



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

Desenvolvimento de um Compilador de BRDFs em \LaTeX para linguagem de shading GLSL, através da técnica Pratt Parsing

Trabalho de Conclusão de Curso

Everton Santos de Andrade Júnior



São Cristóvão – Sergipe

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

Everton Santos de Andrade Júnior

**Desenvolvimento de um Compilador de BRDFs em \LaTeX para
linguagem de shading GLSL, através da técnica Pratt Parsing**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Computação da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador(a): Dra. Beatriz Trinchão Andrade
Coorientador(a): Dr. Gastao Florencio Miranda Junior

São Cristóvão – Sergipe

2024

Resumo

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um compilador de funções de distribuição de reflexão bidirecional (BRDFs) expressas em LaTeX para a linguagem de shading GLSL, utilizando a técnica de Pratt *Parsing* e linguagem de programação Odin. O objetivo é automatizar o processo de tradução de funções complexas de materiais, frequentemente descritas em equações LaTeX, para o código GLSL utilizado em programação de *shaders* para OpenGL. Ao fornecer essa ferramenta, pretende-se não apenas simplificar o trabalho dos desenvolvedores e pesquisadores na área de computação gráfica, mas também democratizar o acesso e compreensão de modelos de materiais complexos. Além disso, ao permitir que as BRDFs sejam expressas em uma forma mais familiar e acessível, como a notação matemática, o compilador reduz a barreira de entrada para aqueles que não estão familiarizados com linguagens programação, de modo a facilitar a colaboração interdisciplinar entre profissionais de diferentes áreas. A validação dos shader de saída do compilador proposto será feita através da ferramenta Disney BRDF Explorer, que auxilia na visualização de BRDF.

Palavras-chave: Compilador, BRDFs, LaTeX, GLSL, Shading, Pratt *Parsing*.

Sumário

1	Introdução	6
1.1	Contexto	6
1.2	Motivação	6
1.3	Objetivo	7
1.4	Estrutura do Documento	7
2	Conceitos	9
2.1	Radiometria	9
2.1.1	Energia Radiante e Fluxo	9
2.1.2	Radiância e BRDF	10
2.2	BRDF Models	12
2.2.1	Superfície Pura Especular	12
2.2.2	BRDF Difusa Ideal	12
2.2.2.1	BRDF Brilhante (<i>Glossy</i>)	12
2.2.2.2	BRDF Retro-Refletora	12
2.3	Compiladores	13
2.3.1	Cadeia de Símbolos e Alfabeto	13
2.3.2	Definições de Linguagens	13
2.3.3	Compilador como um Transformação	13
2.3.4	Gramática	13
2.3.4.1	Gramáticas Livres de Contexto (GLCs)	14
2.3.5	Análise Léxica	14
2.3.6	Análise Sintática ou <i>Parsing</i>	14
2.3.7	Pratt Parsing	15
2.3.7.1	Precedência de Expressões	15
2.3.7.2	Árvores Inclinadas	15
2.3.7.3	Pseudo-código para Análise de Expressões	16
2.3.8	Geração da Linguagem Alvo	17
2.4	Introdução ao Shading e ao Pipeline de GPU	17
2.4.1	Vertex Shader	18
2.4.2	Fragment Shader	19
3	Revisão Bibliográfica	20
3.1	Mapeamento Sistemático	20
3.1.1	Seleção das Bases	20
3.1.2	Questões de Pesquisa	21

3.1.3	Termos de Busca	21
3.1.4	Critérios	22
3.1.4.1	Critérios de Inclusão	22
3.1.4.2	Critérios de Exclusão	22
3.1.5	Descrição dos Trabalhos Relacionados	23
3.1.5.1	genBRDF: Discovering New Analytic BRDFs with Genetic Programming	23
3.1.5.2	Slang: language mechanisms for extensible real-time shading systems	24
3.1.5.3	Tree-Structured Shading Decomposition	24
3.1.5.4	A Real-Time Configurable Shader Based on Lookup Tables	25
3.2	Pesquisa por Repositórios online	26
4	Metodologia	27
4.1	Análise Abrangente	27
4.2	Especificação da Linguagem	27
4.3	Design de Casos de Teste	28
4.4	Implementação do Compilador	29
4.5	Experimentos de Renderização	29
4.6	Plano de Continuação	30
5	Resultados Iniciais	32
5.1	Parser and Lexer in Odin	32
5.1.1	Parser	32
5.1.2	Gramática	33
5.1.3	Tabela de Símbolos	35
5.1.3.1	Estrutura de Símbolos	35
5.1.3.2	Gerenciamento de Escopo	36
5.1.3.3	Estrutura da Árvore de Sintaxe	36
5.1.4	Implementação do Padrão de Visitante	37
5.1.5	Testing	37
5.1.6	Testes	37
5.1.6.1	Geração de Árvore de Sintaxe	38
5.1.6.2	Precedência de Operadores e Associatividade	38
5.1.6.3	Interpretação Semântica	38
5.2	Ray Tracing	40
5.2.1	Implementação de Materiais	40
5.2.2	Mecanismo de Reflexão de Raios	41

6 Resultados de comandos	43
<i>Isto é uma sinopse de capítulo. A ABNT não traz nenhuma normatização a respeito desse tipo de resumo, que é mais comum em romances e livros técnicos.</i>	
6.1 Codificação dos arquivos: UTF8	43
6.2 Citações diretas	43
6.3 Notas de rodapé	44
6.4 Tabelas	44
6.5 Figuras	44
6.5.1 Figuras em <i>minipages</i>	46
6.6 Expressões matemáticas	46
6.7 Enumerações: alíneas e subalíneas	47
6.8 Espaçamento entre parágrafos e linhas	48
6.9 Inclusão de outros arquivos	49
6.10 Compilar o documento \LaTeX	49
6.11 Remissões internas	49
6.12 Divisões do documento: seção	50
6.12.1 Divisões do documento: subseção	50
6.12.1.1 Divisões do documento: subsubseção	50
6.12.1.2 Divisões do documento: subsubseção	50
6.12.2 Divisões do documento: subseção	50
6.12.2.1 Divisões do documento: subsubseção	50
6.12.2.1.1 Esta é uma subseção de quinto nível	50
6.12.2.1.2 Esta é outra subseção de quinto nível	51
6.12.2.1.3 Este é um parágrafo numerado	51
6.12.2.1.4 Esta é outro parágrafo numerado	51
6.13 Este é um exemplo de nome de seção longo. Ele deve estar alinhado à esquerda e a segunda e demais linhas devem iniciar logo abaixo da primeira palavra da primeira linha	51
6.14 Diferentes idiomas e hifenizações	51
6.15 Consulte o manual da classe <code>abntex2</code>	53
6.16 Referências bibliográficas	53
6.16.1 Acentuação de referências bibliográficas	53
6.17 Precisa de ajuda?	53
6.18 Você pode ajudar?	54
6.19 Quer customizar os modelos do <code>abnTeX2</code> para sua instituição ou universidade?	54
Referências	55

1

Introdução

1.1 Contexto

Na computação gráfica, a representação realista de cenas tridimensionais depende fortemente da modelagem da luz e dos materiais que compõem os objetos na cena. [referencia] A interação da luminosidade incidente com esses materiais é crucial para a geração de imagens fiéis à realidade. Uma abordagem fundamental para modelar essa interação é por meio das funções de distribuição de refletância bidirecional, conhecidas como BRDFs (do inglês, *Bidirectional Reflectance Distribution Functions*).

As BRDFs, essencialmente, calculam a proporção entre a energia luminosa que atinge um ponto na superfície e como essa energia é refletida, transmitida ou absorvida [referencia]. Na renderização, essas funções são implementadas por meio programas especializados nas unidades de processamento gráfico (GPUs), esses programas são chamados de *shaders*, e cada interface de programação, do inglês *Application Programming Interface* (API), de renderização disponibiliza etapas diferentes onde esses executáveis podem ser programados durante o processo de renderização. Esses *shaders* concedem a capacidade de cada objeto renderizado ter sua aparência configurada por meio de um código que implementa uma BRDF.

1.2 Motivação

Apesar da disponibilidade de linguagens específicas para a programação de *shaders*, que possibilitam a modificação de procedimentos que representam uma BRDF, a aplicação de BRDFs na geração de *shaders* requer conhecimento especializado em programação [referencia?]. Essa barreira técnica pode restringir a exploração dos efeitos visuais por profissionais de áreas não relacionadas à programação. Diante disso, surge a necessidade de ferramentas mais acessíveis para a criação de *shaders*.

No meio acadêmico, as BRDFs são comumente descritas por fórmulas escritas em \LaTeX , uma abordagem promissora para atender a essa necessidade é o desenvolvimento de um compilador capaz de traduzir BRDFs em \LaTeX para *shaders*, assim democratizando a visualização dessas BRDFs. Dado que as fórmulas são equações matemáticas, precisamos retrair a representação da linguagem de entrada para o compilador afim de garantir um projeto útil em tempo hábil.

1.3 Objetivo

Este trabalho visa projetar e implementar um compilador que, a partir de BRDFs escritas como equações em \LaTeX , seja capaz de gerar código de *shading* na linguagem alvo da API OpenGL, considerando a precedência de operadores. O resultado será um *shader* capaz de reproduzir as características de reflexão da BRDF original ou, ao menos, alcançar uma aproximação satisfatória dessas características, levando em conta as limitações da linguagem de *shading* da API, principalmente as representações de dados de forma discreta.

1.4 Estrutura do Documento

No [Capítulo 2](#), descrevemos todos os conhecimentos necessários para entender BRDFs, incluindo quantificação de luminosidade, radiação e conceitos de compiladores, como tokenização e construção da árvore sintática.

Especificamente na [seção 2.1](#), tratamos dos conceitos fundamentais relacionados à luz, como a capacidade de um material refletir raios de luz e sua importância na computação gráfica e renderização. Destacamos a relação entre a intensidade de um pixel de imagem, a iluminação, a orientação da superfície e a definição de funções de refletância, as BRDFs. Já na [seção 2.2](#), destacamos alguns modelos comuns de BRDFs.

A [seção 2.3](#) fornece uma visão abrangente dos elementos essenciais na criação de compiladores. Ela começa com a definição de conceitos fundamentais, como cadeias de símbolos e alfabetos, necessários para entender linguagens formais. Além disso, a seção discute a importância das gramáticas na definição de linguagens e descreve o processo de compilação, incluindo a análise léxica, a análise sintática e o Pratt *Parsing*.

Na [seção 2.4](#), é abordado o processo de *shading* e o funcionamento do *pipeline* de renderização da GPU. Nele, é descrito a transformação de vértices e a determinação da cor dos fragmentos, mostrando exemplos de código.

O [Capítulo 3](#) tem como parte principal um mapeamento sistemático, utilizando termos de busca para identificar trabalhos relevantes sobre o desenvolvimento de compiladores para traduzir BRDFs de \LaTeX para *shaders*. Os critérios de inclusão e exclusão são definidos para filtrar os resultados. Além disso, são descritos os resultados encontrados em diversas bases de

dados, como IEEE Xplore, BDTD, CAPES, ACM Digital Library e Google Scholar, bem como a análise de repositórios online como GitHub e SourceForge.

No [Capítulo 4](#) é descrito o método para desenvolver o compilador proposto, são definidas etapas para alcançar os objetivos especificados neste trabalho e casos de teste são projetados para validação. O plano de continuação, na [seção 4.6](#), detalha as etapas futuras com datas previstas.

O [Capítulo 5](#) descreve a implementação de um analisador léxico, sintático e interpretador na linguagem de programação Odin, incluindo o *parsing* de Pratt. É priorizado simplicidade e clareza, com uma gramática simples. O capítulo também detalha testes desenvolvidos para validar a implementação. A [seção 5.2](#) apresenta o desenvolvimento de um *ray tracer* em Odin com a biblioteca RayLib, modelando raios e materiais para renderização de imagens.

2

Conceitos

2.1 Radiometria

A radiometria trata de conceitos fundamentais relacionados à luz. Ela abrange a capacidade de um material de superfície receber raios de luz de uma direção e refleti-los em outra (IBGE, 1993). No contexto da computação gráfica e renderização, a radiometria desempenha um papel crucial na compreensão do comportamento da luz em uma cena.

A intensidade de um pixel de imagem depende de vários fatores, como iluminação, orientação da superfície e refletância da superfície. A orientação da superfície é determinada pelo vetor normal em um ponto dado, enquanto a refletância da superfície diz respeito às propriedades materiais da mesma.

Para compreender e interpretar a intensidade de um pixel em uma imagem, é essencial compreender os conceitos radiométricos. A radiometria quantifica o brilho de uma fonte de luz, a iluminação de uma superfície, a radiância de uma cena e a refletância da superfície.

Renderização Além da Cor

Renderizar uma imagem envolve mais do que apenas capturar cor. Isso requer conhecimento da intensidade da luz em cada ponto da imagem, isto é, a quantidade de luz incidente na cena que alcança a câmera. A radiometria ajuda na criação de sistemas e unidades para quantificar a radiação eletromagnética, considerando a luz como fótons viajando em linha reta em um modelo óptico geométrico. Esse modelo simplifica considerações de difração e interferência, focando nos caminhos em linha reta dos fótons.

2.1.1 Energia Radiante e Fluxo

Vários processos físicos convertem energia em fótons, como radiação de corpo negro e fusão nuclear em estrelas. Quantificar a energia radiante total envolve entender a energia dos

fótons colidindo com um objeto, equivalente ao brilho da imagem. A energia radiante Q considera a energia total de todos os fótons atingindo a cena durante toda a duração.

$$Q = \frac{hc}{\lambda}$$

$$h \approx 6,626 \times 10^{-34} J \cdot s (\text{Joules por segundo})$$

$$c \approx 3,00 \times 10^8 m \cdot s (\text{metros por segundo})$$

$$\lambda \approx 390 - 700 \times 10^{-3} m (\text{metros})$$

É interessante observar a evolução da energia radiante Q ao longo do tempo, isso da origem ao fluxo radiante ϕ , medida em impactos de cada fóton por segundo em uma superfície.

$$\phi = \frac{dQ}{dt} [J/s]$$

A irradiância E quantifica o número de impactos dos photons em uma superfície por segundo por unidade de área. Assim, temos uma métrica mais específica e essencial para renderizar imagens com precisão.

$$E(p) = \frac{d\phi(p)}{dA} [J/s \cdot m^2]$$

2.1.2 Radiância e BRDF

A radiância, denotada como L , caracteriza a distribuição da luz em um ambiente ao longo de um raio definido por um ponto de origem e uma direção. A radiância desempenha um papel fundamental no cálculo do fluxo por unidade de área em uma superfície considerando toda a luz incidente de todas as direções possíveis em um dado ponto p .

$$L(p, w) = \frac{dE_w(p)}{dw} \left[\frac{J}{s \cdot m^2 \cdot sr} \right]$$

E_w é função de a irradiância numa direção w

Para acomodar diferentes orientações da superfície e direção do raio, aplicamos o fator $\cos(\theta)$, tal que θ é o ângulo entre a normal da superfície e a direção do w para obter a fórmula:

$$L(p, w) = \frac{dE(p)}{dw \cos(\theta)} = \frac{d^2\phi(p)}{dA dw \cos(\theta)}$$

A radiância pode fornecer informação sobre o quanto um ponto específico está iluminado na direção da câmera. Ela depende não apenas da direção do raio que incide câmera, mas também

das propriedades de refletância da superfície. E, no contexto de renderização, a radiância de uma superfície na cena se correlaciona com a irradiância de um pixel em uma imagem da seguinte forma:

$$E(p) = \int_{H^2} L(p, w) \cos(\theta) dw$$

H^2 é o hemisfério no plano tangente à superfície no ponto p

A principal funcionalidade de um renderizador fotorealista é estimar a radiancia em um ponto p numa dada direção w_o . Essa radiancia é dada pela equação de renderização apresentada por @ref Kajiya. Note que essa equação envolve um termo de radiancia recursiva, o caso base ocorre quando não há mais o termo recursivo, isto é, um fonte de luz na qual sua radiancia é contribuida apenas por radiancia emitida L_e .

$$L_o(p, w_o) = L_e(p, w_o) + \int_{H^2} F(p, w_i, w_o) L_i(p, w_i) \cos(\theta) dw_i$$

L_o é radiancia de saída (*outgoing*) ou observada

L_e é radiancia emitida (i.e. fonte de luz)

L_i é radiancia incidente

w_i é a direção incidente

w_o é a direção de saída

H^2 são todas no hemisfério

θ angulo entre direção incidente e a normal da superfície

F função de refletancia

A Função de Distribuição Bidirecional de Reflectância (BRDF) descreve como a luz reflete de uma superfície em diferentes direções afetando a radiancia de saída. Reflexão é o processo no qual a luz interage com a superfície sem alterar a sua frequência. Assim, BRDFs encapsulam as propriedades de reflexão de um material levando em conta vários fatores, como rugosidade da superfície, ângulo de incidência, ângulo de reflexão. Formalmente uma BRDF pode ser definida por $F(w_i, w_o)$, onde w_i é a direção incidente de luz e w_o é a direção de saída.

Para BRDFs fisicamente realistas algumas propriedades devem ser respeitadas.

- A propriedade de positividade, $F(\omega_i, \omega_o) \geq 0$, que garante não existência de energia negativa.
- Também, deve-se obedecer a reciprocidade de Helmholtz, $F(\omega_i, \omega_o) = F(\omega_o, \omega_i)$. Essa reciprocidade é usado na renderização, pois no lugar de traçar os raios da fonte de luz até a

camera, podemos traçar os raios da camera até a fonte de luz otimizando a maior parte dos raios traçados diretamente da fonte de luz que não iriam atingir a lente da camera, evitando desperdício de poder computacional em raios que não contribuem para intensidade de um dado pixel.

- A BRDF deve, também, respeitar a conservação de energia, $\forall \omega_i, \int_{H^2} F(\omega_i, \omega_o) \cos(\theta_o) d\omega_o \leq 1$. Nesse caso parte da energia pode ser absorvida, ou seja, transformado em outra forma de energia como calor, nesse caso esse somatório infinitesimal pode no máximo chegar a 1, mas nunca ultrapassar.

2.2 BRDF Models

2.2.1 Superfície Pura Especular

Uma superfície puramente especular reflete a luz apenas em uma direção, seguindo a lei da reflexão. Ela produz reflexões nítidas, semelhantes a espelhos. A BRDF para uma superfície puramente especular é frequentemente representada pela função delta de Dirac $\delta(\omega_i - \omega_o)$, onde ω_i é a direção da luz incidente e ω_o é a direção refletida. $f(\omega_i, \omega_o) = k_s \cdot \delta(\omega_i - \omega_o)$ A função delta de Dirac garante que toda a luz incidente seja refletida na direção perfeitamente espelhada, resultando em uma reflexão altamente focada e intensa. Esse tipo de superfície é comum em materiais como metal polido ou vidro.

2.2.2 BRDF Difusa Ideal

Uma BRDFs difusa ideal reflete a luz incidente uniformemente em todas as direções, sem preferência por ângulos específicos. é representada por um termo cosseno lambertiano $\frac{\rho_d}{\pi} \cdot \cos \theta$, onde ρ_d é o albedo da superfície e θ é o ângulo entre a direção da luz incidente e a normal da superfície. $f(\omega_i, \omega_o) = \frac{\rho_d}{\pi} \cdot \cos \theta$ O termo cosseno garante que a radiância refletida seja proporcional ao cosseno do ângulo entre a direção da luz incidente e a normal da superfície. Esse modelo pode representar superfícies como tinta fosca ou papel.

2.2.2.1 BRDF Brilhante (*Glossy*)

Uma superfície brilhante exibe propriedades de reflexão tanto especulares quanto difusas. BRDF para uma superfície brilhante é frequentemente representada por uma combinação de termos especulares e difusos, como o modelo de Blinn-Phong @ref

2.2.2.2 BRDF Retro-Refletora

Uma superfície retro-refletora reflete a luz incidente de volta na direção de onde veio, independentemente do ângulo de incidência. A BRDF para uma superfície retro-refletora envolve

tipicamente geometria especializada ou revestimentos projetados para redirecionar a luz de volta para a fonte.

2.3 Compiladores

2.3.1 Cadeia de Símbolos e Alfabeto

Um **cadeia de símbolos** é uma sequência finita de símbolos retirados de um alfabeto Σ . Formalmente, um cadeia w é representado como $[w_1, w_2, \dots, w_n]$, onde cada w_i pertence ao alfabeto Σ . O **alfabeto** Σ é um conjunto finito de símbolos distintos usados para construir cadeias em uma linguagem. Ele define os blocos de construção a partir dos quais cadeias válidas na linguagem são formadas.

2.3.2 Definições de Linguagens

Na ciência da computação, as linguagens são sistemas formais compostos por símbolos e regras que são muito úteis para definir um significado algorítmico. Uma **linguagem** L é definida como um conjunto de cadeias sobre um alfabeto finito Σ , $L \subseteq \Sigma^*$, onde Σ^* denota o conjunto de todas as cadeias possíveis sobre Σ . A estrutura e semântica de uma linguagem inclui seu alfabeto Σ , sintaxe e regras de gramática.

2.3.3 Compilador como um Transformação

Um compilador pode ser visto como uma transformação entre linguagens L_1 e L_2 que preserva a estrutura interna dos conjuntos, isto é, deve manter o mesmo significado algorítmico. Assim, o compilador $C : L_1 \rightarrow L_2$ mapeia programas escritos na linguagem de origem L_1 para programas equivalentes na linguagem de destino L_2 . Essa transformação garante a preservação semântica, mantendo o comportamento pretendido do programa original durante a tradução.

2.3.4 Gramática

Para auxiliar na criação de um compilador é necessário entender as regras que auxiliam na validação e geração da linguagem de interesse, esse entedimento pode ser alcançado pela gramática. Uma gramática G é um sistema formal composto por um conjunto de regras de produção que especificam como cadeias válidas na linguagem podem ser geradas. Ela inclui terminais, não-terminais, regras de produção e um símbolo inicial.

- **Terminais:** Terminais são os símbolos básicos a partir dos quais as cadeias são formadas. Eles representam as unidades elementares da sintaxe da linguagem.
- **Não-terminais:** Não-terminais são espaços reservados que podem ser substituídos por terminais ou outros não-terminais de acordo com as regras de produção.

- **Regras de Produção:** As regras de produção definem a transformação ou substituição de não-terminais em sequências de terminais e/ou não-terminais.
- **Símbolo Inicial:** O símbolo inicial é um não-terminal especial a partir do qual a derivação de cadeias válidas na linguagem começa.

2.3.4.1 Gramáticas Livres de Contexto (GLCs)

Um tipo comum de gramática usado na definição de linguagens é a gramática livre de contexto (GLC). Em uma GLC $G = (V, \Sigma, R, S)$:

- V é um conjunto finito de símbolos não-terminais.
- Σ é um conjunto finito de símbolos terminais disjunto de V .
- R é um conjunto finito de regras de produção, cada regra no formato $A \rightarrow \beta$, onde A é um não-terminal e β é uma cadeia de terminais e não-terminais.
- S é o símbolo inicial, que pertence a V .

O processo de gerar uma cadeia na linguagem definida por uma gramática é chamado de derivação. Isso envolve aplicar regras de produção sucessivamente, começando pelo símbolo inicial S até restarem apenas símbolos terminais.

Uma árvore sintática é uma representação gráfica do processo de derivação, onde cada nó representa um símbolo na cadeia e cada aresta representa a aplicação de uma regra de produção, nos processos seguintes como análise sintática, em código, essa árvore é gerada e usada como representação intermediária que auxilia na geração na linguagem alvo L_2 .

2.3.5 Análise Léxica

A análise léxica, também conhecida como *lexing* ou *tokenization*, é a primeira etapa do processo de compilação, na qual a entrada textual é dividida em unidades léxicas significativas chamadas de *tokens*. Esses tokens representam os componentes básicos da linguagem, como palavras-chave, identificadores, operadores e literais. O analisador léxico percorre o código fonte caractere por caractere, agrupando-os em tokens conforme regras pré-definidas pela gramática da linguagem. No caso a linguagem do entrada analisador léxico são os formados por caracteres e, geralmente, são reconhecível por maquinas de estado @ref, já a linguagem de saída é composta por tokens.

2.3.6 Análise Sintática ou *Parsing*

A análise sintática é a segunda fase do processo de compilação, na qual os tokens gerados pela análise léxica são organizados e verificados quanto à conformidade com a gramática da

linguagem. Essa etapa envolve a construção de uma árvore sintática ou estrutura de dados equivalente que representa a estrutura hierárquica das expressões e instruções do programa. O analisador sintático utiliza regras de produção gramatical para validar a sintaxe do código fonte e identificar possíveis erros.

2.3.7 Pratt Parsing

O Pratt Parsing, introduzida por Vaughan Pratt, é uma técnica de análise sintática recursiva que permite analisar expressões com precedência de operadores de forma eficiente e sem ambiguidades. Uma das características distintivas do Pratt Parsing é a maneira como lida com a precedência dos operadores, que é determinada pela ordem de avaliação das expressões. Ao contrário da análise descendente recursiva tradicional, onde cada não-terminal possui uma função de análise, a análise Pratt associa funções de manipulação (handlers) com tokens. Essas funções de manipulação são responsáveis por analisar expressões envolvendo seus respectivos tokens.

2.3.7.1 Precedência de Expressões

Na implementação do Pratt Parser, a precedência das expressões é definida por meio de uma tabela de precedência, na qual cada operador é associado a um nível de precedência. Isso permite que o parser decida dinamicamente a ordem de avaliação das expressões com base nos operadores encontrados durante a análise.

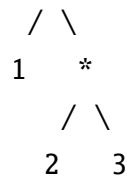
Essa abordagem simplifica significativamente a implementação do parser e elimina a necessidade de criar uma gramática que encapsula a precedência em sua definição, também evita recursão profunda para lidar com diferentes níveis de precedência, tornando o Pratt Parsing uma técnica eficiente para análise sintática.

2.3.7.2 Árvores Inclinadas

No Pratt *Parsing*, a estrutura da árvore de expressão pode ser influenciada pela ordem de avaliação dos operadores. Essa distinção leva a dois tipos de árvores de expressão: árvores inclinadas à direita e árvores inclinadas à esquerda.

Árvore inclinada à Direita: Em uma árvore inclinada à direita, operadores com maior precedência são resolvidos primeiro, mesmo que apareçam mais tarde (para a direita) na expressão. Isso resulta em uma árvore onde os operadores com maior precedência estão mais próximos da raiz, indicando que eles são avaliados primeiro. Considere a expressão $1 + 2 * 3$. Apesar de $*$ aparecer após $+$, ele tem uma precedência mais alta e, portanto, forma uma subárvore que é resolvida antes da adição. A árvore resultante é:

+



Árvore inclinada à Esquerda: Por outro lado, em uma árvore inclinada à esquerda, operadores com maior precedência são resolvidos por último, seguindo uma ordem de avaliação da esquerda para a direita. Isso significa que operadores com maior precedência formam subárvores que são resolvidas mais profundamente na árvore. As árvores inclinadas à esquerda estão tipicamente associadas a chamadas recursivas na análise.

Para alcançar a estrutura desejada da árvore, o Pratt parsing utiliza as estratégias de recursão e iteração com base na precedência dos operadores para saber o momento de gerar uma subarvore inclinada para esquerda ou direita. Operadores com precedência maior que a do operador atual formam a estrutura inclinada à direita, enquanto operadores com precedência menor formam a estrutura inclinada à esquerda.

2.3.7.3 Pseudo-código para Análise de Expressões

O pseudo-código 3, demonstra o Pratt *parsing* para a construção de árvores de expressão, considerando tanto estruturas inclinadas à direita quanto à esquerda. Esse algoritmo também é robusto mesmo quando um operador é tanto infixos quanto prefixos, por exemplo "-" pode ser um *token* de subtração ou de negação. Assim cada token tem uma função de prefixo e infixos associada.

Nesse algoritmo, **proximo_token()** recupera o próximo elemento da lista de tokens, **token.precedencia()** retorna a precedência do token atual, **token.prefixo()** é a função associada ao token que realiza o parsing de uma expressão quando o token é o primeiro em uma subexpressão (e.g. o token "-" é o primeiro na expressão "-3"). Já o **token.infixo(esquerda)** é a função associada ao token uma função que cria um nó subárvore utilizando outra subarvore já criada como entrada para gerar expressão com operadores infixos, por exemplo a subarvore esquerda pode ser a expressão "-3", o token atual ser "*" e o retorno gera a expressão completa "-3 * 1"

Tanto **token.infixo** quanto **token.prefixo** podem ser indiretamente recursivas, isto é, ambas podem chamar a função **expressao** no algoritmo 3. Por fim, **precedencia_anterior** representa a precedência do token anterior, garantindo que os operadores sejam resolvidos na ordem correta.

Algoritmo 1 – Função Pratt Parsing de Expressão

```

1 function expressao(precedencia_anterior:=0):
2     token := proximo_token()
3     esquerda := token.prefixo()
4     while precedencia_anterior < token.precedencia():
5         token = proximo_token()
6         esquerda = token.infixo(esquerda)
7     return esquerda

```

2.3.8 Geração da Linguagem Alvo

Nesta fase, fazemos a transição da representação intermediária da linguagem origem L_1 para a linguagem de destino L_2 . O processo envolve traduzir construções da linguagem de origem L_1 em suas representações equivalentes na linguagem de destino L_2 . Podemos realizar essa tradução ao percorrer recursivamente os nós da árvore sintática usando as informações contidas nesses nós para gerar partes do programa final em L_2 .

Dado um programa $a \in L_1$ existem varios programas $b_{i=1,2,3,\dots} \in L_2$ que possui estrutura semanticamente equivalentes à a . Ao explorar esse conjunto, é possível escolher um $b_j \in L_2$ tal que esse programa seja otimizado em algum sentido, como uso eficiente de memoria, ou executar menos instruções de *hardware*. Nosso foco neste trabalho está na tradução semanticamente correta, sem envolver exploração das saídas equivalentes.

Como exemplo, considere a tradução de um cálculo matemático de L_1 para L_2 :

$$\mathbf{v} = (\mathbf{a} + \mathbf{b}) \cdot \mathbf{c} - (\mathbf{d} \times \mathbf{e})$$

Após a tradução da expressão matemática para L_2 , o cálculo pode ser convertido para o trecho de programa abaixo. Esse código é válido na linguagem GLSL.

```
vec3 v = dot(a + b, c) - cross(d, e);
```

2.4 Introdução ao Shading e ao Pipeline de GPU

Shading refere-se ao processo de determinar a cor e o brilho dos pixels em uma imagem renderizada. Isso envolve simular a interação da luz com as superfícies, levando em consideração as propriedades dos materiais, condições de iluminação e orientação da superfície. Isso é alcançado por meio de pequenos programas chamados shaders, que são compilados e executados na unidade de processamento gráfico (GPU).

A interação com as GPUs é facilitada por meio de uma (API), em português, Interface de Programação de Aplicação, sendo o OpenGL uma API padrão para o uso de funções na GPU.

O OpenGL foi criado como um padrão de programação aberto e multiplataforma para GPUs. O pipeline de renderização do OpenGL é composto por várias etapas, incluindo definição de dados de vértices, shaders de vértice e fragmento, shaders de tesselação e geometria opcionais, configuração de primitivas, recorte, rasterização e shader de fragmento.

Essas etapas coordenam o fluxo de dados da CPU para a GPU e suas transformações, culminando na geração da imagem final. As etapas mais importantes para o nosso trabalho são o shading de fragmento e de vértice, os quais executam a manipulação dos vértices e determinar cores de pixels, respectivamente.

@image put in the overview image

2.4.1 Vertex Shader

O vertex shader opera em vértices individuais de primitivas geométricas antes de serem rasterizados em fragmentos. Sua principal tarefa é transformar vértices do espaço de coordenadas local do objeto para o espaço de coordenadas global da cena e passar os dados necessários para o fragment shader. Esses shaders geralmente realizam várias transformações nos dados dos vértices, permitindo que objetos sejam posicionados, orientados e projetados em uma tela 2D. Nesta seção, discutimos algumas das transformações comuns realizadas por shaders de vértice.

Ao fim dessa etapa, os vértices são normalizados para garantir coordenadas homogêneas. Coordenadas homogêneas são necessárias para realizar a projeção perspectiva e outros cálculos no pipeline de renderização.

```
// Exemplo de Shader de Vértice
#version 330 core

layout(location = 0) in vec3 inPosition;
layout(location = 1) in vec3 inNormal;

uniform mat4 modelViewProjection;

out vec3 fragNormal;

void main() {
    vec3 manipulatedPosition = inPosition + (sin(gl_VertexID * 0.1) * 0.1);
    fragNormal = inNormal;
    gl_Position = modelViewProjection * vec4(manipulatedPosition, 1.0);
}
```

2.4.2 Fragment Shader

O Fragment Shader opera em fragmentos rasterizados produzidos pela etapa de rasterização. Sua principal responsabilidade é determinar a cor final de cada fragmento com base na iluminação, texturização e propriedades da superfície. O modelo mental é interpretar esse programa sendo repetido para todos os pixels da imagem paralelamente, e ainda, esse programa recebe dados interpolados, como vértices e normais, ou seja, cada instância desse programa possui entradas diferentes uma das outras. Esses valores interpolados são calculados usando interpolação bariétrica em toda a superfície da primitiva.

Neste shader é onde as BRDFs devem ser implementadas para atingir um nível de shading mais preciso, pois temos mais dados do que os passados, devido à interpolação. Isso resulta em um nível de granularidade maior, considerando uma transição mais suave de um ponto para outro dentro de um triângulo.

@image put an image about vertex shading and fragment shading

```
// Exemplo de Shader de Fragmento
#version 330 core

in vec3 fragNormal;
out vec4 fragColor;

void main() {
    fragColor = vec4(1.0, 0.0, 0.0, 1.0);
}
```

3

Revisão Bibliográfica

Para esta seção, será conduzida uma revisão literária abrangente com o objetivo de explorar trabalhos relacionados ao desenvolvimento de compiladores para tradução de BRDFs expressas em \LaTeX para a linguagem de shading, empregando, técnicas de parsing. O processo de busca será conduzido em duas etapas distintas. Primeiramente, será realizado um levantamento dos trabalhos existentes nas bases de dados com relevantes periodicos, anais de eventos, artigos e trabalhos.

Por fim, será realizada uma busca por produtos ou ferramentas similares no mercado, utilizando strings de busca específicas em repositórios digitais, especificamente GitHub, e SourceForge. Esses processos de busca permitirão identificar referências relevantes e estabelecer um panorama do estado da arte no campo dos compiladores de BRDFs para shaders, contribuindo para a compreensão do contexto acadêmico e prático no qual este trabalho se insere.

3.1 Mapeamento Sistemático

Com o intuito de obter resultados relevantes para a pesquisa, foram elaboradas frases de busca com base nos termos-chave relacionados ao tema deste trabalho. Assim como, foram criadas questões de pesquisa para guiar a seleção dos trabalhos.

3.1.1 Seleção das Bases

As bases escolhidas foram: ACM Digital Library, IEEE Xplorer Digital Library, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Portal de Periódicos da CAPES, Google Acadêmico, esse foram escolhidos por serem acessíveis gratuitamente pela afiliação à Universidade Federal de Sergipe, já o google scholar foi escolhido para agregar pesquisas em outras bases que possam ter trabalhos relevantes.

[<https://bdtd.ibict.br/>](https://bdtd.ibict.br/) [<https://ieeexplore.ieee.org/>](https://ieeexplore.ieee.org/) [<https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/>](https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/)

3.1.2 Questões de Pesquisa

Foram elaboradas questões de pesquisa específicas, que guiam as frases-chave que refletem os principais aspectos do tema em questão. A partir desse processo, foram identificados e selecionados os trabalhos que melhor atendiam às questões propostas, garantindo maior relevância para o estudo em questão.

1. Quais são as abordagens mais comuns utilizadas na criação de compiladores para tradução de BRDFs expressas em alguma linguagem de texto, com \LaTeX , para shaders?
2. Quais as técnicas de parsing que têm sido aplicadas no desenvolvimento de compiladores para linguagens matemáticas como \LaTeX ?
3. O trabalho utiliza arvores, ou gramáticas livre de contexto para representar uma BRDF?
4. Quais são os principais desafios enfrentados ao traduzir funções matemáticas complexas, como as BRDFs, em shaders?
5. Quais são as ferramentas e recursos disponíveis para auxiliar no desenvolvimento de compiladores para BRDFs e shaders, e como elas podem ser integradas ao processo de desenvolvimento?

3.1.3 Termos de Busca

As frases foram contruídas considerando suas variações equivalentes através de operadores lógicos. Posteriormente, as frases de pesquisa foram adaptadas de acordo com as características individuais de cada base de dados utilizada nas pesquisas. Os termos-chave escolhidos foram: "shader", "BRDF", "compiler", "parser" e "grammar".

Bases	Termos de Pesquisa	Resultados
IEEE Xplore Digital Library	("Full Text & Metadata":brdf) AND (("Full Text & Metadata":shader) OR ("Full Text & Metadata":shading)) AND (("Full Text & Metadata":compiler) OR ("Full Text & Metadata":parsing) OR ("Full Text & Metadata":parser) OR ("Full Text & Metadata":grammar))	36
BDTD	(Todos os campos:compiler OU Todos os campos:parsing OU Todos os campos:parser OU Todos os campos:compilador) E (Todos os campos:shader OU Todos os campos:shading) E (Todos os campos:brdf)	0
CAPES Periodico	Qualquer campo contém brdf E Qualquer campo contém compi* E shad*	0
ACM Digital Library	AllField:((shader OR shading) AND brdf AND (compiler OR compiling) AND (parser OR grammar OR parsing))	46
Google Acadêmico	("BRDF" AND ("COMPILER" OR "COMPILING") AND ("PARSER" OR "PARSING") AND ("SHADER" OR "SHADING"))	69

Tabela 1:

3.1.4 Critérios

Para garantir relevância dos resultados obtivos, seguimos os critérios de inclusão e exclusão estabelecidos, de forma que os resultados serão filtrados. Ao fim desse procedimento, apenas os resultados com maior compatibilidade com este trabalho serem analisado e descritos de maneira mais detalhada.

3.1.4.1 Critérios de Inclusão

1. Foram incluídos artigos relacionados às palavras-chaves;
2. Foram incluídos artigos que de alguma forma incluía a criação de um compilador ou um parser;
3. Foram incluídos artigos que sintetize uma árvore como representação de BRDFs

3.1.4.2 Critérios de Exclusão

1. Foram excluídos artigos dos quais dispunham de links incorretos e ou quebrados;
2. Foram excluídos artigos que dispunham de aplicações muito similares/repetitivas;
3. Foram excluídos artigos que não respondem as questões de pesquisa ??;
4. Artigo que não tem como entrada a BRDFs no formato de equação, ou seja, está utilizando a representação diretamente como código, também foi excluído.

5. Foram excluídos artigos que não consideram a geração de shaders como saída ou estrutura da BRDF em árvore.
6. Foram excluídos artigos que não citam BRDFs e compilador em seu resumo;
7. Se após a leitura completa, o artigo não concerne os interesse deste trabalho, esse foi excluído.

Bases	Filtrados
IEEE Xplore Digital Library	2
BDTD	0
CAPES Periodico	0
ACM Digital Library	1
Google Academico	1

Tabela 2: Resultados da Base após aplicar os critérios

3.1.5 Descrição dos Trabalhos Relacionados

3.1.5.1 genBRDF: Discovering New Analytic BRDFs with Genetic Programming

Neste artigo é introduzido uma framework chamada genBRDF, a qual aplica tecnicas de programação genética para explorar e descobrir novas BRDFs de maneira analitica. O processo inicia utilizando uma BRDF existente, e iterativamente aplica mutações e recombinações de partes das expressões matematicas que compões essas BRDFs a medida que novas gerações surgem. Essas mutações são guiadas por uma função fitness, que seria o inverso de uma função de erro, essa é baseada em um dataset de materiais já medidos. Por meio da avaliação de milhares de expressões, a framework identifica as viáveis, que estão na Fronteira de Pareto.

A representação das BRDFs de entrada para o GA, autores geraram uma gramática que inclui constantes e operadores matemáticos comuns encontrados em equações BRDF. A gramática é compilada, e a árvore de sintaxe abstrata resultante passa por modificações realizadas pelo algoritmo genético. Nós na árvore podem ser trocados, substituídos, removidos e novos nós podem ser adicionados. Esse processo, após refinamento e análise, resulta em novas BRDFs.

Alguns dos novos modelos BRDF apresentados no documento incluem aqueles que superam os modelos existentes em termos de precisão e simplicidade.

Esse artigo se concentra principalmente em utilizar programação genética para descobrir automaticamente novos modelos analíticos de BRDF, em vez de compilar diretamente equações BRDF em linguagens de shading. Embora a representação das expressões das BRDFs possam potencialmente inspirar o nosso trabalho, o principal objetivo do artigo difere do objetivo de compilar equações BRDF para linguagem de shading.

3.1.5.2 Slang: language mechanisms for extensible real-time shading systems

O artigo descreve a linguagem Slang, uma extensão da amplamente utilizada linguagem de shading HLSL, projetada para melhorar o suporte à modularidade e extensibilidade. A abordagem de design da Slang é baseada em dois princípios fundamentais: manter a compatibilidade com o HLSL existente sempre que possível e introduzir recursos com precedentes em linguagens de programação mainstream para facilitar a familiaridade e intuição dos desenvolvedores.

O autor destaca que cada extensão da Slang visa fornecer uma trajetória incremental para a adoção a partir do código HLSL existente, evitando a necessidade de uma migração completa. Algumas dessas extensões são: funções generica, struct genericas, tipos que implementam uma dada interface assim como interfaces funcionam em Java nas para struct. Exemplo de função generica escrita em Slang:

```
float3 integrateSingleRay<B:IBxDF>(B bxdf,  
SurfaceGeometry geom, float3 wi, float3 wo, float3 Li)  
{ return bxdf.eval(wo, wi) * Li * max(0, dot(wi, geom.n)); }
```

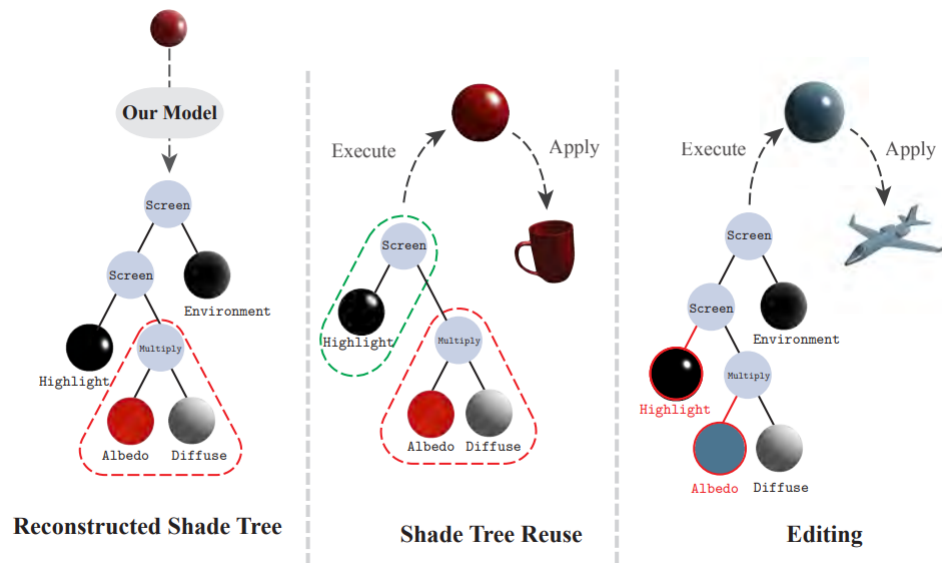
Enquanto o artigo se concentra na extensão de linguagens de shading existentes para melhorar a eficiência e a extensibilidade dos sistemas de shading em tempo real, o nosso trabalho se concentra na compilação de equações BRDF em linguagens de shading para explorar e descobrir novos modelos analíticos, mesmo para pessoas que não tem o conhecimento técnico da linguagem de shading específica. Embora ambos os projetos façam uso de shading e compilação, as abordagens e focos são diferentes.

3.1.5.3 Tree-Structured Shading Decomposition

O artigo propõe uma abordagem para inferir uma representação de BRDF estruturada em árvore a partir de uma única imagem para a sombreamento de objetos. Em vez de usar representações paramétricas ou medidas para modelar o sombreamento, como é comum, é proposta uma abordagem que utiliza uma representação em árvore de shading, combinando nós de sombreamento básicos e métodos de composição para decompor o sombreamento da superfície do objeto.

Essa representação permite que usuários inexperientes editem o sombreamento do objeto de maneira eficiente e intuitiva. Para abordar o desafio de inferir a árvore de sombreamento, é proposta uma abordagem híbrida que combina um modelo de inferência auto-regressivo para gerar uma estimativa aproximada da estrutura da árvore com um algoritmo de otimização para ajustar a árvore inferida. Experimentos são realizados em diversas imagens para demonstrar a eficácia da abordagem proposta.

Figura 1 – Exemplo de decomposição de BRDFs em nós de uma árvore



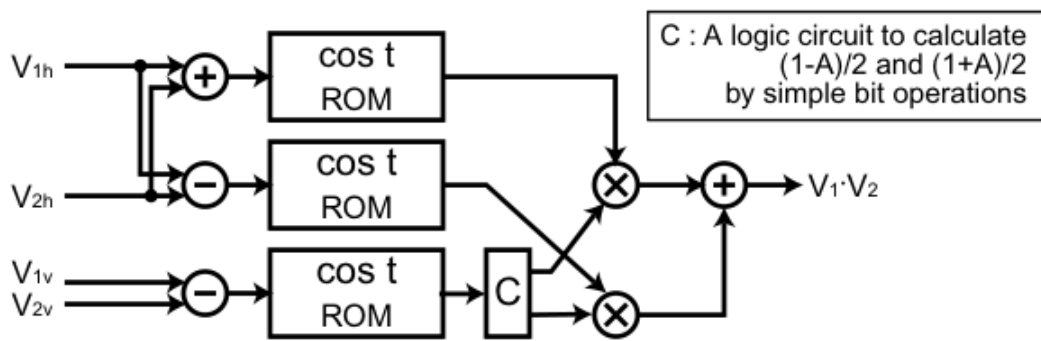
Fonte: Wolfe (1998)

Assim como o nosso trabalho, esse artigo se concentra em facilitar o processo para usuários inexperientes, pois ambos visam fornecer ferramentas acessíveis para manipular representações de sombreamento sem exigir conhecimento avançado em programação de shading. Esse artigo também emprega uma representação em árvore, embora para um propósito diferente. Enquanto o nosso trabalho utiliza árvores para representar expressões matemáticas de BRDFs, esse artigo utiliza a decomposição em nós de árvores para representar o shading parcial de objetos.

3.1.5.4 A Real-Time Configurable Shader Based on Lookup Tables

Este trabalho propõe uma arquitetura de hardware que permite cálculos de shading por pixel em tempo real, utilizando lookup-tables. Para isso, são projetados circuitos configurável baseado em lookup-tables, memórias de acesso aleatório (RAMs) e memórias somente leitura (ROMs). Vários circuitos base foram projetados visando realizar cálculos de shading, considerando as operações mais comuns, por exemplo, circuitos para calcular produto interno entre dois vetores, circuitos de rotação de um vetor por um ângulo. Ademais, é usado interpolação em um sistema de coordenadas polares em vez da interpolação vetorial convencional com normalização, com o objetivo de reduzir o tamanho dos circuitos e melhorar o desempenho.

Figura 2 – Exemplo de circuito de produto interno entre vetores



Fonte: ??, p. 24)

Além disso, o circuito suporta diversas BRDFs, como Blinn-Phong, Cook-Torrance, Ward e modelos baseados em microfacetes, com tabelas de lookup específicas para cada modelo. O uso de tabelas de pesquisa permite a representação organizada da parametrização das BRDFs, tornando o processo de transformação de BRDF para shaders mais acessível. Assim como este trabalho, a abordagem facilita a geração de shaders a partir da descrição de BRDFs, apesar da metodologia ser diferente.

3.2 Pesquisa por Repositórios online

Também foram analisados repositórios no github e SourceForge, cada um com uma string de busca específica. Os repositórios encontrados foram filtrados baseados em seus resumos, caso não haja a menção da criação de um compilador, ou não citar uma transformação de BRDF para outra estrutura, esse repositório será excluído.

Plataformas	Termos de Pesquisa	Resultados
GitHub	in:readme (GLSL AND BRDF AND (compiler OR compilation) AND (shader OR shading))	15
SourceForge	compiler bdrf	0

Tabela 3:

Após ler por completo os resumos dos repositórios do GitHub, é evidente que nenhum desses projetos é relacionado com o proposto neste trabalho, apesar de comentar sobre BRDFs, esses projetos não implementam compiladores, não fazem parsing de equações de BRDFs e nem mesmo geram shaders a partir de BRDFs.

4

Metodologia

A metodologia para desenvolver o compilador proposto envolve uma abordagem sistemática composta por etapas adaptadas para alcançar os objetivos de pesquisa especificados. Essas etapas incluem uma análise aprofundada das informações relacionadas pertinentes a BRDFs e compilação de shaders, exploração de técnicas existentes dentro do domínio, formulação de especificações de linguagem precisas, design e execução metódicos de casos de teste abrangentes, a implementação real do compilador e a avaliação de seu desempenho por meio de experimentos de renderização.

4.1 Análise Abrangente

O primeiro passo envolve a realização de uma análise detalhada das áreas relacionadas ao desenvolvimento da ferramenta proposta. Isso inclui a revisão da literatura sobre BRDFs, linguagens de shaders, design de compiladores e técnicas de renderização gráfica. Isso envolve o estudo de artigos de pesquisa, ferramentas existentes e bibliotecas de software relevantes para identificar técnicas existentes e áreas potenciais para melhoria.

4.2 Especificação da Linguagem

As especificações da linguagem de entrada e saída para o compilador são definidas. A linguagem de entrada é uma versão simplificada do \LaTeX , onde expressões matemáticas nos ambientes `equation` ou `align` são suficientes para os propósitos deste trabalho. O \LaTeX é um sistema de composição amplamente utilizado para documentos matemáticos e científicos. Para descrever BRDFs usando equações \LaTeX , enquanto a linguagem de saída especifica a linguagem de shader GLSL para renderização.

Para a linguagem de entrada, optamos por usar o ambiente `equation` devido à sua

simplicidade e uso generalizado na representação de expressões matemáticas. No \LaTeX , os ambientes fornecem uma maneira de agrupar e formatar texto ou equações. O ambiente `equation` é especificamente projetado para exibir equações individuais. Abaixo está um exemplo de código \LaTeX usando o ambiente `equation`:

```
\begin{equation}
    f(x) = ax^2 + bx + c
\end{equation}
```

Este código \LaTeX representa uma equação quadrática $f(x) = ax^2 + bx + c$, onde a , b e c são coeficientes.

Quanto à linguagem de saída, ela especifica a linguagem de shader GLSL para renderização. Um exemplo de código de shader GLSL correspondente gerado a partir da equação \LaTeX acima pode ser:

```
float quadratic(float x, float a, float b, float c) {
    return a * x * x + b * x + c;
}
```

4.3 Design de Casos de Teste

Os casos de teste devem ser projetados para validar a correção e precisão do processo de tradução do compilador. Esses casos de teste emparelham equações \LaTeX de entrada descrevendo BRDFs com o código de shader GLSL de saída esperado. Um caso específico que demonstra a capacidade do compilador pode ser criado com o BRDF de Cook-Torrance. A definição \LaTeX e a saída esperada podem ser fornecidas como exemplo

LaTeX Input (Cook-Torrance BRDF):

```
\begin{equation}
f_{\text{CT}}(\omega_i, \omega_o) = \frac{D(h)F(\omega_i, h)G(\omega_i, \omega_o, h)}{4}
\end{equation}
```

GLSL Output esperado:

```
float CookTorrance(vec3 normal, vec3 viewDir, vec3 lightDir, float roughness, float r0) {
    // halfway vector
    vec3 halfwayDir = normalize(viewDir + lightDir);

    // microfacet distribution function
```

```

float D = ...; // D(h)

// Calculate Fresnel term
float F = ...; //F(wi, h)

// Calculate geometric attenuation factor
float G = ...; //G(wi, wo, h)

float denominator = 4.0 * max(dot(viewDir, normal), 0.0) * max(dot(lightDir, n

// Final BRDF value
return (D * F * G) / denominator;
}

```

4.4 Implementação do Compilador

A implementação do compilador é feita usando a linguagem de programação Odin, escolhida por suas capacidades de linguagem de baixo nível com herança de composição e uma biblioteca padrão satisfatória. Técnicas de análise recursiva são utilizadas, especificamente o Parsing de Pratt, para processar as equações \LaTeX de entrada e gerar o código de shader GLSL correspondente. Inicialmente, um lexer e um parser foram implementados para uma linguagem mais simples do que o \LaTeX para garantir que os fundamentos do compilador sejam funcionais, com precedência totalmente testada para a árvore de sintaxe e também a execução disso.

4.5 Experimentos de Renderização

Por fim, experimentos de renderização são realizados usando os shaders gerados pelo compilador. Isso permite a avaliação do desempenho e da qualidade visual das imagens renderizadas produzidas pelos shaders compilados. A plataforma escolhida para os testes é a ferramenta Disney BRDF, compilada localmente para modificar e adicionar shaders adicionais. Ele fornece uma interface para definir parâmetros que servem como controles deslizantes para os hiperparâmetros do BRDF.

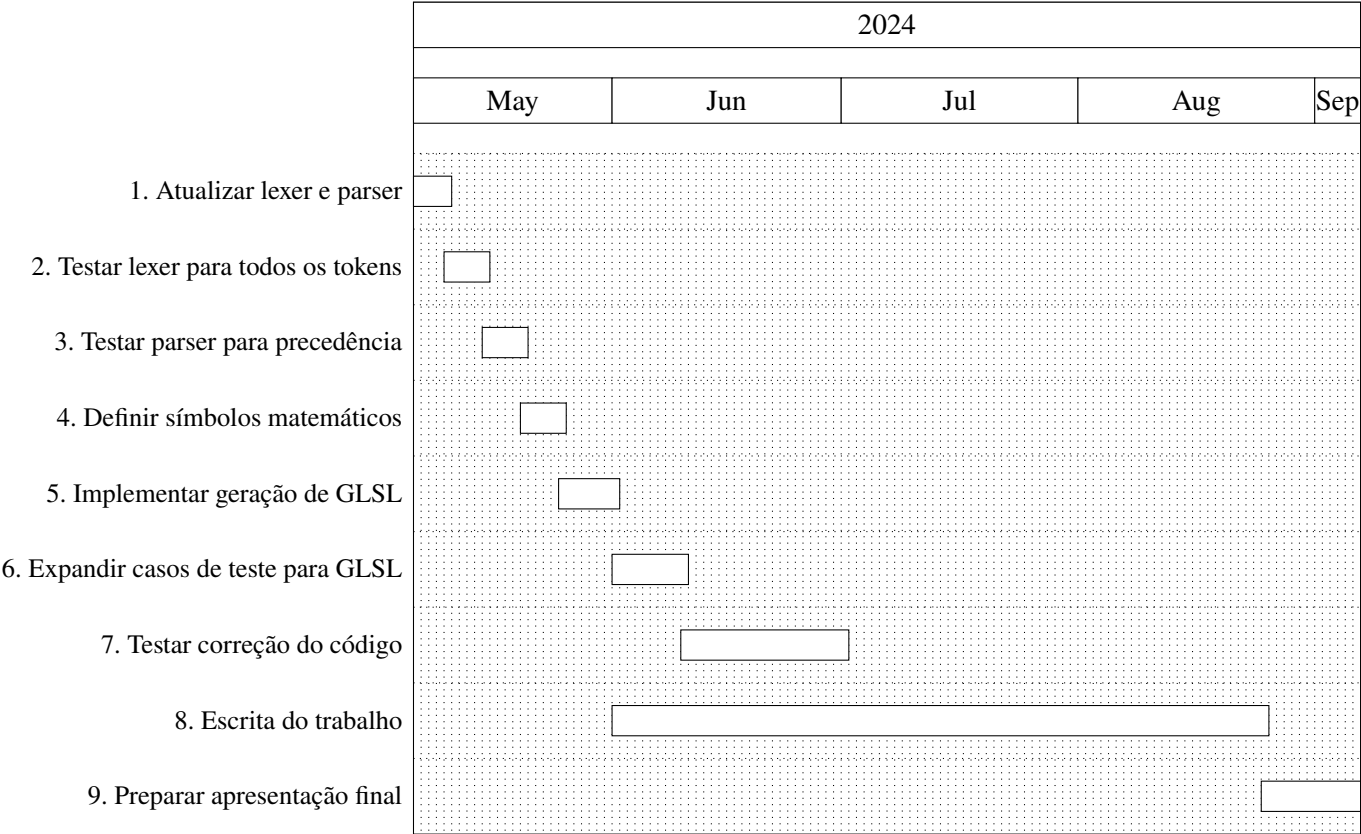
@ Imagem para a ferramenta @ Código para o superconjunto GLSL

Seguindo esta metodologia, a ferramenta proposta visa compilar efetivamente descrições de BRDF em shaders GLSL, facilitando a geração de gráficos realistas em aplicativos de gráficos por computador.

4.6 Plano de Continuação

A continuação desta tese envolve várias tarefas-chave destinadas a completar o desenvolvimento do compilador proposto para converter equações \LaTeX que descrevem BRDFs em código de shader GLSL. As tarefas incluem atualizar o lexer e o parser escritos em Odin para aceitar equações \LaTeX , testar o lexer e o parser para garantir o reconhecimento correto dos tokens \LaTeX Math, testar o parser para garantir a árvore de sintaxe com a precedência correta, definir símbolos predefinidos como constantes matemáticas e outras quantidades, implementar o processo de geração de código GLSL usando a árvore de sintaxe usando o padrão de visitante @ref, expandir os casos de teste para cobrir uma melhor variedade de BRDFs, testar minuciosamente o código gerado quanto à correção e eficácia, incluindo as visualizações dos mencionados BRDFs em algumas cenas, preparar a apresentação final e, finalmente, escrever o documento do trabalho (TCC).

1. 06/05/2024 - 20/05/2024: Atualizar o lexer e o parser para aceitar equações \LaTeX .
2. 06/05/2024 - 27/05/2024: Testar o lexer para garantir o reconhecimento correto de todos os tokens \LaTeX Math.
3. 06/05/2024 - 27/05/2024: Testar o parser para garantir a árvore de sintaxe com a precedência correta.
4. 13/05/2024 - 03/06/2024: Definir símbolos predefinidos como constantes matemáticas e outras quantidades.
5. 20/05/2024 - 10/06/2024: Implementar o processo de geração de código GLSL.
6. 27/05/2024 - 17/06/2024: Expandir os casos de teste para cobrir uma ampla gama de BRDFs.
7. 03/06/2024 - 24/06/2024: Testar minuciosamente o código gerado quanto à correção e eficácia, tanto em código quanto em visualização.
8. 17/06/2024 - 06/09/2024: Escrever o documento da tese.
9. 10/06/2024 - 01/07/2024: Preparar a apresentação final.



5

Resultados Iniciais

5.1 Parser and Lexer in Odin

We built a lexer, parser and interpreter for a simple language along with its grammar using Pratt parsing in Odin programming language, the repository can be found here <https://github.com/evertonse/pratt-parser>. The Pratt parser, is a recursive descent parser that means that each production rule has an associated parsing function. The implementation prioritizes simplicity and clarity, with extensive comments to aid understanding, specially because it is meant to validate the parser for a ramp up, when we'll need to change to \LaTeX tokens and de BRDF semantic meaning.

5.1.1 Parser

The Pratt parser, implemented in the 'parser.odin' file, employs precedence climbing to efficiently handle arbitrary operator precedence levels. Unlike traditional recursive descent parsers, which often require multiple nested function calls for each precedence level, the Pratt parser organizes parsing functions hierarchically based on operator precedence.

Algoritmo 2 – Parte principal do parsing de expressão em código Odin, nessa implementação usamos a notação original de @ref(pratt) null_denotations and left_denotations que o mesmo que funções de parsing para operador prefix e infix respectivamente

```

1
2 parse_expr :: proc(prec_prev: i64) -> ^Expr {
3   /* expressions that takes nothing (null) as left operand */
4   left := parse_null_denotations()
5   /*
6    . if current token is left associative or current token has
7      higher precedence
8    . than previous precedence then stay in the loop, effectively
9      creating a left leaning
10     sub-tree, else, we recurse to create a right leaning sub-tree.
11   */
12   for precedence(peek()) > prec_prev + associativity(peek()) {
13     /* expressions that needs a left operand such as postfix,
14       mixfix, and infix operator */
15     left = parse_left_denotations(left)
16   }
17   return left
18 }

```

Functions such as ‘associativity’ and ‘precedence’ provide the necessary information for parsing operators correctly, ensuring the desired behavior in expressions.

@img(folder struture)

5.1.2 Gramática

A gramática é definida abaixo. Utilizamos uma notação leve de sintaxe para descrevê-la, todas as palavras em minúsculas são regras, o símbolo * significa zero ou mais ocorrências, () indica agrupamento para aplicar um operador a ele, | é o operador ou, palavras entre aspas simples " significam literalmente um token com esse conteúdo como caractere, e todas as letras maiúsculas representam um token que pode ter conteúdo diferente, mas possui o mesmo significado semântico. Por exemplo, NUMBER pode ser 2.0 ou 1.0, mas nas regras de produção eles são tratados da mesma forma. O símbolo = indica uma produção.

start = assign* expr ;

```

expr = prefix expr
      | expr postfix
      | expr infix expr
      | expr '?' expr ':' expr
      | call

```

```

    | NUMBER
    | IDENTIFIER
;

assign = IDENTIFIER '=' expr ';'
        | IDENTIFIER '=' 'fn' (' params ') expr ';'
;

call = expr '(' args ')';
args = expr
      | expr ',' args
      |
;
params = IDENTIFIER
        | IDENTIFIER ',' params
        |
;

postfix = '+' | '-' | '~' | '!';
prefix  = '+' | '-' | '~' | '!';
infix   = '+' | '-' | '*' | '/' | '^'
        | 'eq' | 'lt' | 'gt' | 'or' | 'and'
;

```

Essa gramática define regras para expressões, atribuições, chamadas de função e vários operadores, como postfix, prefix e infix com o intuito de criar uma vasta coleção de operadores com diferentes precedências para facilitar quando for transicionado para sintaxe \LaTeX .

Algoritmo 3 – Exemplo código da linguagem implementada

```

1  epsilon = 0.001; # proximidade em float
2
3  abs = fn(a) a lt 0 or a lt -0 ? -a : a;
4
5  float_close = fn(a, b)
6      abs(a - b) lt epsilon ?
7      1 : 0;
8
9  # Classical fibonacci
10 fib = fn(n)
11     float_close(n, 0) ?
12     0
13     : float_close(n, 1) ?
14     1
15     : fib(n-1) + fib(n-2);
16
17 fib(10) # Ultima expressao significa retorno do main

```

```

1
1  cos = fn(a) a!; # Postfix '!' significa cosseno
2  sin = fn(a) !a; # Prefixo '!' significa seno
3  tan = fn(a) sin(a)/cos(a); # Temos acesso a procedimentos no escopo
    externo
4  val = tan(98);
5  val

```

5.1.3 Tabela de Símbolos

Nesse projeto também foi desenvolvido uma tabela de símbolos simples, que será reaproveitado na análise semântica e na geração de código GLSL futuramente. A

A implementação da tabela de símbolos fornecida aqui é baseada em uma estrutura de escopo hierárquico, onde cada escopo mantém um mapeamento entre os nomes dos símbolos e seus atributos correspondentes. A estrutura `Scope` representa um mapeamento de nomes de símbolos para objetos de símbolo dentro de um **único** escopo, enquanto a `Scope_Table` mantém uma pilha de escopos, permitindo aninhamento.

5.1.3.1 Estrutura de Símbolos

Cada símbolo na tabela de símbolos é representado pela estrutura `Symbol`, que contém os seguintes atributos:

- `name`: O nome do símbolo.

- **val**: O valor associado ao símbolo (para variáveis).
- **is_function**: Um sinalizador booleano indicando se o símbolo é uma função.
- **params**: Uma lista de tokens representando os parâmetros da função (se aplicável).
- **body**: Um ponteiro para a expressão que representa o corpo da função (se aplicável).

```
1
2 Scope :: #type map[string]Symbol
3 Scope\_Table :: [dynamic]Scope
4
5 Symbol :: struct {
6     name : string,
7     val: f64,
8     is\_function: bool,
9     params: []Token,
10    body: ^Expr,
11 }
```

5.1.3.2 Gerenciamento de Escopo

A tabela de símbolos fornece funções para gerenciar escopos, incluindo:

- **scope_enter**: Entra em um novo escopo, anexando-o à pilha de escopos.
- **scope_exit**: Sai do escopo atual, removendo-o da pilha de escopos e retornando-o.
- **scope_reset**: Redefine a tabela de símbolos limpando todos os escopos.
- **scope_get**: Recupera um símbolo da tabela de símbolos pelo seu identificador.
- **scope_add**: Adiciona um novo símbolo ao escopo atual.

Essa tabela de símbolos será atualizada para a fase de geração de código e tradução adequada do código-fonte em shaders GLSL.

5.1.3.3 Estrutura da Árvore de Sintaxe

- **Ast**: A estrutura base para todos os nós da AST.
- **Start**: Representa o ponto de partida do programa, contendo uma sequência de atribuições seguida de uma expressão.
- **Assign**: Representa atribuições de variáveis, incluindo um identificador, operador de atribuição e expressão.

- **Assign_Function**: Estende Assign e representa definições de funções, incluindo parâmetros.
- **Expr**: Representa expressões, servindo como a estrutura base para diferentes tipos de expressões.
- **Expr_Identifier**: Representa identificadores dentro de expressões.
- **Expr_Number**: Representa literais numéricos dentro de expressões.
- **Expr_Grouped**: Representa expressões agrupadas dentro de parênteses.
- **Expr_Prefix**: Representa operações unárias de prefixo.
- **Expr_Infix**: Representa operações binárias de infix.
- **Expr_Postfix**: Representa operações unárias de sufixo.
- **Expr_Mixfix**: Representa operações ternárias de mixfix.
- **Expr_Function_Call**: Representa chamadas de função com argumentos.

5.1.4 Implementação do Padrão de Visitante

O padrão visitante @ref foi empregado para percorrer e operar em uma árvore de sintaxe abstrata (AST). A estrutura da AST é definida com vários tipos de nó para capturar diferentes elementos da sintaxe. Três procedimentos incorporam o padrão de visitante para percorrer e manipular a AST:

- **walker_interp**: Interpreta a AST, calculando o valor numérico das expressões.
- **walker_paren**: Gera uma representação de string entre parênteses da AST, auxiliando na legibilidade e garantindo a ordem correta de avaliação.
- **walker_print**: Imprime os nós da AST e seus atributos, facilitando a depuração e compreensão da estrutura da AST.

5.1.5 Testing

5.1.6 Testes

Para garantir a correção e robustez da implementação do parser de Pratt, foi desenvolvida uma ampla suíte de testes. Esses testes abrangem vários aspectos da funcionalidade do parser, incluindo geração de árvore de sintaxe, precedência de operadores e interpretação semântica.

5.1.6.1 Geração de Árvore de Sintaxe

Um aspecto crucial dos testes envolve verificar a correta geração de árvores de sintaxe a partir de expressões de entrada. Os testes são projetados para cobrir diferentes cenários, incluindo operações aritméticas simples, expressões complexas com subexpressões aninhadas e chamadas de funções.

Por exemplo, a suíte de testes de geração de árvore de sintaxe inclui casos para validar:

- O manuseio correto de operadores unários e binários, garantindo a precedência e associatividade adequadas.
- A representação precisa de chamadas de função e seus argumentos dentro da árvore de sintaxe.
- O agrupamento adequado de expressões dentro de parênteses para impor regras de precedência.

5.1.6.2 Precedência de Operadores e Associatividade

Testes são conduzidos para validar a precedência e associatividade de operadores na gramática da linguagem. Isso inclui garantir que operadores com maior precedência sejam avaliados antes daqueles com menor precedência e que operadores associativos à esquerda ou à direita sejam analisados corretamente.

Exemplos de testes para precedência de operadores e associatividade incluem:

- Verificar a correta parantezização de expressões envolvendo múltiplos operadores com níveis de precedência variados.
- Garantir que operadores unários sejam aplicados antes de operadores binários, de acordo com suas regras de precedência.
- Validar o agrupamento adequado de expressões para impor associatividade à esquerda ou à direita conforme especificado na gramática.

5.1.6.3 Interpretação Semântica

Além da geração de árvore de sintaxe e precedência de operadores, testes são realizados para garantir a interpretação semântica de expressões produza os resultados esperados. Isso envolve avaliar expressões e comparar a saída com os valores antecipados.

Por exemplo, os testes de interpretação semântica abrangem:

- Avaliar expressões aritméticas envolvendo constantes, variáveis e chamadas de função para verificar resultados corretos.

- Verificar o comportamento de expressões condicionais (por exemplo, operador ternário) sob diferentes condições.
- Validar a correção das implementações de funções e seu comportamento dentro do ambiente de execução do parser.

Ao testar meticulosamente a geração de árvore de sintaxe, precedência de operadores e interpretação semântica, a implementação do parser de Pratt pode ser validada quanto à correção e confiabilidade, garantindo um desempenho robusto em vários cenários de entrada. 1. ****Teste de Recursão****: Verifica a geração correta da sequência de Fibonacci até o 9º número. Por exemplo, verifica se o número de Fibonacci no índice 7 é calculado corretamente.

```
fib = fn(n)
  float_close(n, 0) ?
    0
  :float_close(n, 1) ?
    1
  :fib(n-1) + fib(n-2);
```

```
fib(7)
```

2. ****Teste de Atribuição e Interpretação****: Avalia uma expressão envolvendo atribuições de variáveis e chamadas de função no mesmo escopo. Por exemplo, verifica se a função ‘val’ calcula corretamente a subtração de seus argumentos.

```
a = 1;
b = 2;
c = 3;
d = 4;

val = fn(a,b,c,d) d-c-b-a;
val(a,b,c,d, 2, 4 ,4)
```

3. ****Teste de Operador Relacional****: Verifica a precedência e associatividade dos operadores relacionais (‘lt’, ‘gt’, ‘eq’) e lógicos (‘or’, ‘and’). Por exemplo, verifica se a expressão ‘1 or 2 and 3 or 4’ é corretamente parantezada.

```
1 or 2 and 3 or 4
```


4. ****Teste de Precedência de Operadores Unários e Binários****: Examina a precedência dos operadores unários e binários. Por exemplo, verifica se a expressão `!a + b` é corretamente interpretada com o operador unário `!` aplicado antes do binário `+`.

`!a + b`

5. ****Teste de Agrupamento****: Garante que as expressões entre parênteses sejam corretamente agrupadas. Por exemplo, verifica se a expressão `a + (b + c) + d` é parantizada conforme o esperado.

`a + (b + c) + d`

Esses testes, junto com outros na suíte, ajudam a validar a correção da implementação do parser de Pratt, cobrindo várias características da linguagem e regras de precedência de operadores.

5.2 Ray Tracing

Este capítulo apresenta o desenvolvimento e implementação de um simples *ray tracer* usando métodos estocásticos de colisão de raios na linguagem de programação Odin com a biblioteca RayLib (<https://www.raylib.com/>) para renderização de imagens em uma janela. Isso foi feito para começar a entender melhor BRDFs e a equação de renderização.

O *ray tracer* foi construído com instruções do livro <https://raytracing.github.io/books/RayTracingInOneWeekend.html>. Ele opera inteiramente na CPU, e a funcionalidade principal do *ray tracer* envolve a modelagem de raios e sua reflexão dos pixels da imagem para a cena. A cena consiste exclusivamente de esferas, empregando cálculos de colisão padrão entre um raio e uma esfera.

5.2.1 Implementação de Materiais

O *ray tracer* inclui vários materiais que ditam o comportamento dos raios ao interagir com superfícies, embora não garantidos de estar fisicamente vinculados, considerando a conservação de energia discutida no capítulo 2.1.2. Cada material é implementado como uma estrutura contendo um ponteiro de função de dispersão responsável por calcular a atenuação e o raio disperso após a interação com uma superfície. Os seguintes materiais são implementados:

- **Material Difuso**: Representa um material básico com refletância lambertiana.
- **Material Lambertiano**: Uma variante do material difuso com albedo personalizável.

- **Material Metálico:** Modela uma superfície metálica com reflexão especular, permitindo controle sobre a difusão.
- **Material Dielétrico:** Simula materiais transparentes com refração e reflexão com base no índice de refração.

```
Material :: struct {
    scatter: #type proc(self: ^Material, ray: Ray, hit: Hit) -> (attenuation: Color,
}

Shit_Diffuse_Material :: struct {
    using _ : Material,
    albedo: Color,
}

Lambertian_Material :: struct {
    using _ : Material,
    albedo: Color,
}

Metal_Material :: struct {
    using _ : Material,
    albedo: Color,
    fuzz: f32,
}

Dielectric_Material :: struct {
    using _ : Material,
    ir: f32, // índice de refração
};
```

5.2.2 Mecanismo de Reflexão de Raios

O mecanismo central do *ray tracer* envolve traçar raios pela cena, determinar suas interações com superfícies e calcular os valores de cor resultantes. O processo de reflexão de raios consiste nos seguintes passos:

1. **Geração de Raios:** Raios são gerados a partir do ponto de vista da câmera e projetados na cena.

2. **Detecção de Colisão:** Cada raio é testado quanto à interseção com objetos na cena.
3. **Interação de Material:** Após a colisão, os raios interagem com o material da superfície, determinando atenuação e raios dispersos com base nas propriedades do material.
4. **Traçado Recursivo:** Se um raio se dispersa, o processo se repete, traçando o caminho do raio disperso até que uma profundidade máxima de recursão seja atingida ou o raio escape da cena.
5. **Acúmulo de Cor:** Os valores de cor são acumulados ao longo do caminho do raio, essa acumulação simula a irradiância de um certo ponto da superfície.

6

Resultados de comandos

Isto é uma sinopse de capítulo. A ABNT não traz nenhuma normatização a respeito desse tipo de resumo, que é mais comum em romances e livros técnicos.

6.1 Codificação dos arquivos: UTF8

A codificação de todos os arquivos do `abnTEX2` é UTF8. É necessário que você utilize a mesma codificação nos documentos que escrever, inclusive nos arquivos de base bibliográficas `|.bib|`.

6.2 Citações diretas

Utilize o ambiente `citacao` para incluir citações diretas com mais de três linhas:

As citações diretas, no texto, com mais de três linhas, devem ser destacadas com recuo de 4 cm da margem esquerda, com letra menor que a do texto utilizado e sem as aspas. No caso de documentos datilografados, deve-se observar apenas o recuo (ABNT, 2002, 5.3).

Use o ambiente assim:

```
\begin{citacao}
```

As citações diretas, no texto, com mais de três linhas [...] deve-se observar apenas o recuo `\cite[5.3]{NBR10520:2002}`.

```
\end{citacao}
```

O ambiente `citacao` pode receber como parâmetro opcional um nome de idioma previamente carregado nas opções da classe (seção 6.14). Nesse caso, o texto da citação é automaticamente escrito em itálico e a hifenização é ajustada para o idioma selecionado na opção do ambiente. Por exemplo:

```
\begin{citacao}[english]
Text in English language in italic with correct hyphenation.
\end{citacao}
```

Tem como resultado:

Text in English language in italic with correct hyphenation.

Citações simples, com até três linhas, devem ser incluídas com aspas. Observe que em \LaTeX as aspas iniciais são diferentes das finais: “Amor é fogo que arde sem se ver”.

6.3 Notas de rodapé

As notas de rodapé são detalhadas pela NBR 14724:2011 na seção 5.2.1^{1,2,3}.

6.4 Tabelas

A [Tabela 4](#) é um exemplo de tabela construída em \LaTeX .

Nível de Investiga- ção	Insumos	Sistemas de In- vestigação	Produtos
Meta-nível	Filosofia da Ciência	Epistemologia	Paradigma
Nível do objeto	Paradigmas do metanível e evidências do nível inferior	Ciência	Teorias e modelos
Nível inferior	Modelos e métodos do nível do objeto e problemas do nível inferior	Prática	Solução de problemas

Fonte: [van Gigch e Pipino \(1986\)](#)

Tabela 4: Níveis de investigação.

Já a [Tabela 5](#) apresenta uma tabela criada conforme o padrão do [IBGE \(1993\)](#) requerido pelas normas da ABNT para documentos técnicos e acadêmicos.

6.5 Figuras

Figuras podem ser criadas diretamente em \LaTeX , como o exemplo da [Figura 3](#).

¹ As notas devem ser digitadas ou datilografadas dentro das margens, ficando separadas do texto por um espaço simples de entre as linhas e por filete de 5 cm, a partir da margem esquerda. Devem ser alinhadas, a partir da segunda linha da mesma nota, abaixo da primeira letra da primeira palavra, de forma a destacar o expoente, sem espaço entre elas e com fonte menor [ABNT \(2011, 5.2.1\)](#).

² Caso uma série de notas sejam criadas sequencialmente, o \abnTeX2 instrui o \LaTeX para que uma vírgula seja colocada após cada número do expoente que indica a nota de rodapé no corpo do texto.

³ Verifique se os números do expoente possuem uma vírgula para dividi-los no corpo do texto.

Nome	Nascimento	Documento
Maria da Silva	11/11/1111	111.111.111-11
João Souza	11/11/2111	211.111.111-11
Laura Vicuña	05/04/1891	3111.111.111-11

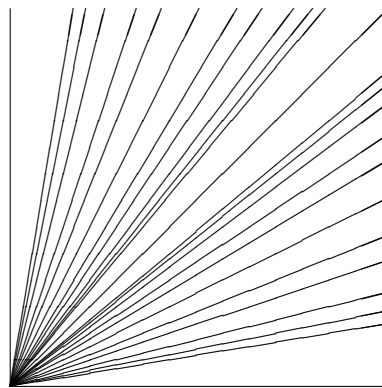
Fonte: Produzido pelos autores.

Nota: Esta é uma nota, que diz que os dados são baseados na regressão linear.

Anotações: Uma anotação adicional, que pode ser seguida de várias outras.

Tabela 5: Um Exemplo de tabela alinhada que pode ser longa ou curta, conforme padrão IBGE.

Figura 3 – A delimitação do espaço



Fonte: os autores

Ou então figuras podem ser incorporadas de arquivos externos, como é o caso da [Figura 4](#). Se a figura que for incluída se tratar de um diagrama, um gráfico ou uma ilustração que você mesmo produza, priorize o uso de imagens vetoriais no formato PDF. Com isso, o tamanho do arquivo final do trabalho será menor, e as imagens terão uma apresentação melhor, principalmente quando impressas, uma vez que imagens vetoriais são perfeitamente escaláveis para qualquer dimensão. Nesse caso, se for utilizar o Microsoft Excel para produzir gráficos, ou o Microsoft Word para produzir ilustrações, exporte-os como PDF e os incorpore ao documento conforme o exemplo abaixo. No entanto, para manter a coerência no uso de software livre (já que você está usando \LaTeX \LaTeX 2), teste a ferramenta [Inkscape](http://inkscape.org/) (<http://inkscape.org/>). Ela é uma excelente opção de código-livre para produzir ilustrações vetoriais, similar ao CorelDraw ou ao Adobe Illustrator. De todo modo, caso não seja possível utilizar arquivos de imagens como PDF, utilize qualquer outro formato, como JPEG, GIF, BMP, etc. Nesse caso, você pode tentar aprimorar as imagens incorporadas com o software livre [Gimp](http://www.gimp.org/) (<http://www.gimp.org/>). Ele é

uma alternativa livre ao Adobe Photoshop.

Figura 4 – Gráfico produzido em Excel e salvo como PDF



Fonte: [Araujo \(2012, p. 24\)](#)

6.5.1 Figuras em *minipages*

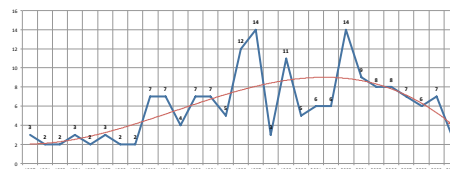
Minipages são usadas para inserir textos ou outros elementos em quadros com tamanhos e posições controladas. Veja o exemplo da [Figura 5](#) e da [Figura 6](#).

Figura 5 – Imagem 1 da minipage



Fonte: Produzido pelos autores

Figura 6 – Grafico 2 da minipage



Fonte: [Araujo \(2012, p. 24\)](#)

Observe que, segundo a [ABNT \(2011, seções 4.2.1.10 e 5.8\)](#), as ilustrações devem sempre ter numeração contínua e única em todo o documento:

Qualquer que seja o tipo de ilustração, sua identificação aparece na parte superior, precedida da palavra designativa (desenho, esquema, fluxograma, fotografia, gráfico, mapa, organograma, planta, quadro, retrato, figura, imagem, entre outros), seguida de seu número de ordem de ocorrência no texto, em algarismos arábicos, travessão e do respectivo título. Após a ilustração, na parte inferior, indicar a fonte consultada (elemento obrigatório, mesmo que seja produção do próprio autor), legenda, notas e outras informações necessárias à sua compreensão (se houver). A ilustração deve ser citada no texto e inserida o mais próximo possível do trecho a que se refere. ([ABNT, 2011, seções 5.8](#))

6.6 Expressões matemáticas

Use o ambiente `equation` para escrever expressões matemáticas numeradas:

$$\forall x \in X, \quad \exists y \leq \epsilon \quad (6.1)$$

Escreva expressões matemáticas entre `$` e `$`, como em $\lim_{x \rightarrow \infty} \exp(-x) = 0$, para que fiquem na mesma linha.

Também é possível usar colchetes para indicar o início de uma expressão matemática que não é numerada.

$$\left| \sum_{i=1}^n a_i b_i \right| \leq \left(\sum_{i=1}^n a_i^2 \right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^n b_i^2 \right)^{1/2}$$

Consulte mais informações sobre expressões matemáticas em <https://github.com/abntex/abntex2/wiki/Referencias>.

6.7 Enumerações: alíneas e subalíneas

Quando for necessário enumerar os diversos assuntos de uma seção que não possua título, esta deve ser subdividida em alíneas (ABNT, 2012, 4.2):

- a) os diversos assuntos que não possuam título próprio, dentro de uma mesma seção, devem ser subdivididos em alíneas;
- b) o texto que antecede as alíneas termina em dois pontos;
- c) as alíneas devem ser indicadas alfabeticamente, em letra minúscula, seguida de parêntese. Utilizam-se letras dobradas, quando esgotadas as letras do alfabeto;
- d) as letras indicativas das alíneas devem apresentar recuo em relação à margem esquerda;
- e) o texto da alínea deve começar por letra minúscula e terminar em ponto-e-vírgula, exceto a última alínea que termina em ponto final;
- f) o texto da alínea deve terminar em dois pontos, se houver subalínea;
- g) a segunda e as seguintes linhas do texto da alínea começa sob a primeira letra do texto da própria alínea;
- h) subalíneas (ABNT, 2012, 4.3) devem ser conforme as alíneas a seguir:
 - as subalíneas devem começar por travessão seguido de espaço;
 - as subalíneas devem apresentar recuo em relação à alínea;
 - o texto da subalínea deve começar por letra minúscula e terminar em ponto-e-vírgula. A última subalínea deve terminar em ponto final, se não houver alínea subsequente;
 - a segunda e as seguintes linhas do texto da subalínea começam sob a primeira letra do texto da própria subalínea.
- i) no abnT_EX2 estão disponíveis os ambientes `incisos` e `subalíneas`, que em suma são o mesmo que se criar outro nível de alíneas, como nos exemplos à seguir:
 - *Um novo inciso em itálico;*

j) Alínea em **negrito**:

- *Uma subalínea em itálico;*
- *Uma subalínea em itálico e sublinhado;*

k) Última alínea com *ênfase*.

6.8 Espaçamento entre parágrafos e linhas

O tamanho do parágrafo, espaço entre a margem e o início da frase do parágrafo, é definido por:

```
\setlength{\parindent}{1.3cm}
```

Por padrão, não há espaçamento no primeiro parágrafo de cada início de divisão do documento (seção 6.12). Porém, você pode definir que o primeiro parágrafo também seja indentado, como é o caso deste documento. Para isso, apenas inclua o pacote `indentfirst` no preâmbulo do documento:

```
\usepackage{indentfirst} % Indenta o primeiro parágrafo de cada seção.
```

O espaçamento entre um parágrafo e outro pode ser controlado por meio do comando:

```
\setlength{\parskip}{0.2cm} % tente também \onelineskip
```

O controle do espaçamento entre linhas é definido por:

```
\OnehalfSpacing % espaçamento um e meio (padrão);
\DoubleSpacing  % espaçamento duplo
\SingleSpacing  % espaçamento simples
```

Para isso, também estão disponíveis os ambientes:

```
\begin{SingleSpace} ... \end{SingleSpace}
\begin{Spacing}{hfactori} ... \end{Spacing}
\begin{OnehalfSpace} ... \end{OnehalfSpace}
\begin{OnehalfSpace*} ... \end{OnehalfSpace*}
\begin{DoubleSpace} ... \end{DoubleSpace}
\begin{DoubleSpace*} ... \end{DoubleSpace*}
```

Para mais informações, consulte [Wilson e Madsen \(2010, p. 47-52 e 135\)](#).

6.9 Inclusão de outros arquivos

É uma boa prática dividir o seu documento em diversos arquivos, e não apenas escrever tudo em um único. Esse recurso foi utilizado neste documento. Para incluir diferentes arquivos em um arquivo principal, de modo que cada arquivo incluído fique em uma página diferente, utilize o comando:

```
\include{documento-a-ser-incluido}      % sem a extensão .tex
```

Para incluir documentos sem quebra de páginas, utilize:

```
\input{documento-a-ser-incluido}      % sem a extensão .tex
```

6.10 Compilar o documento L^AT_EX

Geralmente os editores L^AT_EX, como o TeXlipse⁴, o Texmaker⁵, entre outros, compilam os documentos automaticamente, de modo que você não precisa se preocupar com isso.

No entanto, você pode compilar os documentos L^AT_EX usando os seguintes comandos, que devem ser digitados no *Prompt de Comandos* do Windows ou no *Terminal* do Mac ou do Linux:

```
pdflatex ARQUIVO_PRINCIPAL.tex
bibtex ARQUIVO_PRINCIPAL.aux
makeindex ARQUIVO_PRINCIPAL.idx
makeindex ARQUIVO_PRINCIPAL.nlo -s nomencl.ist -o ARQUIVO_PRINCIPAL.nls
pdflatex ARQUIVO_PRINCIPAL.tex
pdflatex ARQUIVO_PRINCIPAL.tex
```

6.11 Remissões internas

Ao nomear a [Tabela 4](#) e a [Figura 3](#), apresentamos um exemplo de remissão interna, que também pode ser feita quando indicamos o [Capítulo 6](#), que tem o nome [Resultados de comandos](#). O número do capítulo indicado é [6](#), que se inicia à [página 43](#)⁶. Veja a [seção 6.12](#) para outros exemplos de remissões internas entre seções, subseções e subsubseções.

O código usado para produzir o texto desta seção é:

Ao nomear a `\autoref{tab-nivinv}` e a `\autoref{fig_circulo}`, apresentamos um

⁴ [<http://texlipse.sourceforge.net/>](http://texlipse.sourceforge.net/)

⁵ [<http://www.xmlmath.net/texmaker/>](http://www.xmlmath.net/texmaker/)

⁶ O número da página de uma remissão pode ser obtida também assim: [43](#).

exemplo de remissão interna, que também pode ser feita quando indicamos o `\autoref{cap_exemplos}`, que tem o nome `\emph{\nameref{cap_exemplos}}`. O número do capítulo indicado é `\ref{cap_exemplos}`, que se inicia à `\autopageref{cap_exemplos}\footnote{0` número da página de uma remissão pode ser obtida também assim:

`\pageref{cap_exemplos}.}`.

Veja a `\autoref{sec-divisoões}` para outros exemplos de remissões internas entre seções, subseções e subsubseções.

6.12 Divisões do documento: seção

Esta seção testa o uso de divisões de documentos. Esta é a [seção 6.12](#). Veja a [subseção 6.12.1](#).

6.12.1 Divisões do documento: subseção

Isto é uma subseção. Veja a [subseção 6.12.1.1](#), que é uma `subsubsection` do `LATEX`, mas é impressa chamada de “subseção” porque no Português não temos a palavra “subsubseção”.

6.12.1.1 Divisões do documento: subsubseção

Isto é uma subsubseção.

6.12.1.2 Divisões do documento: subsubseção

Isto é outra subsubseção.

6.12.2 Divisões do documento: subseção

Isto é uma subseção.

6.12.2.1 Divisões do documento: subsubseção

Isto é mais uma subsubseção da [subseção 6.12.2](#).

6.12.2.1.1 Esta é uma subseção de quinto nível

Esta é uma seção de quinto nível. Ela é produzida com o seguinte comando:

```
\subsubsubsection{Esta é uma subseção de quinto  
nível}\label{sec-exemplo-subsubsubsection}
```

6.12.2.1.2 Esta é outra subseção de quinto nível

Esta é outra seção de quinto nível.

6.12.2.1.3 Este é um parágrafo numerado

Este é um exemplo de parágrafo nomeado. Ele é produzida com o comando de parágrafo:

```
\paragraph{Este é um parágrafo nomeado}\label{sec-exemplo-paragrafo}
```

A numeração entre parágrafos numerados e subsubsubseções são contínuas.

6.12.2.1.4 Esta é outro parágrafo numerado

Esta é outro parágrafo nomeado.

6.13 Este é um exemplo de nome de seção longo. Ele deve estar alinhado à esquerda e a segunda e demais linhas devem iniciar logo abaixo da primeira palavra da primeira linha

Isso atende à norma [ABNT \(2011\)](#), seções de 5.2.2 a 5.2.4) e [ABNT \(2012\)](#), seções de 3.1 a 3.8).

6.14 Diferentes idiomas e hifenizações

Para usar hifenizações de diferentes idiomas, inclua nas opções do documento o nome dos idiomas que o seu texto contém. Por exemplo (para melhor visualização, as opções foram quebradas em diferentes linhas):

```
\documentclass[  
12pt,  
openright,  
twoside,  
a4paper,  
english,  
french,  
spanish,  
brazil  
{abntex2}
```

O idioma português-brasileiro (`brazil`) é incluído automaticamente pela classe `abntex2`. Porém, mesmo assim a opção `brazil` deve ser informada como a última opção da classe para que todos os pacotes reconheçam o idioma. Vale ressaltar que a última opção de idioma é a utilizada por padrão no documento. Desse modo, caso deseje escrever um texto em inglês que tenha citações em português e em francês, você deveria usar o preâmbulo como abaixo:

```
\documentclass[
12pt,
openright,
twoside,
a4paper,
french,
brazil,
english
]{abntex2}
```

A lista completa de idiomas suportados, bem como outras opções de hifenização, estão disponíveis em [Braams \(2008, p. 5-6\)](#).

Exemplo de hifenização em inglês⁷:

Text in English language. This environment switches all language-related definitions, like the language specific names for figures, tables etc. to the other language. The starred version of this environment typesets the main text according to the rules of the other language, but keeps the language specific string for ancillary things like figures, in the main language of the document. The environment `hyphenrules` switches only the hyphenation patterns used; it can also be used to disallow hyphenation by using the language name ‘`nohyphenation`’.

O idioma geral do texto por ser alterado como no exemplo seguinte:

```
\selectlanguage{english}
```

Isso altera automaticamente a hifenização e todos os nomes constantes de referências do documento para o idioma inglês. Consulte o manual da classe ([ARAÚJO, 2015a](#)) para obter orientações adicionais sobre internacionalização de documentos produzidos com `abnTeX2`.

A [seção 6.2](#) descreve o ambiente `citacao` que pode receber como parâmetro um idioma a ser usado na citação.

⁷ Extraído de: <<http://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX/Internationalization>>

6.15 Consulte o manual da classe abntex2

Consulte o manual da classe abntex2 (ARAÚJO, 2015a) para uma referência completa das macros e ambientes disponíveis.

Além disso, o manual possui informações adicionais sobre as normas ABNT observadas pelo abnT_EX2 e considerações sobre eventuais requisitos específicos não atendidos, como o caso da ABNT (2011, seção 5.2.2), que especifica o espaçamento entre os capítulos e o início do texto, regra propositalmente não atendida pelo presente modelo.

6.16 Referências bibliográficas

A formatação das referências bibliográficas conforme as regras da ABNT são um dos principais objetivos do abnT_EX2. Consulte os manuais Araujo (2015b) e Araujo (2015c) para obter informações sobre como utilizar as referências bibliográficas.

6.16.1 Acentuação de referências bibliográficas

Normalmente não há problemas em usar caracteres acentuados em arquivos bibliográficos (*.bib). Porém, como as regras da ABNT fazem uso quase abusivo da conversão para letras maiúsculas, é preciso observar o modo como se escreve os nomes dos autores. Na Tabela 6 você encontra alguns exemplos das conversões mais importantes. Preste atenção especial para ‘ç’ e ‘í’ que devem estar envoltos em chaves. A regra geral é sempre usar a acentuação neste modo quando houver conversão para letras maiúsculas.

acento	bibtex
à á ã	\‘a \’a \~a
í	{\’\i}
ç	{\c c}

Tabela 6: Tabela de conversão de acentuação.

6.17 Precisa de ajuda?

Consulte a FAQ com perguntas frequentes e comuns no portal do abnT_EX2: <<https://github.com/abntex/abntex2/wiki/FAQ>>.

Inscreva-se no grupo de usuários L^AT_EX: <<http://groups.google.com/group/latex-br>>, tire suas dúvidas e ajude outros usuários.

Participe também do grupo de desenvolvedores do abnT_EX2: <<http://groups.google.com/group/abntex2>> e faça sua contribuição à ferramenta.

6.18 Você pode ajudar?

Sua contribuição é muito importante! Você pode ajudar na divulgação, no desenvolvimento e de várias outras formas. Veja como contribuir com o abnT_EX2 em <https://github.com/abntex/abntex2/wiki/Como-Contribuir>.

6.19 Quer customizar os modelos do abnT_EX2 para sua instituição ou universidade?

Veja como customizar o abnT_EX2 em:
<https://github.com/abntex/abntex2/wiki/ComoCustomizar>.

Referências

- ARAUJO, L. C. *Configuração: uma perspectiva de Arquitetura da Informação da Escola de Brasília*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, Brasília, mar. 2012. Citado na página 46.
- ARAUJO, L. C. *A classe abntex2: Modelo canônico de trabalhos acadêmicos brasileiros compatível com as normas ABNT NBR 14724:2011, ABNT NBR 6024:2012 e outras*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.abntex.net.br/>>. Citado 2 vezes nas páginas 52 e 53.
- ARAUJO, L. C. *O pacote abntex2cite: Estilos bibliográficos compatíveis com a ABNT NBR 6023*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.abntex.net.br/>>. Citado na página 53.
- ARAUJO, L. C. *O pacote abntex2cite: tópicos específicos da ABNT NBR 10520:2002 e o estilo bibliográfico alfabético (sistema autor-data)*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.abntex.net.br/>>. Citado na página 53.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10520: Informação e documentação — apresentação de citações em documentos*. Rio de Janeiro, 2002. 7 p. Citado na página 43.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14724: Informação e documentação — trabalhos acadêmicos — apresentação*. Rio de Janeiro, 2011. 15 p. Substitui a Ref. ??). Citado 4 vezes nas páginas 44, 46, 51 e 53.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6024: Numeração progressiva das seções de um documento*. Rio de Janeiro, 2012. 4 p. Citado 2 vezes nas páginas 47 e 51.
- BRAAMS, J. *Babel, a multilingual package for use with LATEX's standard document classes*. [S.l.], 2008. Disponível em: <<http://mirrors.ctan.org/info/babel/babel.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2013. Citado na página 52.
- IBGE. *Normas de apresentação tabular*. 3. ed. Rio de Janeiro: Centro de Documentação e Disseminação de Informações. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1993. Acesso em: 21 ago 2013. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 44.
- van GIGCH, J. P.; PIPINO, L. L. In search for a paradigm for the discipline of information systems. *Future Computing Systems*, v. 1, n. 1, p. 71–97, 1986. Citado na página 44.
- WILSON, P.; MADSEN, L. *The Memoir Class for Configurable Typesetting - User Guide*. Normandy Park, WA, 2010. Disponível em: <<http://mirrors.ctan.org/macros/latex/contrib/memoir/memman.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2012. Citado na página 48.
- WOLFE, W. L. *Introduction to radiometry*. [S.l.]: Spie press, 1998. v. 29. Citado na página 25.