



JOSÉ VALENTIM DAS NEVES ROSA

MODELO GEOMÉTRICO DOS MOVIMENTOS DA MÃO

**RIO DE JANEIRO
2017**



FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS

Escola de Matemática Aplicada

JOSÉ VALENTIM DAS NEVES ROSA

MODELO GEOMÉTRICO DOS MOVIMENTOS DA MÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Escola de Matemática Aplicada da Fundação Getúlio Vargas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do diploma de Graduado em Matemática Aplicada.

Orientador: Moacyr Alvim Horta Barbosa da Silva

Coorientador: Luiz Carlos Pacheco Rodrigues Velho

Tutor: Paulo Cezar Pinto Carvalho

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO APRESENTADO PELO ALUNO JOSÉ VALENTIM DAS NEVES ROSA, E ORIENTADO PELO PROF. DR. MOACYR ALVIM HORTA BARBOSA DA SILVA.

Assinatura do Orientador

Assinatura do Coorientador

Assinatura do Tutor

**RIO DE JANEIRO
2017**

A Santíssima Trindade e a Santíssima Virgem Maria
Aos meus pais, Antônio e Leni
e a minha noiva Anne.

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus, que como já dizia a música cristã da Banda Preto no Branco:

“Eu te agradeço
Por toda graça que me deu
Todo amor que ofereceu
Sem eu merecer
Eu te agradeço
Pois sei que um dia me escolheu
E entregou tudo que era seu
E me fez viver. ”

E me fez viver através dos meus pais, a vocês Antônio e Leni o meu muito obrigado por mais que um simples obrigado não expresse toda minha gratidão. Desde de sempre e até o fim, sempre juntos.

Mãe, como falar de você sem lembrar de Nossa Senhora, o que posso dizer de ti, mulher guerreira, trabalhadora, sorridente, fervorosa, ..., elogios infinitos a ti mamãe. Enfim, eu estou longe de ser como Cristo, apesar de estar buscando, no entanto já possuo ao meu lado uma mãe assim como foi Nossa Senhora, obrigado por tudo! Amo-te!

Pai, como gostaria que estivesse aqui do meu lado agora! Todavia, seus ensinamentos estarão sempre gravados na minha memória: “Meu filho a vida pode tirar tudo de você menos o seu conhecimento. Se você quer ser alguém na vida, precisa estudar! ” Saiba que estou buscando segui-lo, muito obrigado por ter sido o pai que foi. Amo-te!

Anne, minha noiva, eterna namorada, e se for da vontade de Nosso Senhor futura esposa, obrigado por todo apoio e dedicação. E por que não, por ter me dado um dos maiores incentivos: “Só caso depois que você estiver formado! ” Princesa, te amo!

Ao professor Cesar Camacho que me apresentou a EMaP, meu muito obrigado! Saiba que é para mim mais do que um mestre, é um verdadeiro amigo e exemplo!

A minha diretora Izabel Camacho, vulgo Bebel, e por que não, segunda mãe, saiba que suas conversas e seu olhar carinhoso além dos ensinamentos de Cálculo 2 foram de extrema

importância para que eu chegasse até aqui.

Aos meus queridos professores, Paulo, Branco, Renato, Flávio, Jair, Hugo e tantos outros que foram de enorme dedicação a mim durante o curso estando com suas salas sempre abertas e parando tudo para me socorrer, muito obrigado!

Em especial, a professora Asla Sá, minha orientadora do coração que fez com que eu me apaixonasse por Computação Gráfica já no primeiro período. Ao professor Moacyr Alvim, meu orientador, que sempre me foi um exemplo de dedicação e formação por estar envolvido em todos os projetos da EMap. Ao professor Luiz Velho, meu coorientador que me fez querer ir além das barreiras da EMap, com suas aulas super-estimulantes no IMPA, a vocês meu muitíssimo obrigado por toda dedicação e por terem embarcado comigo nessa aventura.

Aos meus colegas de classe, obrigado por todo apoio e atenção, tenho muito orgulho de poder ter representado vocês durante esses anos, e tenho certeza que a matemática está sendo muito bem servida com essa nova leva de matemáticos aplicados que está sendo forjada na EMap. Para sempre turma “No Elevador”!

Claudia, ou melhor, Claudinha mais do que uma orientadora pedagógica, saiba que tenho você como uma amiga para toda a vida. Obrigado por todo apoio e carinho.

Ao todos os funcionários da FGV, em especial, Ronaldo, Almir, Diego, Eduane, Luciana, se cheguei até aqui foi graças a dedicação diária de cada um de vocês, obrigado por tudo!

Por fim, aos meus tios, primos, amigos e amigas, obrigado por entenderem os momentos de ausência, por torcerem mesmo que a distância, o tão sonhado dia chegou. E essa vitória não é só minha, mas uma vitória de todos nós. Saibam que vocês são peças fundamentais na minha vida.

"A Matemática é o alfabeto com o qual Deus escreveu o Universo."
Galileu Galilei

Resumo

A nossa sociedade é composta de diversas comunidades, em particular, a comunidade formada pelos surdos e deficientes auditivos, que utilizam de várias formas de comunicação, principalmente, a *Língua Brasileira de Sinais* (LIBRAS). É de conhecimento na literatura que os elementos necessários à comunicação são: *Emissor, Receptor, Mensagem, Código, Canal e Contexto*. E em LIBRAS não é diferente.

A proposta desse Trabalho de Conclusão de Curso é implementar um ***Modelo Geométrico dos Movimentos da Mão*** que seja capaz de fazer o papel do emissor em LIBRAS, ou seja, a ponta que emite os gestos.

Sumário

1	LIBRAS	1
1.1	O mundo dos surdos	1
1.2	Breve histórico da surdez no Brasil e no Mundo	2
1.3	Datilologia: Alfabeto Manual	3
2	Modelo Geométrico	5
2.1	Vínculos Geométricos	5
2.2	Hierarquias	5
2.2.1	Hierarquia de objetos articulados	6
2.3	Definição do Modelo Geométrico	6
3	Considerações prévias	8
3.1	Álgebra linear	8
3.1.1	Espaço vetorial	8
3.2	Aprendizado Computacional	9
3.2.1	Linguagem Java	9
4	Código e Resultados Obtidos	10
	Referências	16
A	Trabalhos Futuros	17

Lista de Abreviaturas e Siglas

LIBRAS Língua Brasileira de Sinais.

INES Instituto Nacional de Educação de Surdos.

Capítulo 1

LIBRAS

Neste capítulo estarei, apresentado pontos consideráveis da LIBRAS, compreendendo a linguagem e expondo suas particularidades. Relatando sobre os diferentes tipos de sinais, especificando quais serão considerados no trabalho e sobre o aprendizado dessa língua.

1.1 O mundo dos surdos

Para compreendermos melhor os surdos, primeiro precisamos deixar claro o que seria a audição¹. A audição é o sentido que capta todo tipo de som, ou seja, todo tipo de informação sonora do nosso meio. Desse modo, um indivíduo é diagnosticado surdo quando perde completamente a capacidade de reconhecimento sonoro. Já quando há a perda parcial da audição a pessoa é classificada como deficiente auditiva.

Além disso, a questão da surdez vai além dos limites da ciência e penetra no âmbito cultural. De acordo com a pesquisadora americana Doutora Carol Padden, *"Cultura é o conjunto de comportamentos de um grupo que tem sua própria língua, valores, regras e tradições. E Comunidade é um sistema social geral, o qual as pessoas vivem juntas e compartilham suas metas comuns e certas responsabilidades umas com as outras. A comunidade surda é um grupo de pessoas que mora em uma localização particular, compartilha metas comuns de seus membros e, de vários modos, trabalha para alcançá-las"*. Portanto, os deficientes auditivos não necessariamente pertencem a uma comunidade surda, pois esses por sua vez, podem não conviver com surdos, se relacionando com membros de sua própria língua e cultura, dado suas restrições.

E ainda concluímos que, a comunidade surda não é composta apenas de sujeitos surdos, também de sujeitos falantes como: professores bilíngues, amigos e familiares ouvintes

¹Segundo o dicionário Aurélio, "Audição é o ato e faculdade de ouvir ou de escutar."

bilíngues, intérpretes e tradutores que convivam com os surdos.

1.2 Breve histórico da surdez no Brasil e no Mundo

Assim como sujeitos ouvintes, sujeitos surdos sempre existiram, contudo, temos uma bibliografia escassa sobre essa temática. Na antiguidade, os surdos eram oferecidos em sacrifício através de rituais religiosos, por vezes atirados de precipícios ou ao mar, uma vez que não acreditava-se que os surdos possuíam capacidade intelectual. Cabe ressaltar, que os mesmos eram cerceados do acesso a educação e do direito de votar, por exemplo. Sócrates, ao contrário de muitos contemporâneos, reconhece a capacidade de comunicar-se através dos sinais das mãos e dos sinais corporais, inerentes à condição de surdez. Certa vez, conversando com seu discípulo Hermógenes, Sócrates lhe indagou:

"Suponha que nós não tenhamos voz ou língua, e queiramos indicar objetos um ao outro. Não deveríamos nós, como os surdos-mudos, fazer sinais com as mãos, a cabeça e o resto do corpo?" (Cratylus de Plato, discípulo e cronista, 368 a.C.)

Na Idade Moderna, alguns estudiosos empenharam-se na defesa dos surdos, Pedro Ponce de Leon ² defendeu o direito à herança e, Fray de Melchor Yebra, de Madrid, que escreveu e ilustrou o alfabeto manual da época.³ Data de 1760 a criação da primeira escola pública para jovens surdos, o Instituto para Jovens Surdos e Mudos de Paris. Tal feito foi realizado por Charles Michel de L'Epée, filantropo francês que nessa época já defendia a língua de sinais como sendo a língua dos surdos. Seu conhecimento capacitou vários professores na língua de sinais, levando acesso a educação aos surdos de sua época.

No Brasil, em 1855, Ernest Huet, um surdo francês, propôs ao Imperador Dom Pedro II, a fundação de uma escola para surdos no Brasil, haja vista sua experiência como diretor de uma escola para surdos na França. O Imperador mostrou-se favorável a proposta, sendo então fundado o Collégio Nacional para Surdos-Mudos, chamado posteriormente, em 1957, de Instituto Nacional de Educação de Surdos.

Sendo a única instituição de educação de surdos no Brasil, o INES recebeu alunos de diversas partes do país e do mundo, tornando-se referência na área de educação, socialização e profissionalização de surdos.

A compreensão de que o surdo tem sua própria língua e, portanto, não deve ser forçado a falar, entra no Brasil na década de 1990, com a introdução do bilinguismo. Este método tem

² Monge Beneditino, viveu entre 1510-1584

³ "Refugium Infirmorum"

sua origem na Suécia e reconhece que o indivíduo surdo tem direito a língua de sinais, bem como a língua escrita.

Por fim, através da Lei 10.436 de 24 de Abril de 2002, a LIBRAS, é reconhecida como língua oficial dos surdos.

1.3 Datilologia: Alfabeto Manual

Entende-se por datilologia, o alfabeto manual. A datilologia atual é parte integrante das línguas de sinais, sua finalidade é soletrar as palavras que não possuem sinais próprios.

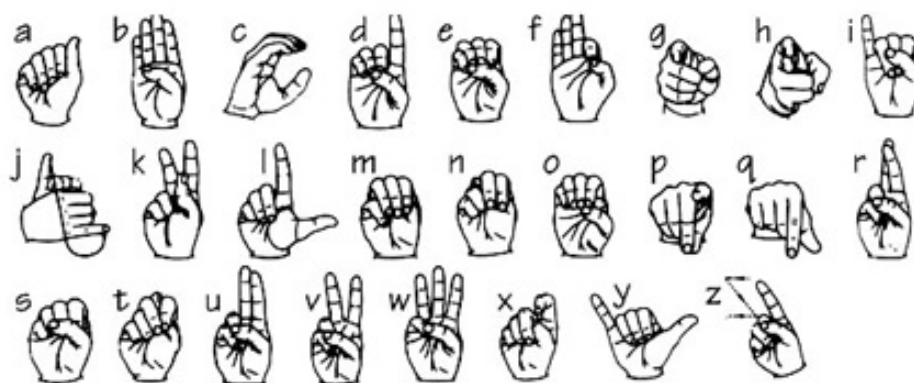


Figura 1.1: Datilologia

Cabe ressaltar que, embora seja uma língua de certa forma icônica, isto é, procura representar a realidade através dos sinais, a LIBRAS não é uma reprodução gestual da língua portuguesa. Ambas possuem estruturas gramaticais próprias. Desta forma, não existe uma língua original e uma adaptação desta, tampouco uma língua de sinais universal. Cada país tem sua própria língua de sinais, variando de acordo com os estados, faixa etária, grupo social, por exemplo.

Em LIBRAS, o sinal "é formado a partir da combinação do movimento das mãos com um determinado formato em um determinado lugar, podendo esse lugar ser uma parte do corpo ou um espaço à frente dele."⁴

Com relação às estruturas fonológicas, chamadas de parâmetros, na LIBRAS, destacam-se 5:

1. Configuração das mãos: formato que a mão assume ao realizar a sinalização, ocorre na datilologia e na reprodução de um sinal propriamente dito.

⁴ Luciana Ferreira Britto, 1990

2. Ponto de articulação: é o local do corpo onde a mão predominantemente toca ou o espaço neutro onde a mesma se localiza.
3. Movimento: os sinais podem tanto ter movimento, como não.
4. Orientação: os sinais podem contar com uma orientação das mãos para alcançar seu significado pleno.
5. Expressão facial e/ou corporal: vários sinais possuem expressão facial e/ou corporal como um diferenciador.

Dito isto, o objetivo deste trabalho é implementar um modelo geométrico da mão que emita os sinais de LIBRAS que satisfaçam os seguintes parâmetros: datilologia, espaço neutro, sem movimento, sem orientação, sem expressão facial e/ou corporal.

Capítulo 2

Modelo Geométrico

Neste Capítulo, apresentarei a conversão dos símbolos alfanuméricos para uma estrutura geométrica. Usando de estruturas articuladas e modelos articulados, baseado em figuras simples como retas e esferas, no caso.

2.1 Vínculos Geométricos

Numa cena 3D, todos os objetos estão subordinados ao mesmo sistema de coordenadas, chamado sistema global. E os objetos primitivos, possuem seu sistema canônico de coordenadas, chamado sistema de coordenadas local. Para definir o vínculo geométrico comum a um grupo de objetos, emprega-se uma transformação a eles, ou seja, os objetos subordinados ao vínculo estarão sujeitos a mesma transformação que atua sobre esses.

De acordo com o tipo de vínculo, há diferentes formas de estruturação, dentre elas podemos citar a de Grupo de Objetos e a de Estruturas Articuladas. Na primeira são usadas transformações para posicionar objetos no espaço relacionando uns aos outros, já na segunda que é constituída de partes rígidas ligadas por juntas, as transformações atuam de maneira fixa no sistema de coordenadas das articulações e de forma variável de acordo com os graus de liberdade de cada articulação.

2.2 Hierarquias

Para compreender hierarquia, utilizaremos a definição de Gomes e Velho, 1998:

"Uma hierarquia é uma coleção de objetos $O_1, O_2, O_3, \dots, O_n$, com relações de vínculo."

Numa concepção ampliada, ainda segundo os autores supracitados:

"Uma hierarquia é um grafo onde os vértices são objetos gráficos. Temos portanto, um conjunto de pares (O_i, O_j) de objetos que constituem as arestas. Quando dois objetos constituem uma aresta dizemos que eles possuem uma relação de vínculo na hierarquia." (Gomes e Velho, 2008)

De forma geral, o grafo de uma hierarquia é um grafo orientado, isto é, as arestas são seguimentos de reta orientados indicando uma subordinação de um objeto em relação ao objeto imediato. Ao aplicar uma transformação T a um objeto, essa transformação estende-se aos objetos a ele subordinados na estrutura de hierarquia.

Um grafo de uma hierarquia que não possua ciclos, ou seja, caminhos fechados de arestas, é denominado de árvore. Consideramos essa orientação sempre no sentido da raiz para as folhas, significa dizer que uma transformação T aplicada a raiz de um grafo em estrutura de árvore, essa se estenderá a todos os demais objetos até chegar às folhas desse grafo.

2.2.1 Hierarquia de objetos articulados

Há vários tipos de articulações, no corpo humano, de maneira especial, existem dois tipos: juntas de revolução e juntas esféricas. As juntas de revolução são conectadas através de um eixo em torno do qual elas podem girar. As juntas esféricas são geometricamente representadas por uma esfera, a qual se conectam as partes rígidas, essas podem assumir qualquer posição na esfera e rodar em torno do próprio eixo.

Para a realização do presente trabalho, foram utilizadas as juntas de revolução, uma vez que o posicionamento dessas é determinado por um ângulo θ de rotação. Deste modo, o espaço de movimentos é um subconjunto do grupo de rotações do plano. Sendo assim, a junta de revolução possui um grau de liberdade. Já na junta esférica, devido ao fato das partes rígidas poderem assumir qualquer orientação no espaço, o espaço de movimentos é um subespaço do grupo de rotações R^3 .

2.3 Definição do Modelo Geométrico

O modelo geométrico utilizado é baseado no posicionamento de vetores do R^3 , onde a posição final de cada vetor, define o centro das articulações e, conseqüentemente, os extremos dos ossos. Dessa maneira, define-se uma estrutura hierárquica, onde os ossos estão subordinados a posição das articulações. Toda a implementação foi realizada com base nos vetores a fim de que, ao aplicarmos uma transformação em um desses vetores, obtenhamos uma nova posição da mão, isto é, feitas as devidas transformações, conseguimos expressar os sinais estáticos da datilologia.

A figura abaixo demonstra o modelo geométrico da mão implementada.

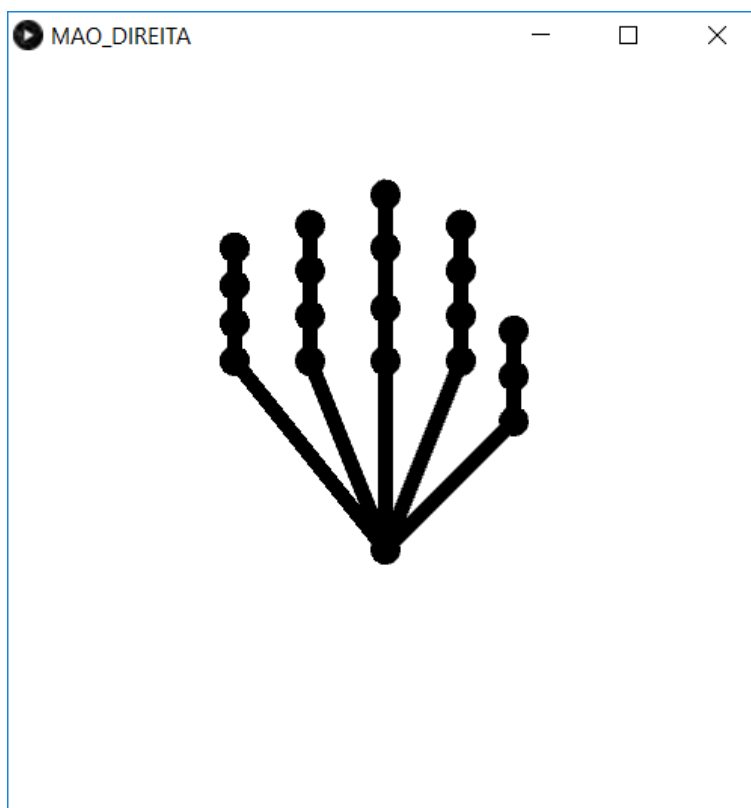


Figura 2.1: Modelo Geométrico

Capítulo 3

Considerações prévias

3.1 Álgebra linear

Faz-se necessário mencionar alguns conceitos de álgebra linear fundamentais para os resultados obtidos no presente trabalho. Iniciaremos nos reportando ao conceito de vetores.

Um vetor é um segmento de linha orientado que equivale ao deslocamento de um ponto A até outro ponto B . Sinalizamos que, a palavra vetor vem do latim, cujo significado é "carregar". Desta forma, um vetor é formado quando um ponto é "carregado" por uma determinada distância em uma direção. Em outras palavras, um vetor desloca duas peças de informação: um comprimento e uma direção.

3.1.1 Espaço vetorial

Para entender espaços vetoriais, utilizaremos a definição de Lima 2014:

"Um espaço vetorial E é um conjunto, cujos elementos são chamados vetores, no qual estão definidas duas operações: a adição, que a cada par de vetores $u, v \in E$ faz corresponder um novo vetor $u + v \in E$, chamado a soma de u e v , e a multiplicação por um número real, que a cada número $\alpha \in R$ e a cada vetor $v \in E$ faz corresponder um vetor $\alpha \cdot v$, ou αv , chamado o produto de α por v ."

Considerando que as operações supracitadas devem satisfazer para quaisquer $\alpha, \beta \in R$ e $u, v, w \in E$, temos, por conseguinte, os axiomas de espaço vetorial, são eles:

Comutatividade: $u + v = v + u$;

Associatividade: $(u + v) + w = u + (v + w)$ e $(\alpha\beta)v = \alpha(\beta v)$;

Vetor Nulo: existe um vetor $0 \in E$, chamado vetor nulo, ou vetor zero, tal que $v + 0 = 0 + v = v$ para todo $v \in E$;

Inverso Aditivo: para cada vetor $v \in E$ existe um vetor $-v \in E$, chamado inverso aditivo ou o simétrico de v , tal que $-v + v = v + (-v) = 0$;

Distributividade: $(\alpha + \beta)v = \alpha v + \beta v$ e $\alpha(u + v) = \alpha u + \alpha v$;

Multiplicação por 1: $1 \cdot v = v$.

Ademais, foi preciso utilizar características vetoriais como rotação, translação, subtração, adição, magnitude, dentre outras propriedades básicas.

3.2 Aprendizado Computacional

Inicialmente foi feita a escolha do programa para se realizar a implementação, sendo escolhido o programa **Processing 3** por dois motivos: por ser um programa já visto no decorrer da graduação, sendo o primeiro contato já no período inicial na disciplina de *Geometria Analítica*, também por ser possível desenvolver em duas linguagens abordadas no decorrer do curso, *Java e Python*.

O renderizador¹ utilizado foi o *P3D*.

3.2.1 Linguagem Java

Utilizada para implementar a modelagem e visualização. Através da geometria de representação de cenas e linguagem de descrição de cenas, construção de estruturas articuladas e modelos articulados, visualização e animação, podendo assim, implementar o Modelo Geométrico.

Além disto, foi preciso fazer uso de funções específicas e suas atribuições como *sphere()*, *line()*, *void()*, *PVector()*, *keyPressed()* entre outras funções contidas na referência.

¹Renderização é o processo pelo qual pode-se obter o produto final de um processamento digital qualquer. Este processo aplica-se essencialmente em programas de modelagem 2D e 3D, assim como áudio e vídeo.

Capítulo 4

Código e Resultados Obtidos

Abaixo estarei explicando o código e expondo os resultados obtidos.

Inicialmente, foi criado um vetor do tipo *PVector*, onde cada posição corresponde ao centro das articulações e os extremos dos ossos. Em seguida, foram criados vetores do tipos *Articulacao* e *Ossos*, esses são classes implementadas que serão explicitadas adiante. Algumas variáveis auxiliares foram criadas, sendo elas do tipo: *int*, *PVector*, *float*, *string*. Para visualizar o resultado da implementação, com o objetivo de obter o efeito tridimensional, foi construída uma janela com o redenzador *P3D*, conforme a figura 4.1.

O próximo passo foi a atribuição dos valores iniciais aos vetores, norte de toda a programação, demonstrado na figura 4.2.

Dado o estudo da datilologia, foi necessário verificar os diferentes posicionamentos de cada um dos dedos para cada sinal. Na figura 4.3, demonstramos as linhas de código correspondentes a implementação desses posicionamentos.

Posteriormente, foi feita a correlação entre cada sinal do alfabeto datilológico e o posicionamento da mão implementada no programa. Conforme demonstrado na figura 4.4.

Nesse momento, através da estrutura de repetição *for*, foi construída a imagem da mão de acordo com as classes criadas anteriormente. Demonstrado na figura 4.5.

Implementação da classe *Articulacao* na figura 4.6.

Implementação da classe *Ossos* na figura 4.7.

Na figura 4.8, aparecem as linhas de código utilizadas para configurar o ponto de visão do modelo e a interação com o usuário do software desenvolvido, permitindo assim, a possibilidade de girar o modelo da mão em torno do *eixo Y*. Por fim, explicitamos as linhas de código correspondentes a visualização do modelo implementado.

Os resultados obtidos são apresentados em visões frontais e laterais dos sinais estáticos do alfabeto datilológico implementados, na figura 4.9.

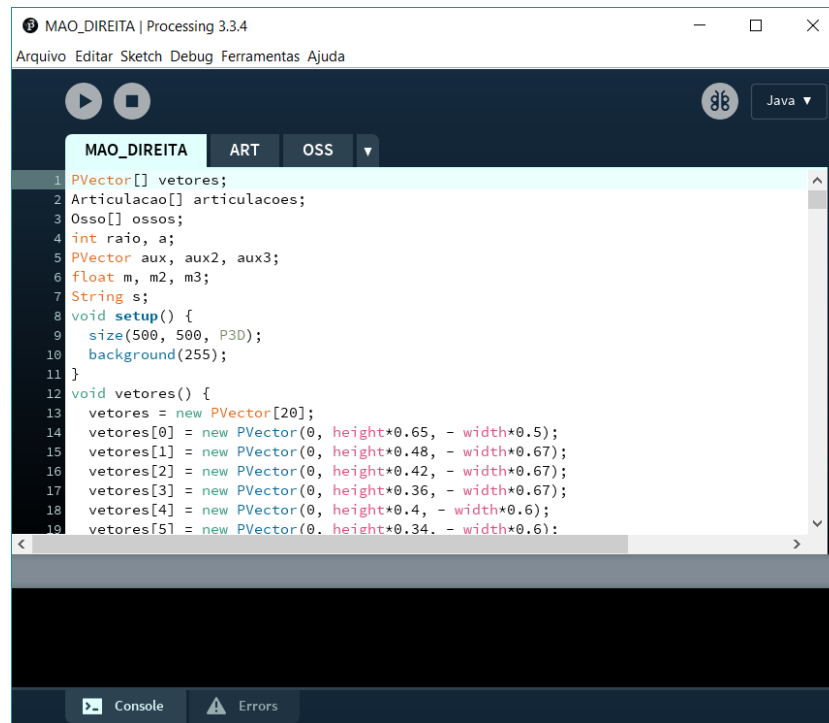


Figura 4.1: Variáveis Globais e Construção da Janela de Interação

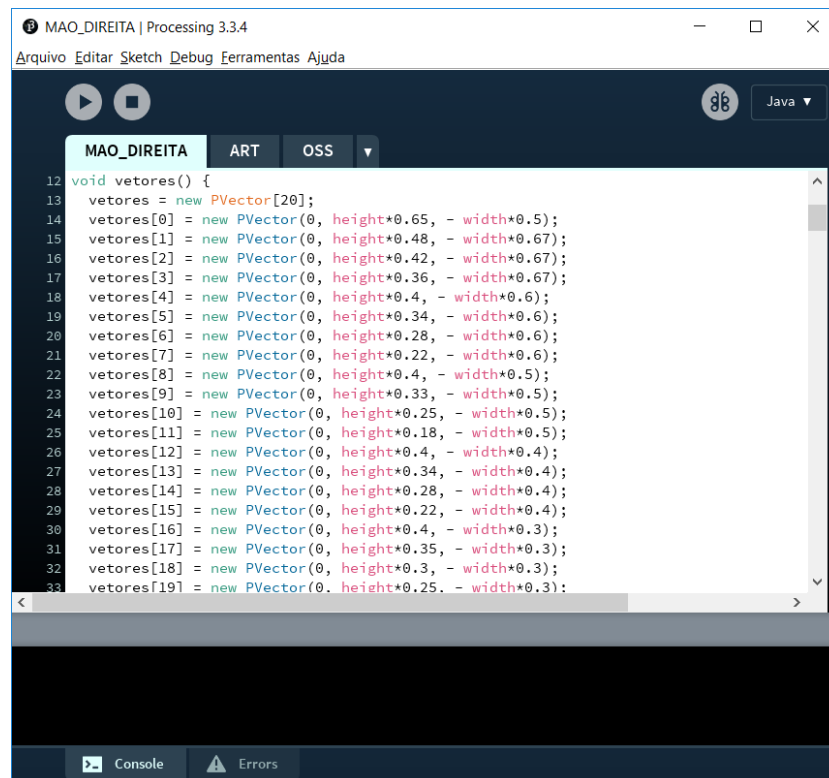
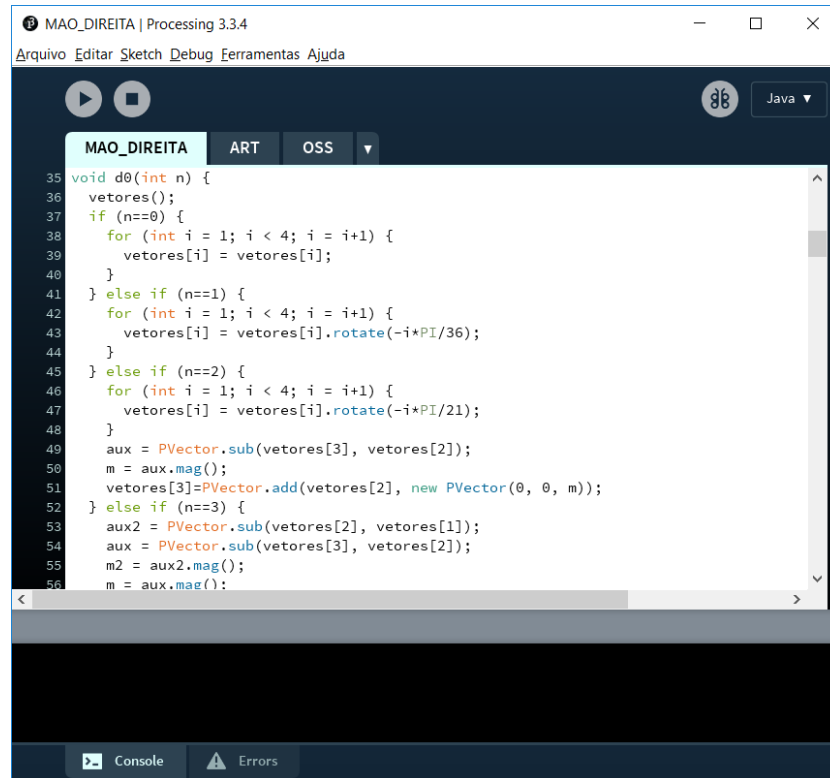


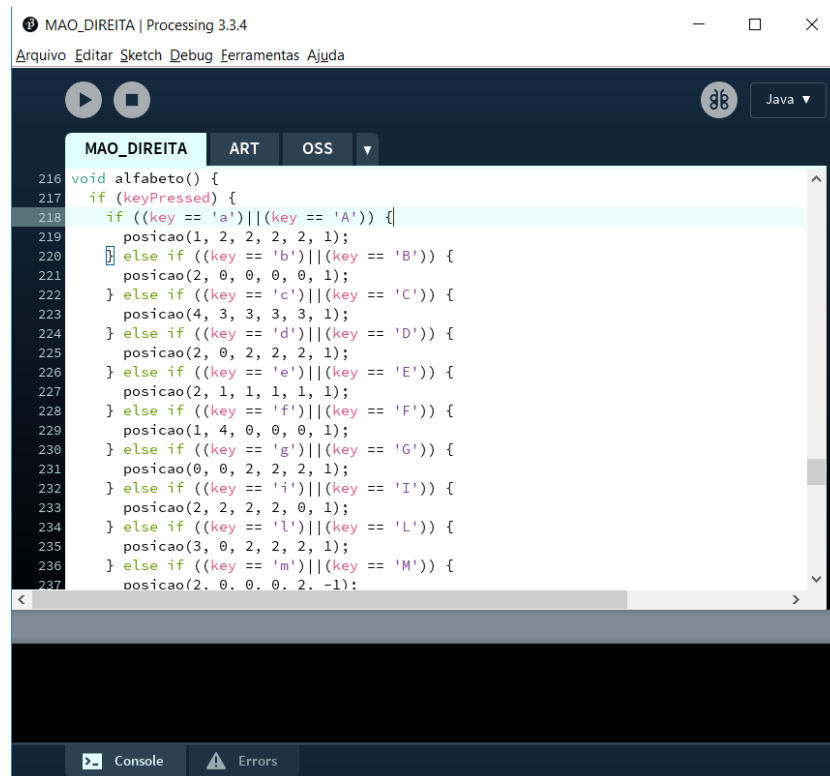
Figura 4.2: Atribuição de valores iniciais aos vetores



The screenshot shows the Processing IDE with the file 'MAO_DIREITA'. The code defines a function 'void d0(int n)' that manipulates a vector array 'vetores'. It uses conditional logic based on the value of 'n' to perform various operations like rotation and vector subtraction. The IDE interface includes a menu bar (Arquivo, Editar, Sketch, Debug, Ferramentas, Ajuda), a toolbar with play and stop buttons, and a status bar at the bottom with 'Console' and 'Errors' tabs.

```
35 void d0(int n) {
36   vetores();
37   if (n==0) {
38     for (int i = 1; i < 4; i = i+1) {
39       vetores[i] = vetores[i];
40     }
41   } else if (n==1) {
42     for (int i = 1; i < 4; i = i+1) {
43       vetores[i] = vetores[i].rotate(-i*PI/36);
44     }
45   } else if (n==2) {
46     for (int i = 1; i < 4; i = i+1) {
47       vetores[i] = vetores[i].rotate(-i*PI/21);
48     }
49     aux = PVector.sub(vetores[3], vetores[2]);
50     m = aux.mag();
51     vetores[3]=PVector.add(vetores[2], new PVector(0, 0, m));
52   } else if (n==3) {
53     aux2 = PVector.sub(vetores[2], vetores[1]);
54     aux = PVector.sub(vetores[3], vetores[2]);
55     m2 = aux2.mag();
56     m = aux.mag();
```

Figura 4.3: Movimentação dos vetores correspondentes às articulações da mão



The screenshot shows the Processing IDE with the file 'MAO_DIREITA'. The code defines a function 'void alfabeto()' that maps specific key presses to a set of coordinates for 'posicao'. The IDE interface is consistent with the previous screenshot, showing the same menu bar, toolbar, and status bar.

```
216 void alfabeto() {
217   if (keyPressed) {
218     if ((key == 'a') || (key == 'A')) {
219       posicao(1, 2, 2, 2, 2, 1);
220     } else if ((key == 'b') || (key == 'B')) {
221       posicao(2, 0, 0, 0, 0, 1);
222     } else if ((key == 'c') || (key == 'C')) {
223       posicao(4, 3, 3, 3, 3, 1);
224     } else if ((key == 'd') || (key == 'D')) {
225       posicao(2, 0, 2, 2, 2, 1);
226     } else if ((key == 'e') || (key == 'E')) {
227       posicao(2, 1, 1, 1, 1, 1);
228     } else if ((key == 'f') || (key == 'F')) {
229       posicao(1, 4, 0, 0, 0, 1);
230     } else if ((key == 'g') || (key == 'G')) {
231       posicao(0, 0, 2, 2, 2, 1);
232     } else if ((key == 'i') || (key == 'I')) {
233       posicao(2, 2, 2, 2, 0, 1);
234     } else if ((key == 'l') || (key == 'L')) {
235       posicao(3, 0, 2, 2, 2, 1);
236     } else if ((key == 'm') || (key == 'M')) {
237       posicao(2, 0, 0, 0, 2, -1);
```

Figura 4.4: Implementação dos sinais estáticos do alfabeto datilológico

```

256 }
257 void articulacoes() {
258   alfabeto();
259   articulacoes = new Articulacao[20];
260   raio = 5;
261   for (int i = 0; i < 20; i = i+1) {
262     articulacoes[i] = new Articulacao(vetores[i], raio, 255, 0, 0);
263   }
264 }
265 void ossos() {
266   articulacoes();
267   ossos = new Osso[19];
268   for (int i = 0; i < 3; i = i+1) {
269     ossos[i] = new Osso(vetores[i], vetores[i+1], 10, 0, 0, 255);
270   }
271   ossos[3] = new Osso(vetores[0], vetores[4], 10, 0, 0, 255);
272   for (int i = 4; i < 7; i = i+1) {
273     ossos[i] = new Osso(vetores[i], vetores[i+1], 10, 0, 0, 255);
274   }
275   ossos[7] = new Osso(vetores[0], vetores[8], 10, 0, 0, 255);
276   for (int i = 8; i < 11; i = i+1) {
277     ossos[i] = new Osso(vetores[i], vetores[i+1], 10, 0, 0, 255);

```

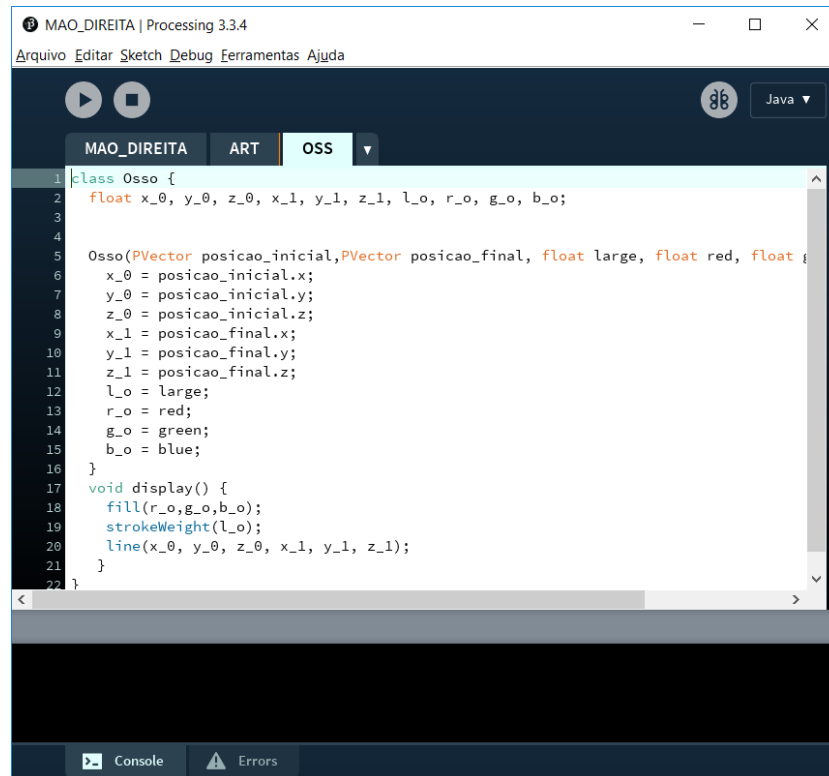
Figura 4.5: Construção da imagem da mão dadas as estruturas implementadas

```

1 class Articulacao {
2   float x,y,z, raio, r, g, b;
3
4
5   Articulacao(PVector posicao, float rain, float red, float green, float blue) {
6     x = posicao.x;
7     y = posicao.y;
8     z = posicao.z;
9     raio = rain;
10    r = red;
11    g = green;
12    b = blue;
13  }
14  void display() {
15    fill(r, g, b);
16    translate(x, y, z);
17    sphere(raio);
18    translate(-x, -y, -z);
19  }
20 }
21
22

```

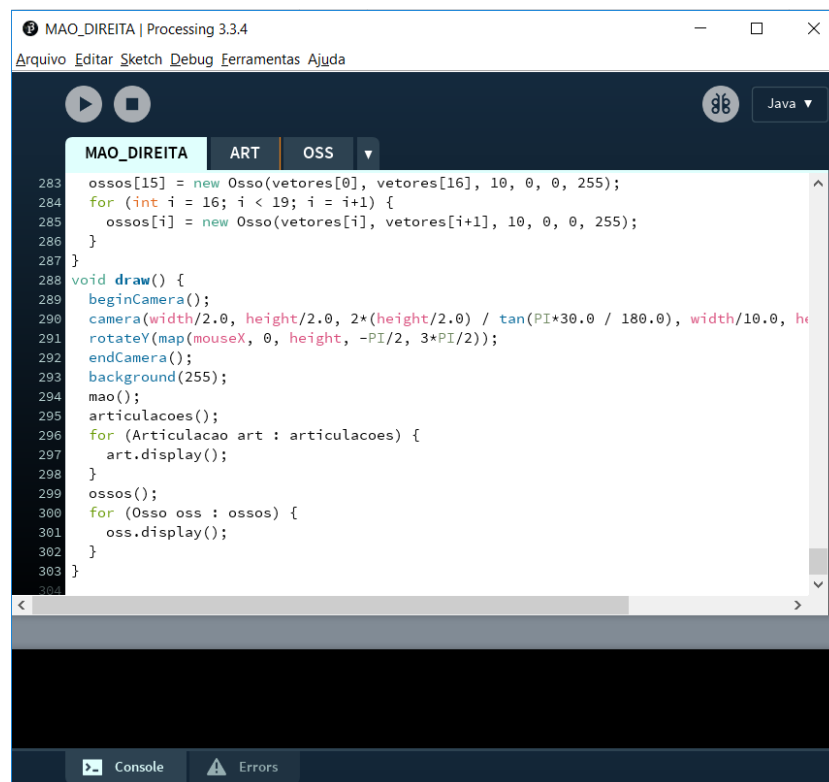
Figura 4.6: *class Articulacao*



The screenshot shows the Processing IDE with the 'MAO_DIREITA' project open. The 'OSS' tab is selected, displaying the definition of the `Osso` class. The code defines a class with several attributes and a `display()` method.

```
1 class Osso {
2   float x_0, y_0, z_0, x_1, y_1, z_1, l_o, r_o, g_o, b_o;
3
4
5   Osso(PVector posicao_inicial, PVector posicao_final, float large, float red, float green, float blue) {
6     x_0 = posicao_inicial.x;
7     y_0 = posicao_inicial.y;
8     z_0 = posicao_inicial.z;
9     x_1 = posicao_final.x;
10    y_1 = posicao_final.y;
11    z_1 = posicao_final.z;
12    l_o = large;
13    r_o = red;
14    g_o = green;
15    b_o = blue;
16  }
17  void display() {
18    fill(r_o, g_o, b_o);
19    strokeWeight(l_o);
20    line(x_0, y_0, z_0, x_1, y_1, z_1);
21  }
22 }
```

Figura 4.7: *class Osso*



The screenshot shows the Processing IDE with the 'MAO_DIREITA' project open. The 'ART' tab is selected, displaying the main sketch code. The code includes the creation of an array of `Osso` objects and the `draw()` method which sets up the camera and displays the objects.

```
283 ossos[15] = new Osso(vetores[0], vetores[16], 10, 0, 0, 255);
284 for (int i = 16; i < 19; i = i+1) {
285   ossos[i] = new Osso(vetores[i], vetores[i+1], 10, 0, 0, 255);
286 }
287 }
288 void draw() {
289   beginCamera();
290   camera(width/2.0, height/2.0, 2*(height/2.0) / tan(PI*30.0 / 180.0), width/10.0, height/10.0, height/10.0);
291   rotateY(map(mouseX, 0, height, -PI/2, 3*PI/2));
292   endCamera();
293   background(255);
294   mao();
295   articulacoes();
296   for (Articulacao art : articulacoes) {
297     art.display();
298   }
299   ossos();
300   for (Osso oss : ossos) {
301     oss.display();
302   }
303 }
```

Figura 4.8: Configurações da câmera e exibição do resultado




































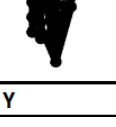
					
Letra A		Letra B		Letra C	
					
Letra D		Letra E		Letra F	
					
Letra G		Letra I		Letra L	
					
Letra M		Letra N		Letra O	
					
Letra Q		Letra S		Letra U	
					
Letra v		Letra W		Letra Y	

Figura 4.9: Resultados Obtidos

Bibliografia

- [1] Azedo, E., Conci, A. Computação Gráfica: Geração de Imagens. Campus, 2003.
- [2] Cunha, M., Rangel, L. Curso de LIBRAS online, Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, 2013.
- [3] Deitel, P. J., Java: como programar; Paul Deitel e Harvey Deitel: Tradução Edson Furmankiewicz; 8ª edição, Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2010.
- [4] Gomes, J., Velho, L. Computação Gráfica – Vol. 1, Série de Computação e Matemática – Instituto de Matemática Pura e Aplicada – IMPA, Rio de Janeiro, 1998.
- [5] Gomes, J., Velho, L. Fundamentos da computação gráfica, Série de Computação e Matemática - 2ª impressão da 1ª edição, Instituto de Matemática Pura e Aplicada – IMPA, Rio de Janeiro, 2008.
- [6] Gomes, J., Velho, L. Sistemas gráficos 3D, Série de Computação e Matemática - 2ª edição, Instituto de Matemática Pura e Aplicada – IMPA, Rio de Janeiro, 2007.
- [7] Lima, E. L. Álgebra Linear – Coleção Matemática Universitária, 8ª.ed. Instituto de Matemática Pura e Aplicada – IMPA, Rio de Janeiro 2014.
- [8] Poole, D. Álgebra Linear, 1ª edição, Cengage Learning, São Paulo, 2014.
- [9] Ribeiro, M. M.; Menezes, M. A. F. Uma breve introdução à computação gráfica. Rio de Janeiro (RJ): Ciência Moderna, 2010.
- [10] Sedgiwick, R., Wayne, K. Introduction to programming in java: na interdisciplinary approach, 2007.

Apêndice A

Trabalhos Futuros

- Desenvolver um treinamento que reconheça esses sinais emitidos.
- Criar um aplicativo para rodar o modelo geométrico.
- Entre outros.