Relatório: Desenvolvimento de uma aplicação gráfica interativa

Matheus Leite Cruz

01 de Dezembro de 2019

Sumário

1 Introdução

O trabalho consiste no desenvolvimento de uma aplicação gráfica interativa. Foi desenvolvido um jogo simples que permite que o usuário controle um "personagem"principal e colete objetos espalhados sobre um plano, adquirindo pontos. Conforme o "jogador"adquire pontos, a fidelidade gráfica da aplicação é melhorada, seguindo uma progressão lógica de modelos de iluminação, texturas e controle/perspectiva da câmera.

A programa foi desenvolvido na linguagem de programação rust(1), utilizando OpenGL. A escolha de linguagem foi motivada pelo seu potencial para o desenvolvimento de aplicações gráficas complexas, mesmo com um "ecossistema"ainda um pouco imaturo para desenvolvimento de jogos(2).

2 Instalação e organização dos arquivos

2.1 Instalação e execução

Para executar o projeto:

1. Extrair o arquivo zip, abrir a pasta bin e executar o arquivo upgrade.exe ou upgrade_low_tex.exe (poucas texturas para carregamento mais rápido). É necessário manter a estrutura de pastas original.

Para compilar e executar o projeto:

1. Instalar as dependências da linguagem rust.

   1.1 Acessar https://www.rust-lang.org/tools/install e seguir as instruções para sua plataforma

   1.2 Instalar a versão stable com o instalador do passo anterior.

2. Extrair o zip do projeto em alguma pasta ou utilizar o git para clonar o projeto (disponível em ⟨https://github.com/mlcruz/upgrade_rs⟩)

3. Executar o comando 'cargo run' na raiz da pasta. Certifique-se que a pasta dos binários do rust esteja no PATH

   3.1 Ao executar o comando cargo run, todas as dependências vão ser baixadas e o projeto será compilado.

3 Implementação da Aplicação

3.1 Organização dos módulos

Todos os arquivos de recursos necessários ao programa em tempo de execução estão na pasta data. As pastas models, shaders e world contem módulos que implementam as funcionalidades do jogo. Cada modulo é composto por uma

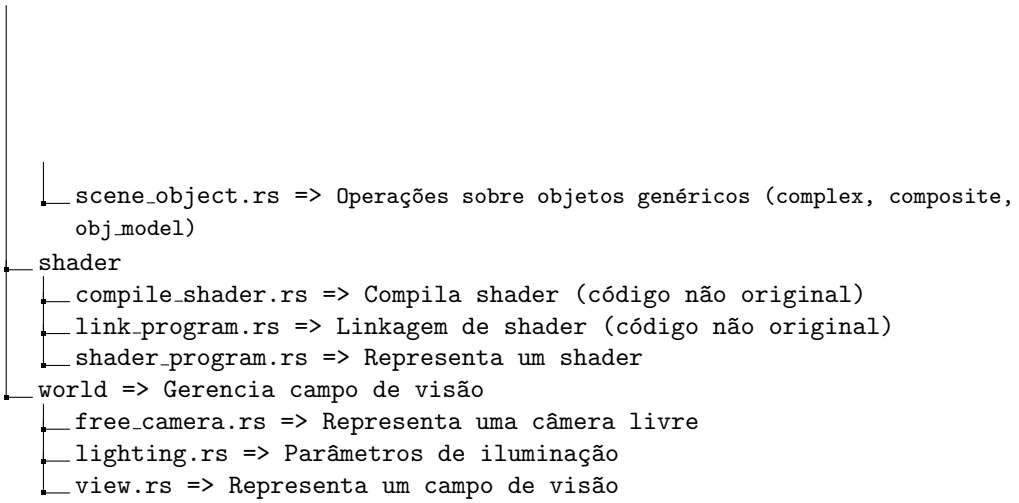
lista de arquivos de extensão .rs, e um arquivo mod.rs. Módulos tem o objetivo de expor funcionalidades associadas e organizar o código.

Os arquivos de código estão documentados de maneira que o nome de suas variáveis e funções sejam descritivos, e comentários redundantes foram evitados. De maneira geral, se o nome da função é (por exemplo) dot_product, não existirá um comentário descrevendo seu funcionamento ou implementação, sendo assumido que a implementação é clara sem maiores comentários. A navegação pelo código fonte funciona melhor se utilizado algum editor que possibilite links entre funções e suas definições, como o VS code.

Boa parte do código tem base no que foi utilizado nos laboratórios, mas algumas outras tiveram que ser reimplementadas (por exemplo, carregamento de arquivos obj e texturas). No geral a falta de algumas bibliotecas causou uma certa dificuldade na realização do projeto, mas na medida do possível todos os requisitos devem ter sido atingidos.

Omitindo o arquivo mod.rs:

```
├── Cargo.toml => Arquivo para gerenciamento de dependências
├── Cargo.lock
└── src
    ├── game_loop.rs => Loop principal de lógica do jogo
    ├── handle_input.rs => Tratamento de entrada do usuário
    ├── main.rs => Inicialização de contexto
    ├── data
    │   ├── shader => Shaders utilizados
    │   │   ├── fragment
    │   │   │   ├── blinn_phong_ilumination.glsl
    │   │   │   ├── default.glsl
    │   │   │   ├── gouraud_fragment_lambert.glsl
    │   │   │   ├── gouraud_fragment_phong.glsl
    │   │   │   ├── lambert_ilumination.glsl
    │   │   │   └── phong_ilumination.glsl
    │   │   └── vertex
    │   │       ├── default.glsl
    │   │       ├── goraud_shading_lambert.glsl
    │   │       ├── goraud_shading_phong.glsl
    │   │       └── phong_shading.glsl
    │   ├── objs => Pasta contendo arquivos obj
    │   └── textures => Pasta contendo texturas
    └── models => Gerencia criação e renderização de objetos
        ├── complex_obj.rs => Objeto recursivos
        ├── composite_obj.rs => Objetos simples com n filhos
        ├── load_texture.rs => Carregamento de texturas
        ├── matrix.rs => Transformações de matrix
        └── obj_model.rs => Representa um Objeto simples base
```



3.2 Main

A função principal do programa tem o objetivo de carregar os ponteiros para as funções do openGl, inicializar o contexto e a janela, e após isso iniciar o loop principal do jogo.

Para a criação de contexto foi utilizada a biblioteca glutin(3), uma alternativa ao glfw nativa ao rust (sem precisar compilar o próprio glfw externamente).

Para carregar os ponteiros para o OpenGl foi utilizada a biblioteca gl-rs (4), alternativa a biblioteca glad

3.3 Models

3.3.1 matrix

Implementa MatrixTransform.

Foi utilizada a biblioteca glm para definir estruturas de dados e realizar operações simples entre vetores e matrizes. Foram implementadas funções para:

- Rotações (x,y,z, eixo) de matriz 4x4
- Translações de matriz 4x4
- Translação para 0 => Operação de rotação ou escala => Translação para posição original
- Escala de matriz 4x4
- Calculo de produto escalar e vetorial
- Calculo de matriz de projeção ortográfica
- Normalização de vetores
- Matriz de camera view

As funções implementadas foram uma praticamente "tradução literal" para rust das nos laboratórios implementadas em c++.

Todos os Objetos (SceneObject, ComplexObj, ObjModel, CompositeObj), implementam funções de transformações matriciais derivadas das acima. A

maior todos as outras estruturas utilizam funções definidas nessa biblioteca de uma maneira ou outra.

3.3.2 load_textures

Gerencia carregamento texturas para a gpu a partir de imagens. Retorna um u32 representando a textura carregada.

3.3.3 obj_model

Estrutura que representa um objeto a ser desenhado. Utiliza a biblioteca tobj - tiny obj loader(5) para fazer o carregamento dos arquivos obj

Atributos: Um objeto é inicializado a partir de um arquivo .obj, definindo diversas propriedades a respeito de como deve ser desenhado na tela:

- vao: Endereço da vao do objeto, não é criada em clones.
- ebo: Indices do obj.
- texture, normal, geometry vbo: Vbos com dados de textura, normal e geometria. Normais são calculadas a partir dos vértices do obj, se não existirem.
- model: Matriz model inicial do obj. Padrão é matriz identidade.
- index_len: Tamanho do do vetor de índice dos vértices
- bbox_min/max: Bounding box computada na inicialização
- lighting_source_override: vetor de sobrescrita do local da fonte de luz
- color_overide: Vetor de sobrescrita da refletância
- ambient_reflectance_overide: Vetor de sobrescrita da refletância ambiente
- specular_reflectance_overide: Vetor de sobrescrita da refletância especular
- phong_q: Vetor de sobrescrita da refletância especular
- Texture overide: Local da textura que sobrescreve a textura atual se texture map type for setado.
- Textura map type: Tipo de mapeamento da textura.

  0 - Arquivo OBJ

  1- Planar XY

  2 -Planar XY

  3- Esférico

  4- Cilíndrico

Objetos copiados a partir de um objeto não realocam vaos e vbos, somente seus parâmetros enviados para a GPU como uniforms diferem. A maior parte das funções sobre objetos é imutável, e quase sempre retorna um objeto novo com as alterações aplicadas sem alterar o objeto base que chama o método.

Metodos: Um objeto implementa as seguintes funções (além de get/set/with de seus atributos, que são implementados para quase todos e transformações matriciais):

- new: Inicializa objeto, atribuindo valores padrão aos atributos, carregando arquivo obj especificado, computando normais e inicializando vaos e vbos na GPU.
- load_texture: Retorna objeto a partir do obj base com a textura especificada carregada em seu override a partir de um arquivo.
- check_intersection:Detecta interseção entre obj e alguma outra bounding box.
- draw: Carrega uniforms da GPU com atributos do obj, e desenha na tela. Antes de desenhar o obj todas as propriedades relevantes do mesmo (matriz model, bounding_box e etc) são enviadas para a gpu.

3.3.4 composite_object

Estrutura que representa um ObjModel raiz com diversos filhos. É Criado quando um SceneObject que é um ObjModel chama o metodo add_children em outro ObjModel.

Métodos: Implementa add_children, draw e operações de transformação matricial. Transformações aplicadas a raiz são aplicadas as todos os filhos, e draw desenha todos os filhos com as transformações aplicadas. É inicializado a partir de um add_children de outro objeto

3.3.5 complex_object

Estrutura que representa um ObjModel raiz com diversos filhos que podem ser outros ComplexObj. É Criado quando um CompositeObj ou ComplexObj chama o metodo add_children em outro CompositeObj/ComplexObj. É inicializado a partir de um add_children de outro objeto.

Métodos: Implementa add_children, draw e operações de transformação matricial. Transformações aplicadas a raiz são aplicadas as todos os filhos, recursivamente, e draw desenha todos os filhos recursivamente.

3.3.6 scene_obj

Objeto do tipo ComplexObj OU ObjModel OU CompositeObj (tipo algébrico soma). Implementa operações genéricas que funcionam sobre qualquer um dos

3 objetos. No caso de objetos que contem raiz, todas as transformações são aplicadas a raiz e seus filhos recursivamente.

Todas as detecções de colisão são verificadas recursivamente para filhos, se existirem.

Métodos: Além de implementar get, set, with sobre atributos dos objetos base, add_children e transformações matriciais:

- new: Inicializa um ObjModel novo com o arquivo .obj especificado
- get_root: Retorna raiz do Objeto. É ele mesmo para ObjModels
- check_plane_intersection: Detecta interseção entre objeto e algum plano.
- check_is_intersecting_fence: Detecta interseção entre objeto e alguma cerca bi-dimensional.
- check_point_intersection: Detecta a intersecção entre o objeto e um ponto
- check_bbox_intersection: Detecta a intersecção entre o objeto e uma bounding box
- draw: Carrega uniforms e desenha recursivamente (para obj e cada filho).

3.4 Shader

3.4.1 shader_program

Estrutura que representa o programa de um shader compilado e linkado. Os arquivos de fonte de cada shader podem ser encontrados em /src/data/shader. Objetos utilizam um shader para desenhar na tela.

Fragment shaders implementados (em /src/data/shader/fragment):

- Iluminação de blinn-phong, phong shading =>blinn_phong_ilumination.glsl
- Iluminação de phong, phong shading => phong_ilumination.glsl
- Iluminação de lambert, phong shading => lambert_ilumination.glsl
- Iluminação de phong, gouraud shading => gouraud_fragment_phong.glsl
- Iluminação de lambert, gouraud shading => gouraud_fragment_lambert.glsl
- Cor sem iluminação=> default.glsl

Vertex shaders implementados (em /src/data/shader/vertex):

- Calcula normal, posição => default.glsl
- Iluminação de phong, gouraud shading => gouraud_shading_phong.glsl
- Iluminação de lambert, gouraud shading => gouraud_shading_lambert.glsl
- phong shading => phong_shading.glsl

3.5 World

3.5.1 lighting

Estrutura que representa uma configuração de iluminação da cena.

Atributos: Vetores de iluminação global, Iluminação ambiente e Direção da iluminação.

3.5.2 free_camera

Estrutura que representa uma câmera na cena. Tem todos os atributos necessários para calcular sua própria view matrix, e depois é utilizada pela estrutura View para montar a cena (carregando as matrizes de projeção e view) antes da renderização.

Atributos:

- pos: Posição da câmera
- distance: distância da câmera
- pitch : Movimento angular vertical sobre o eixo fixo
- yaw : Movimento angular lateral sobre o eixo fixo
- view_matrix: view matrix calculada a partir dos outros atributos da câmera
- front: Vetor da direção em que a câmera aponta

Métodos:

- new: Iniciliza uma câmera a partir de uma posição, e valores de pitch e yaw.
- refresh: calcula view matrix da câmera a partir de sua posição e distância, sem alterar o vetor front pre estabelecido. É utilizado para simular uma câmera look-at
- refresh_as_free_camera: calcula view matrix da câmera a partir de sua posição, distância, pitch e yaw.

3.5.3 view

Estrutura que representa um campo de visão, com câmera e iluminação.

Atributos:

- nearplane: plano limite mínimo do frustum do campo de visão
- farplane : plano limite máximo do frustum do campo de visão
- projection_matrix: Matriz de projeção perspectiva ou ortográfica.

- camera: FreeCamera a ser utilizada para preparar campo de visão
- lighting: Lighting a ser utilizado para calcular parâmetros de iluminação

Métodos: Além de implementar get, set, with sobre os atributos

- new: Inicializa uma View a partir de uma FreeCamera, um nearplane e um farplane. Como padrão, utiliza projeção perspectiva e parâmetros de iluminação pre-definidos.
- render: Utiliza view matrix da câmera, matriz de projeção e parâmetros de iluminação para preparar uniforms a serem utilizados pela GPU para desenhar a cena. Carrega todos os seus atributos relevantes na gpu, deve ser chamado antes de desenhar objetos.
- ortographic: Altera matrix de projeção para projeção ortográfica
- perspective: Altera matrix de projeção para projeção perspectiva

3.6 game_loop

Loop principal do jogo.

3.6.1 Estado do jogo

São Inicializas diversas variáveis de estado para controlar o estado do jogo:

- should_break: Indicador de encerramento de loop
- should_add_obj: Indicador de desenho de objeto na tela
- is_view_orto: Indicador de projeção ortográfica
- draw_queue: Fila de objetos a serem desenhados a cada loop
- score: Pontuação do usuário
- camera_height: Altura da câmera principal
- obj_plane_height: Altura do plano principal
- speed_mult: Multiplicador de velocidade do obj principal
- look_at: Vetor de direção da camera look-at
- camera_speed_mult: Multiplicador de velocidade da camera
- current_camera: Controle de camera atual
- can_fly: Indicador de permissão de movimento no eixo Y
- with_Bézier : Indicador de movimentação dos objs em curvas de Bézier .

- curr_x: f64 : Variável que varia de 0 a 1 conforme o tempo, utilizada para curvas de Bézier .
- dir: direção da variável de controle curr_x (crescente ou decrescente);
- complex_objs: Indicador de objetos complexos,
- max_framerate: Framerate máxima,
- progression_multiplier: Multiplicador de dificuldade na progressão ao adquirir pontos,
- lighting_source: Direção da fonte de luz global,

3.6.2 Inicialização

Inicialização:

1. Compila e linka shaders do jogo
2. Carrega texturas utilizadas pelo jogo

   2.1 Adiciona texturas carregas em uma pool de texturas para ser utilizada pelos objs
3. Carrega objs utilizados pelo jogo

   item 3.1 Adiciona objs carregados em uma pool, que servem como base para os objs gerados aleatoriamente do jogo
4. Inicializa câmera ortográfica look-at, atribui como câmera padrão
5. Inicializa câmera livre
6. Inicializa estado inicial do jogo (pontuação, shader atual, framerate, câmera atual, etc)
7. Inicializa View com câmera look-at inicial

3.6.3 loop principal

Após a inicialização, o jogo funciona executando sequencialmente as seguintes operações em loop:

1. Inicia contador de tempo de frame
2. Limpa tela
3. Trata eventos do usuário. Eventos do usuário podem modificar qualquer variável de estado de jogo, câmera, view, e obj principal. Controles possíveis são descritos na seção de funcionamento do programa.

4. Se should_add_obj é true:

   - Restaura todas (ou quase todas) as variáveis de controle de estado do jogo para seus valores iniciais após a inicialização (score: 0). Isso acontece a cada iteração, e a cada iteração as transformações que levam aos próximos estados do jogo são reaplicadas dependendo da pontuação do usuário. Isso permite que seja possível retornar a estados anteriores/avançar estados dependendo unicamente da sem interferência de estados anteriores (ou quase).

   - Aplica transformações aos objs e estado de jogo dependendo da pontuação do usuário. Todas as pontuações necessárias podem ser multiplicadas por um multiplicador de dificuldade:

   * (a partir de) 0 (pontos) : Prepara até 5 objetos novos, gerados a partir da pool de texturas e objs para serem inseridos na cena. As propriedades de modelo, textura, refletância ambiente, refletância especular, tamanho e cor dos objetos são geradas aleatoriamente a cada mudança de estado de should_add_obj, e ao fim das etapas de transformação, 1 a 5 objetos são inseridos na fila de desenho.

   * (a partir de) 0 (pontos) : Aumenta o tamanho do objeto principal, e atualiza a câmera conforme alteração. A cada pontuação o objeto principal fica maior

   * 2 : Adiciona cores aos objs

   * 4 : Adiciona cores aos obj principal

   * 6 : Troca para projeção perspectiva e câmera móvel

   * 8 : Utiliza modelo de iluminação de Lambert, gouraud shading

   * 10 : Adiciona texturas aos objs e ao obj principal

   * 12 : Começa a desenhar objs com maior complexidade de triângulos (cow.obj+)

   * 14 : Câmera segue o obj principal

   * 16 : Iluminação de Lambert, Phong shading

   * 18 : Câmera livre em primeira pessoa

   * 20 : Iluminação de Phong, gouraud shading

   * 22 : Iluminação de Phong, Phong shading

   * 24 : Iluminação relativa a fonte de luz (em vez de fonte de luz global única para cada obj)

   * 28 : Iluminação de Blinn-Phong, Phong shading

5. Desenha Frame:

   - Desenha obj principal, plano e fila de objs do estado do jogo, utilizando view, câmera e shaders definidos anteriormente.

- Detecta colisões entre o objeto principal e o plano. Se o obj principal cruzar para fora do plano, é movido de volta para dentro.

- Detecta colisões entre obj principal e objs da fila. Uma colisão entre obj principal e outro é caracterizado pela interseção de suas bounding box ou da interseção do ponto da câmera com a bounding box do obj.

- Se uma colisão for detectada, remove objeto colidido da fila de objs, adiciona 1 na pontuação do usuário e altera should_add_obj para true.

- Se o modo de curvas de Bézier estiver ligado, faz uma translação de todos os objs da fila utilizando a equação da curva e o parametro de tempo

6. Guarda tempo de iteração de renderização no timer e força framerate especificado pelo estado do jogo.

7. Se should_break é verdadeiro, encerra programa. Se não, volta ao começo.

4 Funcionamento da Aplicação

4.1 Controles

A habilitação de um controle depende da pontuação do usuário e do estado do jogo. Por exemplo, não é possível mover a câmera até a câmera livre ser "desbloqueada".

- Personagem Principal

  - W,A,S,D: Controla movimentação

  - Mouse: controla ângulos da câmera livre e direção do movimento (quando habilitada)

- Qualquer Câmera:

  - O: Muda para projeção ortográfica

  - P: Muda para projeção perspectiva

- Câmera Look at:

  - Setas do teclado controlam posição da camera (quando habilitado, se existir camera look-at)

- Câmera Livre:

  - Mouse: controla ângulos da câmera livre e direção do movimento (quando habilitada)

- Iluminação ambiente:

  - 1, 2, 3: Diminui parâmetros x,y,z do vetor de espectro da iluminação ambiente

- 7, 8, 9: Aumenta parâmetros x,y,z do vetor de espectro da iluminação ambiente

- PageUp: Aumenta intensidade do espectro de iluminação ambiente

- PageDown: Diminui intensidade do espectro de iluminação ambiente

- Iluminação global:

  - F1, F2, F3 : Aumenta parâmetros x,y,z do vetor de direção da fonte de luz

  - F7, F8, F9 : Diminui parâmetros x,y,z do vetor de direção da fonte de luz

  - Numpad 1, 2, 3: Diminui parâmetros x,y,z do vetor de espectro da iluminação global

  - Numpad 7, 8, 9: Aumenta parâmetros x,y,z do vetor de espectro da iluminação global

  - Home: Aumenta intensidade do espectro de iluminação global

  - End: Diminui intensidade do espectro de iluminação global

- - Posição da Iluminação relativa (habilitada após 28 pontos):

  * Setas do teclado: Posição x,z da fonte de luz relativa

  * Insert/End: Posição y da fonte de luz relativa

- Outros:

  - R: Reinicia parametros de iluminação com os valores padrão

  - +: Adiciona um ponto e muda should_add_obj para true

  - -: Remove um ponto e muda should_add_obj para true

  - B: Liga movimentação dos objs em curvas de Bézier

4.2 Funcionamento

O funcionamento da aplicação é simples: O jogador deve utilizar seu personagem principal e coletar outros objetos espalhados pelo plano, colidindo com os mesmos. Ao colidir com um objeto, o mesmo some o o obj principal cresce. O jogo termina quando o usuário cresce a tal ponto que todos os objetos novos gerados nascem dentro do obj principal, encerrando qualquer possibilidade de continuar o jogo.

Objetos novos são gerados aleatoriamente, com propriedades de refletância especular, difusa, e tipos de textura, mapeamento de textura e modelo aleatórios . Alguns objetos são especiais (puramente especulares ou difusos ou realmente completamente aleatórios), e alguns tem um tipo de mapeamento de textura e propriedades mais padronizadas.

O jogador pode controlar o objeto principal utilizando o mouse e as teclas W,A,S,D (descritos na seção acima). A qualquer momento é possível pressionar

B e ativar o modo de Bézier, animando todos os objetos e move eles em uma curva (de Bézier).

As teclas + e − podem ser utilizadas para alterar a pontuação, se o processo de adquirir objetos para avançar o estado do jogo for muito tedioso.

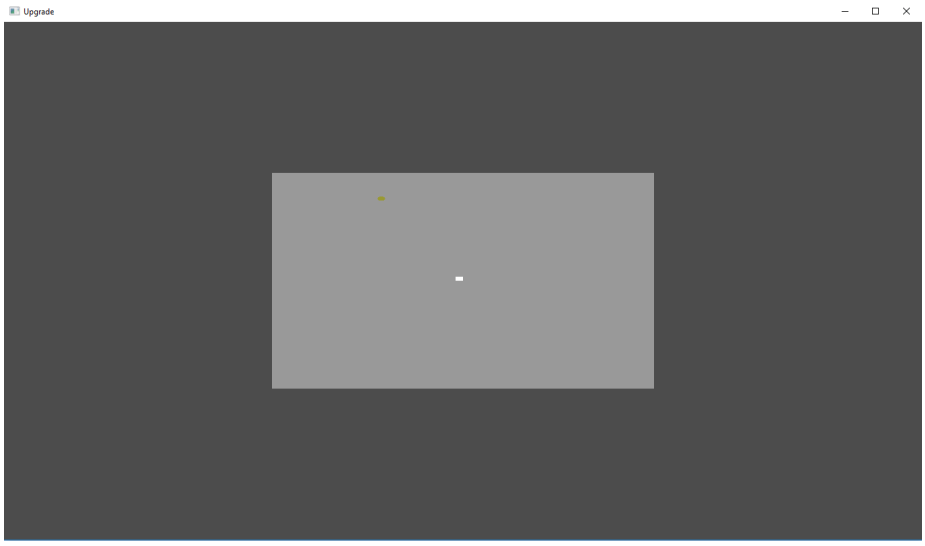


Figura 1: Inicio do jogo: Projeção ortográfica e câmera vertical simulam 2d

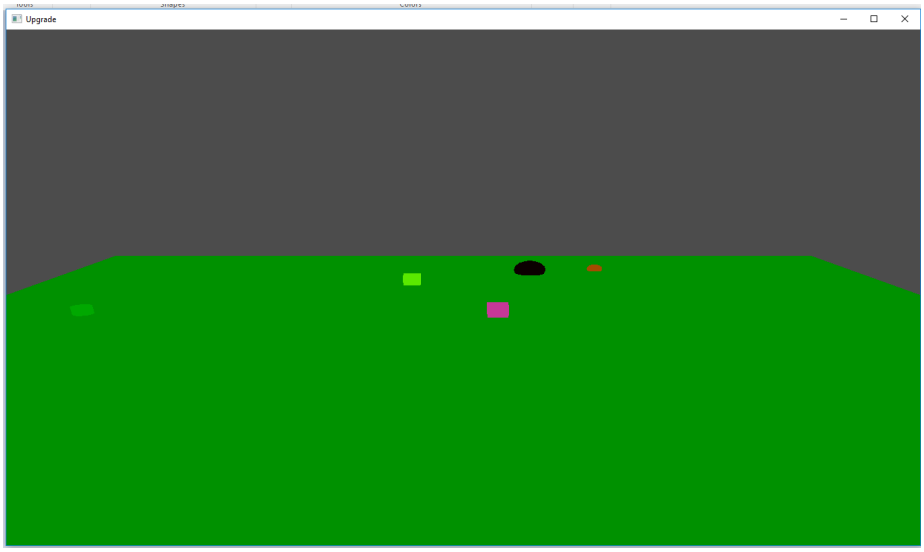


Figura 2: 6 pontos: Projeção perspectiva e cor

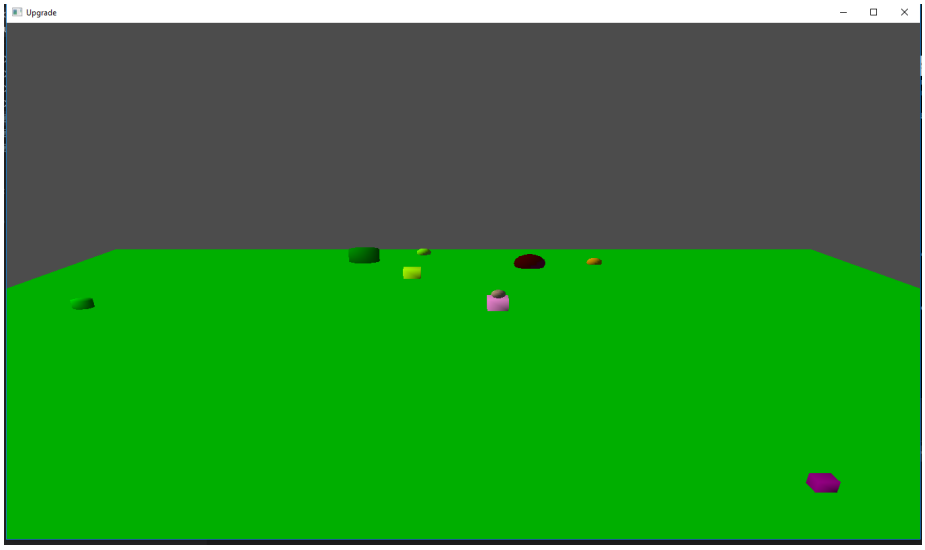


Figura 3: 8 pontos: Iluminação de lambert, gouraud shading

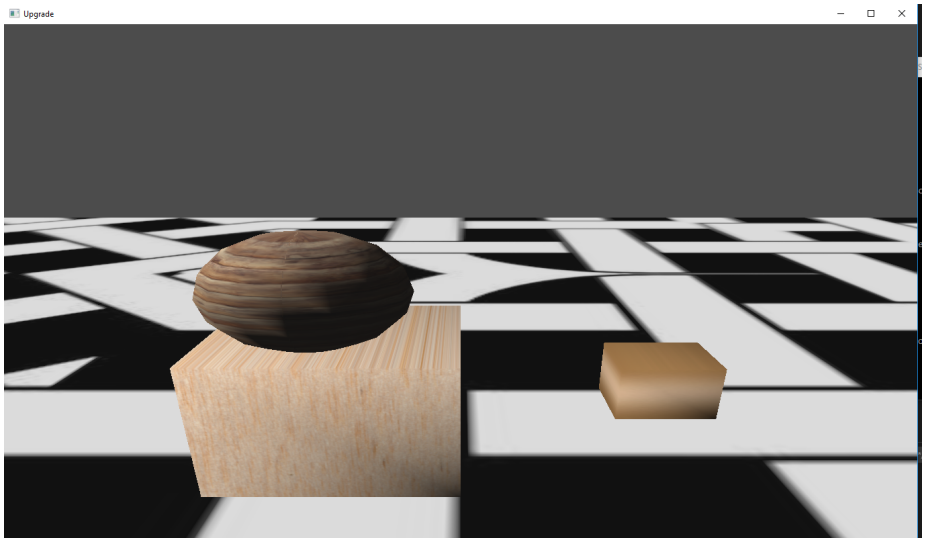


Figura 4: 14 pontos: Texturas

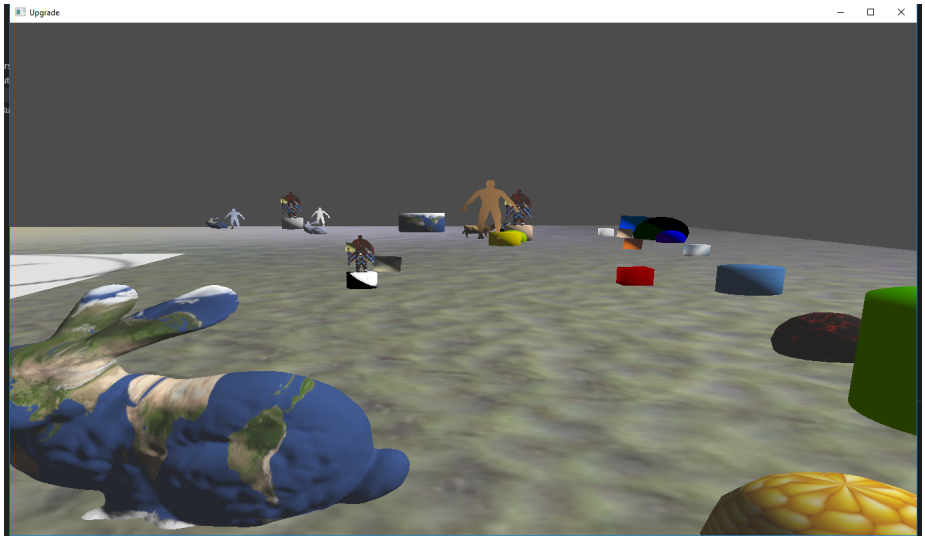


Figura 5: 28 pontos: Phong, phong shading

Figura 6: 28 pontos: Phong e fontes de luz relativas

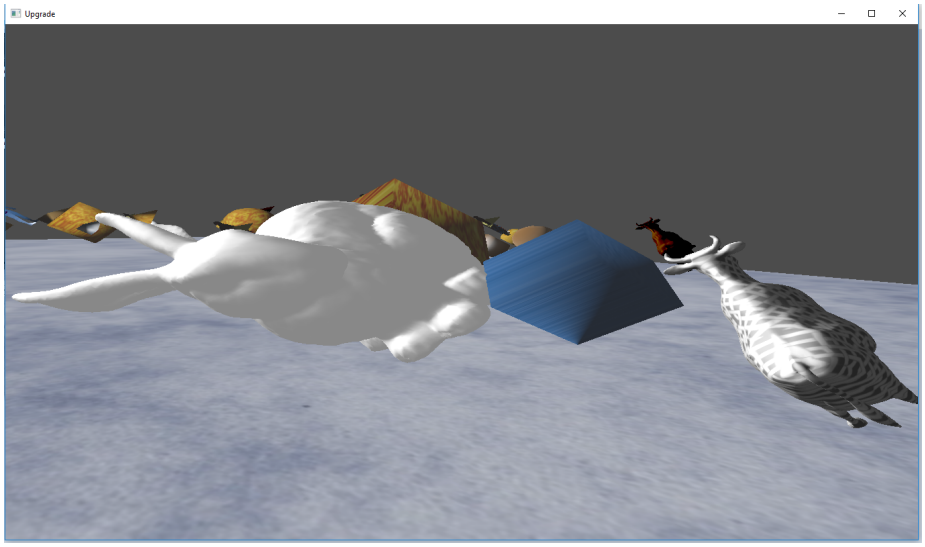


Figura 7: Final: Blinn-phong, phong shading, movendo em curva de Bézier

5 Requisitos

- Utilizar as matrizes que vimos em aula:

  - Arquivo src/models/matrix.rs

  - Utilizado para transformações em todos os objs da cena

- Interação com o usuário: Usuário controla cena e objeto principal com teclado e mouse

- Objetos virtuais representados através de malhas poligonais complexas

  - SceneObj carrega objs complexos. Vew cow.obj, naked_dude.obj

  - Objs são possíveis de composição e aplicam transformações hierárquicas

- Transformações geométricas de objetos virtuais.

  - Objeto principal é controlado e cresce conforme pontos são adquiridos. B liga curvas de Bézier

- Controle de câmeras virtuais

  - São implementadas duas cameras, uma look-at e uma livre.

- No mínimo um objeto virtual deve ser copiado com duas ou mais instâncias, isto é, utilizando duas ou mais Model matrix aplicadas ao mesmo conjunto de vértices

  - Todos os objetos são copiados a partir de instancias base, utilizando model matrix diferentes (além de outros)

- Testes de intersecção entre objetos virtuais.

  - É Implementado um teste bounding_box - bounding_box para colisão entre objs

  - Um teste bounding_box - ponto para colisão entre objs e câmera do obj principal

  - Um teste plano - bounding_box para detecção do obj principal nos limites do plano.

- Modelos de iluminação de objetos geométricos.

  São implementados os seguintes modelos de iluminação e shading:

  - lambert e gouraud shading

  - phong e gouraud shading

  - lambert e phong shading

  - phong e phong shading

  - blinn-phong e phong shading

- Mapeamento de texturas

  São mapeadas mais de 10 texturas aleatoriamente sobre objs

  Mapeamento esférico, cilíndrico, linear xy, linear xz implementado.

- Curvas de Bézier.

  Ao pressionar B todos os objetos começam a se mover em uma curva de Bézier e rotacionar aleatoriamente

- Animação de Movimento baseada no tempo.

  Um framerate máximo é forçado, e as animações são parametrizadas pelo tempo de cada frame.

Referências

1 RUST. Disponível em: ⟨https://www.rust-lang.org/⟩.

2 ARE-WE-GAME-YET? Disponível em: ⟨http://arewegameyet.com/⟩.

3 GLUTIN. Disponível em: ⟨https://github.com/rust-windowing/glutin⟩.

4 GL-RS. Disponível em: ⟨https://github.com/brendanzab/gl-rs⟩.

5 TOBJ - Tiny OBJ Loader. Disponível em: ⟨https://github.com/Twinklebear/tobj⟩.