Computação Gráfica (3º ano de LCC)

Trabalho Prático (Fase 3) — Grupo 3

Relatório de Desenvolvimento

André Lucena Ribas Ferreira (A94956) Carlos Eduardo da Silva Machado (A96936)
Gonçalo Manuel Maia de Sousa (A97485)

5 de maio de 2023

Resumo

Este relatório aborda a solução proposta para o enunciado da 3ª fase do Trabalho Prático da Unidade Curricular "Computação Gráfica".

Conteúdo

Capítulo 1

Introdução

O presente relatório tem como objetivo apresentar a solução concebida pelo Grupo 3 para a 2ª fase do Trabalho Prático da Unidade Curricular "Computação Gráfica".

Esta fase consistiu na atualização da forma como os modelos são desenhados para utilizar as vantagens dos **VBOs**. Como escolha do grupo, decidimos que o iríamos fazer utilizando índices cuidadosamente escolhidos para usufruir de vantagens de localidade espacial. Também era necessário implementar variações para as transformações de rotação e de translação, através do tempo de rotação e de curvas de Catmull-Rom. Por fim, foi necessário dotar o *generator* da capacidade de ler ficheiros *batch* que, com uma dada estrutura, descrevem superfícies de Bezier, para poder construir primitivas gráficas a partir dessas superfícies.

À demo desta parte, foi acrescentado o movimento de translação e rotação de cada planeta e do Sol tal como um modelo a partir destas superfícies que representa um cometa a viajar pelo Sistema.

1.1 Estrutura do Relatório

Para além deste, o relatório compreende diferentes Capítulos. Em 2 apresenta-se extensão à implementação da aplicação *generator*. Em 3 apresenta-se as extensões à implementação da aplicação *engine*. Em 4 expõe-se imagens tiradas aos modelos gerados a partir dos *xmls* dos *test files*. Em 5 apresenta-se a conclusão do relatório.

Capítulo 2

Generator

Neste capítulo, abordamos as mudanças feitas no código relacionado com o *generator*, adicionando funcionalidades pedidas pelo enunciado e alterando o modo como faziamos algumas operações como a escrita dos pontos em ficheiro. Podemos, então, dividir-nos em duas partes:

- Bezier Patches
- Mudanças na estrutura dos ficheiros .3d

2.1 Bezier Patches

Para a construção de uma estrutura baseada em *patches*, utilizamos como base curvas de *Bezier*. Cada *patch* é constituído por 16 pontos de controlo e vai-lhe ser aplicado um nível de tesselação, isto é, a quantidade pontos gerados na superfície será ditada por esse nível. Começamos por criar dois vetores, um para guardar os indices de cada patch e outro para guardar os pontos. Seguidamente passamos para a função *parse_ bezier* onde abrimos o ficheiro *patch* e preenchemos cada um dos vetores seguindo a mesma lógica, fazemos parse da primeira linha, obtemos o número de *patches*/*points* e fazemos um for que a cada linha, separa os pontos pelas vírgulas e, se for um índice usamos a função *atoi* senão usamos a função *atof*.

```
1  tuple<vector<float>*, vector<unsigned int>*> generate_bezier(char *file_name, float
       tessellation_level){
2
3      vector<vector<int>*>* patches = new vector<vector<int>*>();
4      vector<vector<float>>* cpoints = new vector<vector<float>>();
5      vector<unsigned int>* indices = new vector<unsigned int>();
6      vector<float>* point_vector = new vector<float>();
7
8      parse_bezier(file_name, patches, cpoints);
9
10     (...)
11
12 void parse_bezier(char *fileName, vector<vector<int>*>* patches, vector<vector<float>>*
       cpoints){
13     ifstream file;
14     file.open(fileName, ios::in);
15
16     int nPatches, nControlPoints;
17     string number;
18
19     file >> nPatches;
20
```

```
    getline(file,number,'\n');
    for(int i=0; i<nPatches; i++){
        vector<int>* patch = new vector<int>();
        string line;
        getline(file, line, '\n');
        stringstream lineS (line);
        while(getline(lineS, number, ',')){
            //printf("%s ", number.c_str());
            patch->push_back(atoi(number.c_str()));
        }
        //putchar('\n');
        patches->push_back(patch);
    }

    file >> nControlPoints;
    getline(file,number,'\n');
    for(int i=0; i<nControlPoints; i++){
        string line;
        getline(file, line, '\n');
        stringstream lineS (line);

        vector<float> points;
        while(getline(lineS, number, ',')){
            //printf("%s ",number.c_str());
            points.push_back(atof(number.c_str()));
        }
        //putchar('\n');
        cpoints->push_back(points);
    }


    file.close();
}
```

Decidimos utilizar **IBO**s (Index Buffer Object), para tal temos de criar índices, em vez de estarmos, no *engine*, a criar os índices para cada modelo, resolvemos na construção de cada modelo fazer esse processo. No caso das superfícies de *bezier*, como são várias e não temos um tamanho fixo à partida (muda de dependendo do ficheiro *patch*), utilizamos um mapa com chave um tuplo de três *float* que simboliza o ponto e valor o índice, assim através da função *interact* verificamos se o ponto está ou não no mapa, se não estiver adicionamos, e colocamos o índices respetivo no vetor de índices.

```
unsigned int interact(map<tuple<float,float,float>, unsigned int>* map, float* points,
    vector<unsigned int>* indices, unsigned int* ind, vector<float>* point_vector){
    tuple<float, float, float> item = make_tuple(points[0], points[1], points[2]);
    unsigned int ind_Actual;
    if(map->find(item)==map->end()){
        map->insert(make_pair(item, *ind));
        indices->push_back(*ind);
        ind_Actual = *ind;
        (*ind)++;
        point_vector->push_back(points[0]);point_vector->push_back(points[1]);point_vector->
    push_back(points[2]);
    } else{
        ind_Actual = map->at(item);
        indices->push_back(ind_Actual);
    }

    return ind_Actual;
}
```

Para construir a curva, percorremos todos os patches, e para cada um, de acordo com o nível de tesselação, calculamos os pontos necessários para a construção de um quadrado da grelha final que representa a curva.

```
map<tuple<float,float,float>, unsigned int> map;

    unsigned int ind = 0;

    float points[3];
    unsigned int i1, i2;
    for(vector<int>* patch: *patches){
        for(float u=0; u<tessellation_level; u++){
            for(float v=0; v<tessellation_level; v++){
                calculate_square(u/tessellation_level,v/tessellation_level, patch, cpoints, points);
                i1 = interact(&map, points, indices, &ind, point_vector);

                calculate_square(u/tessellation_level,(v+1)/tessellation_level, patch, cpoints, points);
                interact(&map, points, indices, &ind, point_vector);

                calculate_square((u+1)/tessellation_level,(v+1)/tessellation_level, patch, cpoints, points);
                i2 = interact(&map, points, indices, &ind, point_vector);

                indices->push_back(i2);

                calculate_square((u+1)/tessellation_level,v/tessellation_level, patch, cpoints, points);
                interact(&map, points, indices, &ind, point_vector);

                indices->push_back(i1);
            }
        }
    }

    return make_tuple(point_vector, indices);
}
```

2.2 Mudanças na estrutura dos ficheiros .3d

A estrutura dos ficheiros *3d* teve de ser alterada nesta fase para acomodar os índices calculados no esforço de utilizar **VBOs** com índices, para além de reduzir o tamanho de cada modelo ao reduzir a quantidade de *floats* escritos.

Cada modelo teve tratamento específico para que os pontos calculados não se repetissem, exceto em casos específicos. A sua forma de cálculo difere de modelo para modelo.

Por fim, a função *calculate_square* que calcula o ponto pertencente ao conjunto de pontos definidos pelo *tesselation level*. A função segue uma lógica semelhante à função de *catmull* que fizemos nas aulas práticas e que será mencionada mais adiante, temos portanto, a matriz de *Bezier* dada pela matriz M. Fazemos um ciclo exterior com 3 iterações, uma iteração para cada coordenada x,y e z. O interior do ciclo é transformar a fórmula para código *c++*, sendo a fórmula dada por $p(u,v) = [u^3 u^2 u 1] M \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & P_{02} & P_{03} \\ P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{20} & P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{30} & P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{bmatrix} M^T \begin{bmatrix} v^3 \\ v^2 \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$.

Para obter os pontos da matriz P, acessamos os *control points* no índice dado pelo *patch* na coordenada respetiva.

```
void calculate_square(float u, float v, vector<int>* patch, vector<vector<float>>* cpoints,
    float* points){
    float M[4][4] = { // Matriz de Bezier
    {-1, 3, -3, 1},
    {3, -6, 3, 0},
    {-3, 3, 0, 0},
    {1, 0, 0, 0}
    };

    for(int p=0; p<3; p++){
        float V[4] = {v*v*v, v*v, v, 1};
        float MV[4];
        multMatrixVector(&M[0][0], V, MV);

        float PMV[4];
        float P[4][4] = {{cpoints->at(patch->at(0))[p], cpoints->at(patch->at(1))[p],
    cpoints->at(patch->at(2))[p], cpoints->at(patch->at(3))[p]},
                         {cpoints->at(patch->at(4))[p], cpoints->at(patch->at(5))[p], cpoints
    ->at(patch->at(6))[p], cpoints->at(patch->at(7))[p]},
                         {cpoints->at(patch->at(8))[p], cpoints->at(patch->at(9))[p], cpoints
    ->at(patch->at(10))[p], cpoints->at(patch->at(11))[p]},
                         {cpoints->at(patch->at(12))[p], cpoints->at(patch->at(13))[p],
    cpoints->at(patch->at(14))[p], cpoints->at(patch->at(15))[p]}
        };

        multMatrixVector(&P[0][0], MV, PMV);

        float MPMV[4];
        multMatrixVector(&M[0][0], PMV, MPMV);

        points[p] = u*u*u*MPMV[0] + u*u*MPMV[1] + u*MPMV[2] + MPMV[3];
    }
}
```

A função multMatrixVector multiplica uma matriz por um vetor.

```
void multMatrixVector(float *m, float *v, float *res) {
  for (int j = 0; j < 4; ++j) {
    res[j] = 0;
    for (int k = 0; k < 4; ++k) {
      res[j] += v[k] * m[j * 4 + k];
    }
  }
}
```

2.2.1 Box

A Box é modelada em duas partes, uma faixa contínua constituída por quatro faces do cubo e as duas faces restantes. Os pontos da faixa são ordenados primeiro pelo seu lado menor e depois pelo lado maior, de modo a maximizar a sua localidade espacial. Os últimos pontos não são adicionados, pois coincidem com os primeiros. Os pontos das duas faces restantes são posteriormente adicionados. Note-se que estas faces partilham os pontos mais exteriores com faces já adicionadas, no entanto, novamente num esforço de maximizar a localidade espacial, estes são adicionados novamente utilizando o mesmo algoritmo do plano. Os índices são depois adicionados para gerar os triângulos.

2.2.2 sphere

A esfera, utiliza a mesma ordem de entrada dos pontos do cone e do cilindro, sendo a única diferença, que no caso da esfera os pontos são adicionados slice a slice.

2.2.3 Cone

O cone é por sua vez gerado também em duas fases. Primeiro são adicionados o topo do cone e o centro da base, respetivamente no início e no final do array de índices. Posteriormente são adicionados os restantes pontos stack por stack por ordem crescente.

2.2.4 Cylinder

O cilindro pode ser modelado abstratamente de forma igual ao cone com a única diferença que o topo do cone não conta para o total de stacks. Deste modo, os pontos do cilindro são gerados de forma análoga aos do cone.

2.2.5 Torus

O torus é modelado como uma grelha de pontos tal que os últimos pontos de ambas as dimensões coincidem com os primeiros que são adicionados stack por stack e por ordem crescente.

2.2.6 plane

Os pontos do plano são adicionados primeiro horizontalmente e depois verticalmente por ordem crescente.

2.2.7 Write3D

Para escrever os pontos e o índices, tivemos que trocar a função antiga de escrita de apenas pontos para uma nova que escreve o número de pontos seguido dos pontos e o número de índices seguido dos índices. Desta forma, os ficheiros .3d terão esse novo formato.

```
void write3D(const char *filename, unsigned int nVertices, float *points,
             unsigned int nIndices, unsigned int *indices) {
    ofstream file;
    file.open(filename, ios::out | ios::binary | ios::trunc);

    // Pontos
    file.write((char *)&nVertices, sizeof(unsigned int));
    file.write((char *)points, sizeof(float) * nVertices);

    free(points);

    // Indices
    file.write((char *)&nIndices, sizeof(unsigned int));
    file.write((char *)indices, sizeof(unsigned int) * nIndices);

    free(indices);

    file.close();
}
```

Capítulo 3

Engine

Neste capítulo, vamos abordar as mudanças que fizemos ao código relativo ao *engine* de modo a suprir as novas necessidades enunciadas na fase 3 e alguns extras.

Deste modo, vamos dividir este capítulo em:

- Extensão do Rotate
- Extensão do Translate
- **VBO**s
- Câmara

Nas duas primeiras secções, deu-se uso a classes para representar as transformações pretendidas, de tal forma que não fosse necessário fazer testes para a escrita, invocando apenas a função herdada por todas a partir da superclasse *Transformation*.

3.1 Extensão do Rotate

A definição das rotações foi aumentada para aceitar rotações ao longo do tempo e não apenas com um ângulo. O detalhe nesta implementação está em decidir um fator de multiplicação do ângulo de rotação total, 360^{o} neste caso, que pertença ao intervalo $[0, 1]$. Esta transformação é distinguida pelo atributo *"time"* que substitui o atributo *"angle"* anterior utilizado. Este tempo é denotado em segundos e representa o tempo que demora uma rotação inteira dos eixos.

3.1.1 Classes

A estrutura das classes que representam as transformações das rotações foi alterada. Foi criada uma classe *Rotate*, que herda da classe genérica *Transformation*, e que guarda o eixo de rotação. Cada uma das possibilidades de rotação, com ângulo ou dado tempo, foram separadas para cada uma das suas respetivas classes, *Rotate_Alpha* e *Rotate_Time*, respetivamente, que herdam de *Rotate*.

```
1 class Rotate : public Transformation {
2 public:
3     float arguments[3];
4     void setArgOne(float x);
5     void setArgTwo(float y);
6     void setArgThree(float z);
7 };
```

```
8
9  class Rotate_Alpha: public Rotate{
10 private:
11     float alpha;
12 public:
13     Rotate_Alpha(float a) {
14         alpha = a;
15     }
16     void setAlpha(float a);
17     void transform() override;
18 };
19
20 class Rotate_Time : public Rotate {
21 private:
22     float time;
23 public:
24     Rotate_Time(float t) {
25         time = t;
26     }
27     void setTime(float t);
28     void transform() override;
29 };
```

A primeira destas classes tem o mesmo funcionamento que nas outras partes do trabalho. A segunda necessita de calcular o tempo passado dentro de cada ciclo de segundos múltiplo do tempo delimitado para a sua rotação completa, que pode ser calculada a partir do resto da divisão, a partir da função *remainder*, mas com cuidado para a tornar positiva.

```
1 void Rotate_Time::transform() {
2     //Conseguir um valor que perten a a [0,1] com base no resto do tempo passado desde o
      ultimo m ltiplo de
3     float timePassed = remainder(glutGet(GLUT_ELAPSED_TIME) / 1000.0f, time);
4     timePassed = timePassed < 0 ? (timePassed + time) / time : timePassed / time;
5     glRotatef(360.0f * timePassed, arguments[0], arguments[1], arguments[2]);
6 }
```

3.1.2 *Parser*

No *parser*, a estrutura que guarda a rotação é decidida pela existência ou não do atributo *time*. Seja qual for a criada, o eixo é atribuído ao array da classe *Rotate*.

```
1  Rotate* rotation;
2  xml_attribute<>* attr;
3
4  if ((attr = node_temp->first_attribute("time"))) {
5      rotation = new Rotate_Time(atof(attr->value()));
6  }
7  else if ((attr = node_temp->first_attribute("angle"))) {
8      rotation = new Rotate_Alpha(atof(attr->value()));
9  }
10 else {
11     rotation = new Rotate_Alpha(0.0f);
12 }
```

3.2 Extensão do Translate

A definição das translações foi expandida nesta parte do trabalho prático com a adição de translações por uma curva *Catmull-Rom*. No ficheiro *xml*, são dados os pontos constituintes da curva, cujo número mínimo é 4. As funções que tratam de calcular os pontos da curva e da sua direção são todas reutilizadas das aulas práticas.

A forma como é distinguida esta translação das restantes é pelo atributo *"time"*, que representa os segundos que a translação ao longo da curva demora, para além do atributo *"align"*, que dita se os modelos devem ser alinhados com a curva. Também foi implementado um atributo extra, *"draw"*, que dita se a curva inteira deve ou não ser desenhada.

3.2.1 Classes

Às classes já existentes, adicionaram-se duas novas: *Translate_Catmull*, que herda de *Transformation*, e *Translate_Catmull_Align*, que herda da primeira. Ambas são úteis na definição da transformação que dita o deslocamento ao longo de uma tal curva.

A primeira das classes tem todas as funções e dados necessários para calcular os pontos em cada dado momento, adicionado a uma lista de pontos *points* todos os pontos lidos do ficheiro *xml*, através da função *addPoint*. A variável x guarda o vetor de direção da curva de modo a possivelmente reutilizar esse cálculo. A função que calcula o ponto a partir de um valor pertencente ao intervalo $[0, 1]$ é a função *getGlobalCatmullRomPoint*.

```
class Translate_Catmull: public Transformation {
public:
    std::vector<float*> points;
    float time;
    float x[3] = {0.0f,0.0f,0.0f};
    void multMatrixVector(float* m, float* v, float* res);
    void getCatmullRomPoint(float t, float* p0, float* p1, float* p2, float* p3, float* pos,
     float* deriv);
    // given  global t, returns the point in the curve
    void getGlobalCatmullRomPoint(float gt, float* pos, float* deriv);
    void setTime(float t);
    void addPoint(float p[3]);
    void transform() override;
};
```

A função *transform* utiliza estas definições para invocar a translação do **glut** que coloque qualquer modelo por ela afetado no local correto. Este cálculo implica definir um valor no intervalo $[0, 1]$ que dite a posição na curva geral. Tal será obtido a partir do valor de duração do tempo, ditado em segundos, através do resto de dividir o tempo atual da simulação por este. A função *remainder*, que permite calcular os restos de divisões por números decimais, tem a particularidade de devolver um valor negativo quando *time_passed* é próximo de *time*.

```
void Translate_Catmull::transform() {
    float timePassed = remainder(glutGet(GLUT_ELAPSED_TIME) / 1000.0f, time);
    float pos[3];
    timePassed = timePassed < 0 ? (timePassed + time) / time : timePassed / time;
    getGlobalCatmullRomPoint(timePassed, pos, x);
    glTranslatef(pos[0], pos[1], pos[2]);
}
```

A segunda classe necessita das funções de cálculo entre vetores, especialmente a do produto externo. Também precisa de guardar o último vetor *up*, ou *y*, calculado no produto externo para iterativamente obter os eixos da rotação.

```
class Translate_Catmull_Align : public virtual Translate_Catmull {
public:
    float y[3] = { 0,1,0 };
    void buildRotMatrix(float* x, float* y, float* z, float* m);
    void cross(float* a, float* b, float* res);
```

```
    void normalize(float* a);
    void align();
    void transform() override;
};
```

A sua função de alinhamento utiliza a função *glMultMatrixf* que multiplica a matriz atual da translação por uma outra dada pelo utilizador, para realizar a rotação necessária para orientar o eixo x do modelo com a curva.

```
void Translate_Catmull_Align::align() {
    float z[3];
    normalize(x);
    cross(x, y, z);
    normalize(z);
    cross(z, x, y);
    float m[16];
    buildRotMatrix(x, y, z, m);
    glMultMatrixf(m);
}
```

A transformação então é dada pela invocação à função da classe pai e posteriormente ao alinhamento.

```
void Translate_Catmull_Align::transform() {
    Translate_Catmull::transform();
    align();
}
```

3.2.2 *Parser*

Do ponto de vista do *parser*, a estrutura que guarda a transformação depende das características do ficheiro *xml*. Independentemente de qual a transformação considerada, o tempo e os pontos devem ser calculados, para serem colocados posteriormente no **VBO**. A função *parse_translate_points* adiciona os pontos encontrados no ficheiro *xml* à estrutura, para que a translação possa calcular os pontos da curva a partir deles.

```
float time = atof(attr->value());
Translate_Catmull* translation;
if ((attr = node_temp->first_attribute("align")) && !strcmp(attr->value(), "True")) {
    translation = new Translate_Catmull_Align();
}
else {
    translation = new Translate_Catmull();
}
translation->setTime(time);
parse_translate_points(translation, node_temp);
group->transformations.push_back(translation);
```

3.3 VBOs

A maior carga de trabalho presente nesta secção do projeto foi direcionada em implementar o desenho da cena a partir de **VBO**'s, ou *Vertex Buffer Objects*. A nossa implementação rege-se pelo optimizar da eficiência em cada passo que pudermos. Nomeadamente, isto implicou colocar no **VBO** e, dessa forma, enviar para o GPU o mínimo de vértices possível. Para além disso, cada uma das figuras foi examinada para ser possível o seu desenho através de índices, de modo a repetir o mínimo número de vértices de cada figura.

Apenas o cubo forçou a repetição de um número reduzido de vértices tanto em questão de complexidade do ciclo da sua criação como para a repetição mais próxima dos índices (preocupações de localidade que justificam alguma das escolhas das sequências de índices).

3.3.1 Classes

Como decisão de prática de abstração, decidiu-se que o desenho da Curva *Catmull-Rom* vai ser tratada como a de qualquer outro modelo. Isso implica conhecer o intervalo de vértices que esta ocupa no **VBO**, como também a de diferenciar o tipo de desenho de todos os modelos. Para tal, é necessário conhecer esse tipo, representado internamente pelo GLUT como um *define* com o tipo *unsigned it*, o número de vértices e o índice de começo desse intervalo.

A classe **Model** foi assim alterada para para mais adequadamente guardar os valores necessários para o seu desenho.

```
class Model {
public:
    unsigned int type;
    unsigned int size;
    unsigned int index = 0;
    Model(unsigned int t) { type = t; }
};
```

3.3.2 *Parser*

A função que lê o ficheiro *xml* onde se encontra detalhada a cena foi significativamente alterada para suprir esta necessidade. Com efeito, foi necessária a criação de um mapa que associa o nome do modelo à sua estrutura dentro do programa, atualizado sempre que um modelo novo for lido do ficheiro *xml* e acessado para reutilizar modelos sempre que um já existente surgir.

Também foi criado um grupo extra, chamado de *decoy*, para que o primeiro grupo onde os modelos são desenhados tivesse um grupo pai, ou seja, que se criasse uma raíz da árvore dos grupos que fosse vazia. Tal foi necessário para a abstração do desenho das curvas *Catmull-Rom* como um outro modelo, como será explicado posteriormente.

```
unordered_map<string, Model*> model_map = {};
    Group* decoy = new Group();
    group->subGroups.push_back(decoy);
    if((temp = root_node->first_node("group")))
        parse_group(temp, decoy, group, points, indices, &model_map);
```

Para além disso, foi necessária a criação e manutenção de uma lista com os índices dos vértices a desenhar, lidos do ficheiro *3d*, gerado por cada uma das primitivas no *generator*. Essa lista foi tratada como tinha sido a lista de pontos, por ser análoga no que diz respeito à leitura do ficheiro *3d*, para cada um dos modelos do ficheiro *xml*, mas com uma diferença importante. Os índices escritos no ficheiro eram isolados, sem qualquer consideração pela existência de outros modelos. Por essa razão, foi necessário criar uma indireção pelo array *indices_buf* para se poder colocar na lista os índices corrigidos de cada um dos pontos, tendo em conta a quantidade de pontos já calculada até então. Essa quantidade dá-se pelo valor *before/3*, já que a varíável *before* representa o número de coordenadas na lista de pontos adicionados até esse momento.

```
unsigned int before = points->size();
unsigned int* indices_buf = (unsigned int*)malloc(sizeof(unsigned int) * n_indices);
//indices->resize(before + n_indices);
filestream.read((char*)(indices_buf), sizeof(unsigned int) * n_indices);
for (unsigned int i = 0; i < n_indices;i++) {
    indices->push_back(indices_buf[i] + before/3);
}
```

A criação da estrutura para cada um dos modelos engloba os seguintes parâmetros:

- O tipo de desenho dos seus vértices. **GL_LINES** para a linha *Catmull* e **GL_TRIANGLES** para os restantes;
- O número de índices que ocupa, guardado em *size* e retirado ora do ficheiro ora do número de pontos da curva;

- O índice inicial do seu intervalo no **VBO**, retirado a partir do tamanho da lista de índices até então, antes de se adicionarem novos.

```
Model* model = new Model(GL_TRIANGLES);
model->size = n_indices;
model->index = indices->size();
```

Por fim, o modelo é associado ao nome do seu ficheiro no mapa. Todo este processo é ignorado se o modelo já existir nesse mapa.

```
if (model_map->find(model_name) == model_map->end()) {
...
    model_map->insert(make_pair(model_name, model));
    group->models.push_back(model);
}
else {
    group->models.push_back(model_map->at(node_models->first_attribute()->value()));
}
```

Curva *Catmull-Rom*

Como já mencionado anteriormente, as Curvas Catmull-Rom são desenhadas, quando assim demarcadas no *xml*, como um qualquer modelo, o que implica a sua adição ao **VBO**. Tal é feito no momento em que a translação é identificada, o que não ocorre ao mesmo tempo que os outros modelos. Para além disso, esta curva estaria sujeita às outras transformações encontradas junto dela, o que não corresponde ao comportamento desejado. Deste modo, o modelo gerado é adicionado ao pai do grupo em questão, o que corrige este problema. Esta é a razão para a indireção criada no início da função *parser*.

As diferenças residem no tipo do desenho, no número de pontos ao longo da curva, ditado pela variável *max*, e na forma como são obtidos esses pontos. Reutilizando a transformação de animação ao longo da curva já criada e que será adicionada à lista para os modelos deste subgrupo, invoca-se a função *getGlobalCatmullRomPoint*, tendo cuidado com o valor que percorre a curva para pertencer ao intervalo $[0, 1]$.

```
float p[3], d[3], max = 100;
unsigned int before = points->size();
// draw curve using line segments with GL_LINE_LOOP
Model* catmull = new Model(GL_LINE_LOOP);
catmull->index = indices->size();
catmull->size = max;

for (unsigned int t = 0; t < max; t += 1) {
    translation->getGlobalCatmullRomPoint(t/max, p, d);
    points->push_back(p[0]);
    points->push_back(p[1]);
    points->push_back(p[2]);
    indices->push_back(t+before/3);
}
parent->models.push_back(catmull);
```

3.3.3 *Engine*

Do lado da *engine*, as mudanças foram menores. Foi criado um segundo **VBO** e lá colocados os seus índices. Cada modelo é desenhado utilizando a função *glDrawElements*, que utiliza a lista de índices passados ao **GPU** e que acede ao tipo de desenho de cada modelo.

```
glGenBuffers(2, buffer);

glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, buffer[0]);
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, points->size()*sizeof(float), points->data(), GL_STATIC_DRAW);
delete(points);

glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, buffer[1]);
glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, indices->size()*sizeof(unsigned int), indices->data(),
    GL_STATIC_DRAW);
delete(indices);
...
for(Model* groupModel: group->models)
    glDrawElements(groupModel->type, groupModel->size, GL_UNSIGNED_INT, (void*) (groupModel
    ->index * sizeof(GLuint)));
```

3.4 Câmara

Como funcionalidade adicional, de modo a melhor visualizar a demo criada, complementou-se a componente FPS da câmara através de rotação utilizando o rato como controle. Para tal utilizaram-se duas novas funções que registam o movimentar do rato e o pressionar dos seus botões. Enquanto o botão for pressionado, o fator que dita o ângulo de rotação da câmara desde o último ponto gravado da câmara é alterado dependendo para onde for arrastado ao longo do ecrã. Ainda não limitamos a rotação da vista na vertente vertical, deixando ao critério do utilizador essa preocupação.

```
void processMouseButtons(int button, int state, int xx, int yy) {

  if (state == GLUT_DOWN) {
    startX = xx;
    startY = yy;
    tracking = 1;
  }
  else if (state == GLUT_UP) {
    tracking = 0;
  }
}

void processMouseMotion(int xx, int yy) {

  int deltaX, deltaY;

  if (!tracking)
    return;

  deltaX = startX - xx;
  deltaY = startY - yy;

  startX = xx;
  startY = yy;

  if (tracking == 1) {
    save_position();
    look_rotate_right = (look_rotate_right + deltaX) % (int)((2 * M_PI) /
    look_rotate_delta_right + 1);
    look_rotate_up = (look_rotate_up + deltaY) % (int)((2 * M_PI) / look_rotate_delta_up +
    1);
  }
```

```
}
```

As funções que tratam da rotação da câmara foram todas organizadas e baseam-se na nova *calculate_displacement*, que devolve o vetor de deslocamento e a diferença das coordenadas para o ponto de visualização.

Também alteramos a função *save_position* de modo a ser mais eficiente quando não ocorreu qualquer transformação, adicionando um teste para verificar se a câmara sofreu deslocamento desde a última rotação.

```
void save_position() {
  if (camera_front == 0 && camera_up == 0 && camera_side == 0) return;

  float desl[3];
  float dist[3];

  calculate_displacement(desl, dist);

  last_camera_position[0] += desl[0];
  last_camera_position[1] += desl[1];
  last_camera_position[2] += desl[2];
  camera_front = 0;
  camera_up = 0;
  camera_side = 0;
}
```

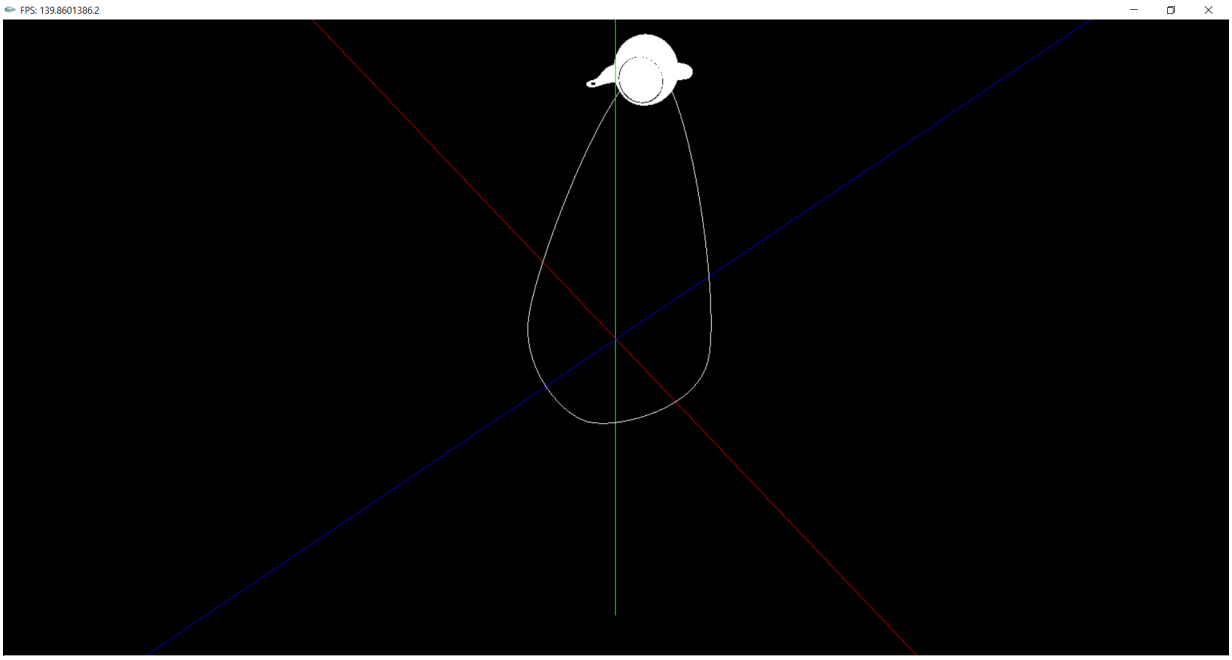
Capítulo 4

Resultados

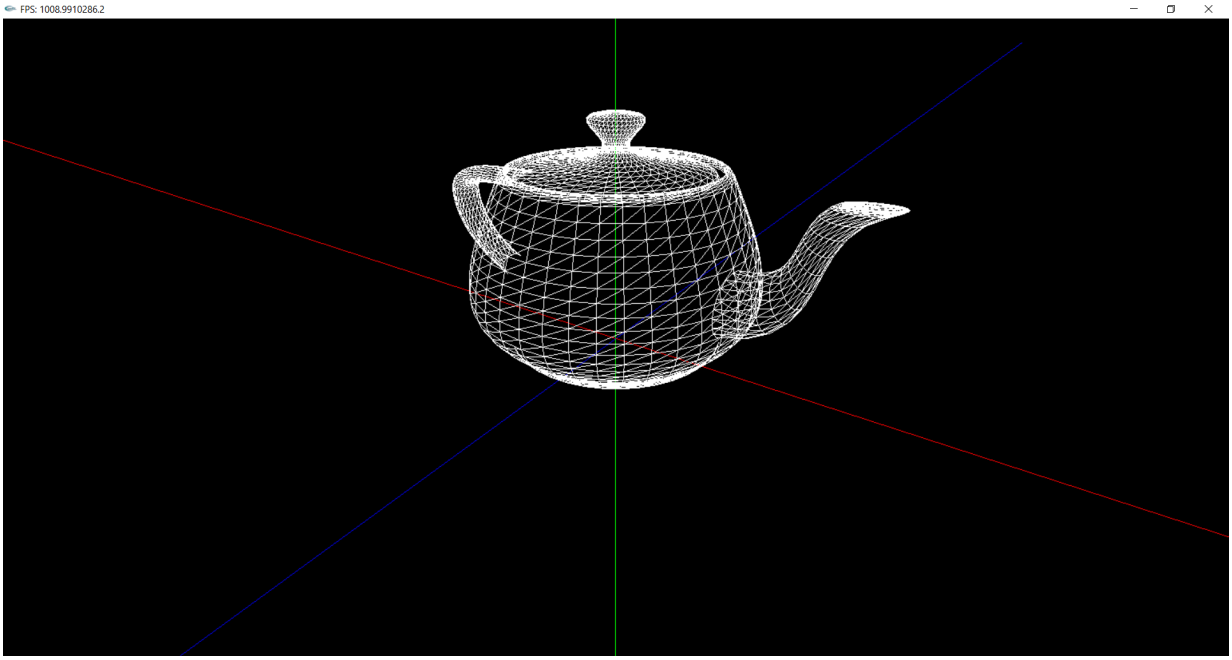
Neste capítulo apresentamos os resultados obtidos da execução de ambas as aplicações utilizando os ficheiros de teste fornecidos.

4.1 Demo

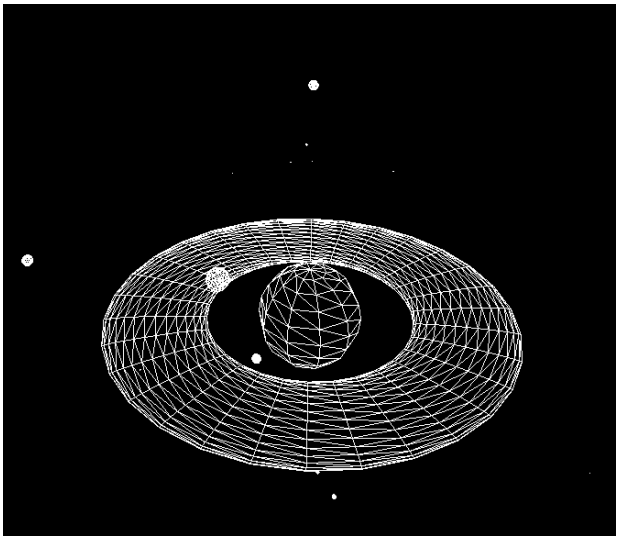
A Demo foi estendida acrescentando a cada grupo o movimento de translação ao redor do Sol, dependendo do seu valor real, tal como o de rotação próprio de cada planeta, Sol e da Lua. Para tal, foram usados *scripts* para se poder calcular os valores do tempo, considerando que a translação de Vénus deveria demorar 5 minutos. Foi acrescentado também um cometa, modelado a partir do cometa, cuja trajetória foi descrita através de uma curva *Catmull-Rom*, acrescentada ao *xml* da demo, *solar_ system_ moons*.



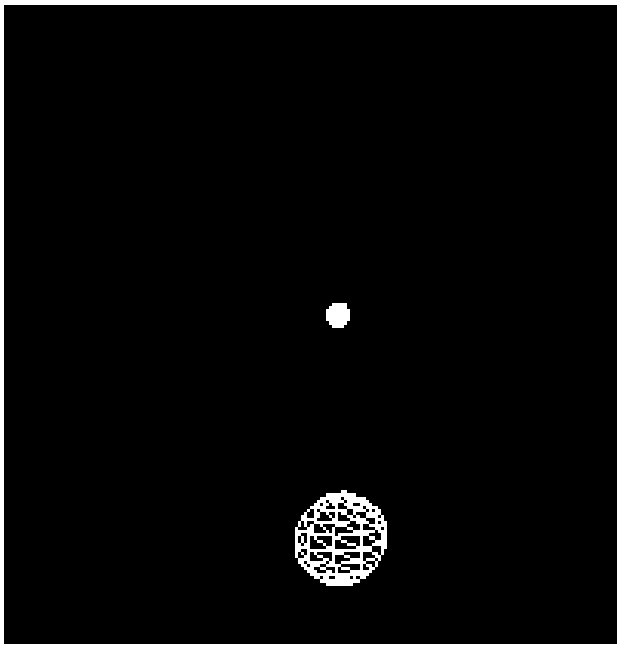
(a) Teste 1



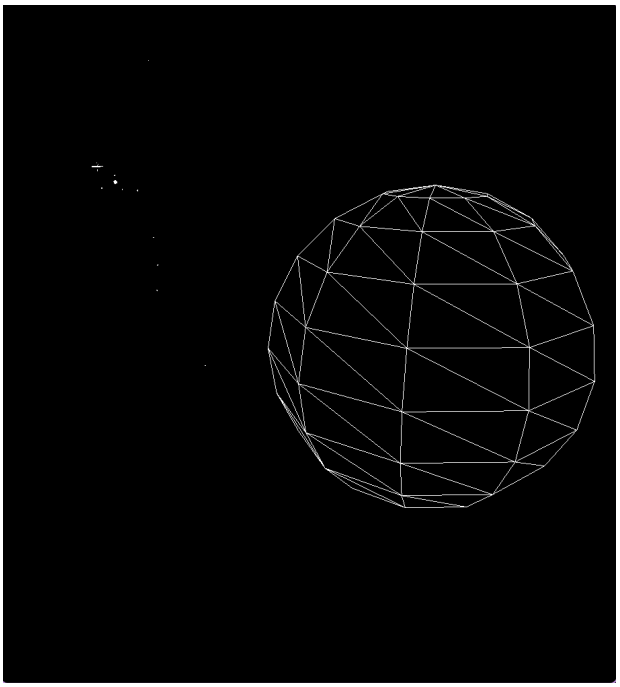
(b) Teste 2



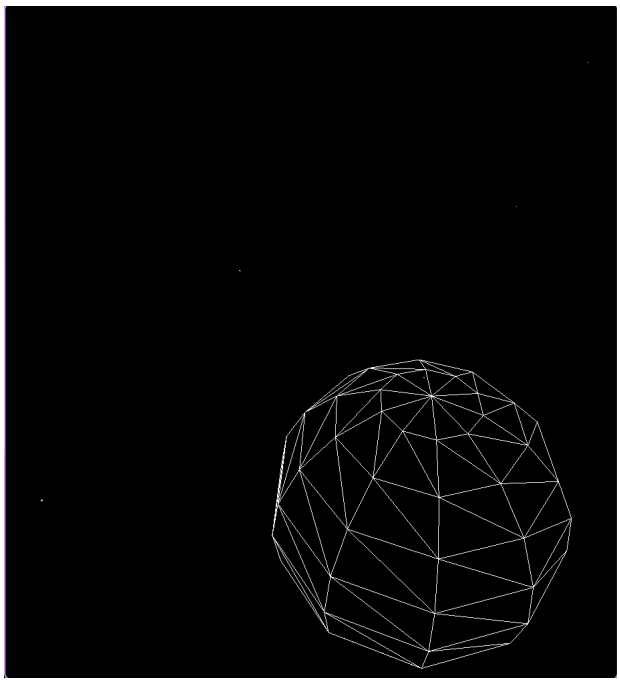
(a) Saturno



(b) Terra



(c) Sol



(d) Sistema Solar visto de cima

Capítulo 5

Conclusão

Em suma, ao longo deste relatório foi implementada duas formas extras de transformação, baseadas em anteriores. Também foi implementada a possibilidade de criar primitivas gráficas a partir de superfícies de Bezier. O desenho das primitivas foi potenciado pela utilização de **VBOs**, com índices escritos nos ficheiros dos modelos para melhor optimizar este processo. Por fim, a demo foi aumentada para incluir movimentação dos astros e um cometa modelado a partir do cometa de Halley.