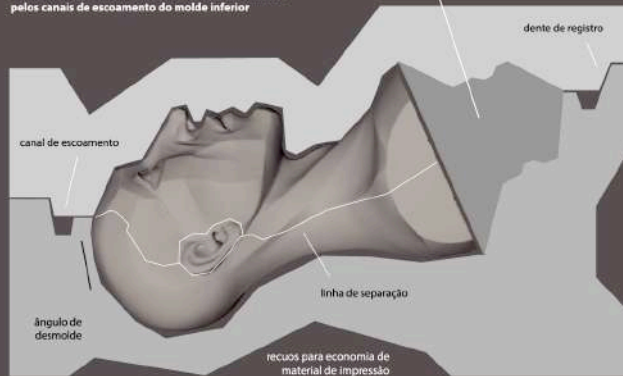
Reduzir um pouco os buracos das narinas em relação a superfície que circunda as suas bordas.

8.2 Comentários visuais de orientação de moldagem.



Orientação de moldagem

Molde superior fêmea liso para pressionar o silicone pelos canais de escoamento do molde inferior



Molde inferior macho com canais de escoamento

