

ESCOLA SUPERIOR DE PROPAGANDA E MARKETING

THOMAS HOLLER SCHIEHL

MATERIAIS NO AMBIENTE TRIDIMENSIONAL

Um estudo de caso sobre o comportamento dos materiais nos softwares Modo e Maxwell.

PORTO ALEGRE
2015

THOMAS HOLLER SCHIEHL

MATERIAIS NO AMBIENTE TRIDIMENSIONAL

Um estudo de caso sobre o comportamento dos materiais nos softwares Modo e Maxwell.

Projeto de trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade ESPM Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharelado em Comunicação Social.

Orientador: Prof. Thiago Muradas Bulhões

Porto Alegre
2015

1 Do contrato

Com base na lei de Direitos Autorais de n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO (AMOS) A ESPM - Escola Superior de Propaganda e Marketing, a disponibilizar integralmente a publicação na internet, intranet, rede interna e biblioteca digital, e permitir a leitura, download e impressão da publicação – conforme determinado na lei acima, a partir desta data, e até que manifestação em sentido contrário de minha/nossa parte determine a cessação desta autorização.

2 Da natureza da obra

Tipo graduação pós-graduação mestrado
 outro especifique_____

Categoria PGE PE PN PM PA PCA PGD PGI PIC PIN
TCM RTC PPC TCC Artigo Monografia

Título

Subtítulo

3 Das permissões

AUTORIZO **NÃO AUTORIZO**

A ESPM - Escola Superior de Propaganda e Marketing, a disponibilizar na internet, intranet, rede interna e biblioteca digital, e permitir a leitura, download e impressão da OBRA.

4 Dos autores

R.A.	Nome	Assinatura
11012202	Thomas Holler Schiehl	

Data: 02 / 07 / 2015

RESUMO

O estudo tem o intuito de aprofundar o leitor no universo da computação gráfica, comparando materiais criados em um software tridimensional, para assim, compreender de que forma são realizados e sua implicação no tempo de produção de uma imagem computadorizada. O estudo inicia abordando dois métodos de render distintos, o Photon Mapping método mais utilizado entre os principais softwares, e o Path Tracing considerado fisicamente correto, dessa forma, tem como objetivo compreender de que forma são renderizados os principais materiais nos softwares Modo e Maxwell. Com tal premissa o estudo tem a proposta de aprofundar o autor nos dois métodos analisados, e assim conseguir obter imagens otimizadas em um menor tempo e com a melhor qualidade possível. Para o estudo foi utilizado o método exploratório com base em uma pesquisa qualitativa, realizando estudos nos dois softwares e cruzando as informações de tempo de render, por fim reproduzindo materiais reais em um ambiente tridimensional. Com o trabalho acadêmico ficou evidente que o melhor desempenho em termos de qualidade visual é proveniente do software Maxwell, porém quando existe a necessidade de um render em menor tempo o software Modo ganha vantagem, deixando assim a utilização por conta do intuito e necessidades do artista.

PALAVRAS-CHAVE: Render; Computação Gráfica; 3D; Materiais; Modo; Maxwell;

ABSTRACT

This study has the purpose of deepening the reader into the universe of computer graphics, comparing materials made in a three-dimensional software, in order to understand the way they are created and their consequences on the generation of a computerized image. The study starts analysing two different rendering methods, the Photon Mapping, most used method among the main softwares, and the Path Tracing, considered physically correct, therefore, having as goal the comprehension of the way the main materials are rendered on the softwares Modo and Maxwell. Regarding that, the study has the purpose of deepening the author on the two analysed methods, and so, obtaining optimized images in a shorter time and with the best possible quality. For this thesis the exploratory methodological procedure was used, based on a qualitative research, performing studies on both softwares and crossing the rendering time information, and therefore copying real materials in a three-dimensional environment. According to this academic work it is clear that the best performance in terms of visual quality, is set by the Maxwell software, however, when in need of a shorter rendering time, the Modo software is at an advantage, leaving the choice of the software to the artists intent and necessity.

KEYWORDS: Render; Computer Graphics; 3D; Materials; Modo; Maxwell;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 COMPUTAÇÃO GRAFICA.....	18
2.1 O PROGRAMA.....	19
2.2 MODELO.....	22
2.3 TEXTURA.....	24
2.4 LUZ.....	28
2.5 RENDER.....	31
3 MATERIAIS.....	37
3.1 MODO.....	38
3.1.1 DIFFUSE.....	39
3.1.2 SPECULAR.....	40
3.1.3 REFLECTION.....	42
3.1.4 TRANSPARENCY.....	44
3.1.5 SUBSURFACE SCATTERING.....	48
3.2 MAXWELL.....	51
3.2.1 SURFACE PROPERTIES.....	52
3.2.2 BIDIRECTIONAL SCATTERING DISTRIBUTION FUNCTION.....	53
3.2.3 SUBSURFACE PROPERTIES.....	57
4 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA.....	59
4.1 VERTENTE DA PESQUISA.....	59
4.2 TIPO DE MÉTODO.....	59
4.3 UNIDADE DE ESTUDO.....	60

4.4 TÉCNICA DE COLETA DE DADOS.....	60
4.5 TÉCNICA DE ANÁLISE DOS DADOS.....	62
5 ANÁLISE.....	63
5.1 TEMPO.....	65
5.2 REPRODUZINDO MATERIAIS REAIS.....	72
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
REFERÊNCIAS.....	84

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Processos.....	14
Figura 02 – 3DS Max.....	20
Figura 03 – Blender	20
Figura 04 – Modo.....	20
Figura 05 – Maxwell.....	20
Figura 06 – Modelagem.....	22
Figura 07 –Polígonos.....	23
Figura 08 – Mapeamento UV.....	24
Figura 09 – RGBA.....	25
Figura 10 – HDRI.....	25
Figura 11 – HDRI Panorâmico	26
Figura 12 – Bump e Materiais.....	27
Figura 13 – High-poly e Normal Map.....	28
Figura 14 – Specular, Diffuse, Refraction e Scattering ilustrados.....	29
Figura 15 – Specular, Diffuse, Refraction e Subsurface Scattering.....	30
Figura 16 – Iluminação.....	30
Figura 17 – Ray-Tracing.....	32
Figura 18 – Color Blending e Caustics.....	33
Figura 19 – Global Illumination.....	34
Figura 20 – Photon Mapping vs Path tracing.....	35
Figura 21 – Comparação de Nodes vs Lista.....	37
Figura 22 – Parâmetros do Modo.....	38

Figura 23 – Diffuse Roughness.....	39
Figura 24 – Exemplo de Specular.....	40
Figura 25 – Specular Amount.....	41
Figura 26 – Roughness.....	41
Figura 27 – Reflection Amount.....	42
Figura 28 – Reflection Roughness.....	43
Figura 29 – Reflection Fresnel.....	43
Figura 30 – Clearcoat.....	44
Figura 31 – Transparent Amount.....	45
Figura 32 – Distorção do Vidro.....	45
Figura 33 – Transparent Color e Absorption Distance.....	46
Figura 34 – Transparent Roughness.....	47
Figura 35 – Dispersion.....	47
Figura 36 – Subsurface Amount.....	48
Figura 37 – Subsurface color.....	49
Figura 38 – Subsurface Distance.....	50
Figura 39 – Front Weighting.....	50
Figura 40 – Parâmetros do Maxwell.....	51
Figura 41 – Surface Roughness.....	52
Figura 42 – Anisotropy.....	52
Figura 43 – Reflectance 0 e 90.....	53
Figura 44 – Attenuation.....	54
Figura 45 – Abbe.....	55
Figura 46 – Nd.....	55

Figura 47 – Nd e Roughness.....	56
Figura 48 – Coef.....	57
Figura 49 – Asymmetry.....	58
Figura 50 – Cenas.....	63
Figura 51 – Hardware.....	64
Figura 52 – Cena Aberta, Hardware 2007.....	66
Figura 53 – Cena Aberta, Hardware 2012.....	67
Figura 54 – Cena Aberta, Dados.....	68
Figura 55 – Cena Interna, Hardware 2007.....	69
Figura 56 – Cena Interna, Hardware 2012.....	70
Figura 57 – Cena Interna, Dados.....	71
Figura 58 – Referência de Madeira.....	72
Figura 59 – Texturas utilizadas.....	73
Figura 60 – Madeira Maxwell.....	73
Figura 61 – Madeira Modo.....	74
Figura 62 – Referência de Car paint.....	75
Figura 63 – Car Paint Maxwell.....	76
Figura 64 – Car Paint Modo.....	77
Figura 65 – Referência de Vidro.....	78
Figura 66 – Vidro Maxwell.....	78
Figura 67 – Vidro Modo.....	79
Figura 68 – Comparação de tempo.....	81
Figura 69 – Comparação dos materiais.....	82

1 INTRODUÇÃO

A computação gráfica, também conhecida pela abreviatura CG, foi introduzida William Fetter na década de 60, em seus estudos conseguiu realizar desenhos em um ambiente computacional com três dimensões criando dessa forma não só o conceito de computação gráfica como também o de 3D. (LUCENA, 2001) Sendo conceituada com imagens geradas em uma tela de um dispositivo computacional, esta, consiste em um conjunto de técnicas e algoritmos¹. Atualmente sua utilização abrange diversas áreas de conhecimento passando da medicina para peças publicitárias, filmes e jogos digitais. (MANSSOUR; COBEN, 2006)

Na década de 70, com a produção do longa-metragem de ficção científica Star Wars, do diretor George Lucas, a computação gráfica teve a sua primeira participação em filmes. A cena utilizada tinha apenas 40 segundos, porém, levou 12 dias para ser produzida. (GUEDES, 2010) Em seguida na década de 80 é possível destacar filmes como Tron, do diretor Steven Lisberger e, na década de 90, filmes como Jurassic Park, do diretor Steven Spielberg e Toy Story dirigido por John Lasseter. (SLICK, 2011) Este, lançado em 1995 pelo estúdio Pixar, conseguiu cativar a audiência abrindo caminho para vários outros filmes do estúdio, provando que a computação gráfica não são apenas efeitos especiais. (WEISHAR, 2004)

Em paralelo ao crescimento da computação gráfica no cinema e o aumento da capacidade de processamento dos computadores, os softwares tridimensionais, evoluíram e se diversificaram, hoje é possível encontrar softwares distribuídos gratuitamente, como no caso do Blender, produzido pela Blender.org ou programas mais antigos do mercado como no caso do Autodesk 3DS Max, criado em 1990 e ainda um dos mais utilizados no mercado. O autor Jeremy Birn (2006), cita que nenhum software tridimensional consegue conter todas as funções e algoritmos, dessa forma cada software tem uma função que desempenha melhor. (BIRN, 2006) Assim temos o caso do software Maxwell render, criado pela Next Limit Technologies, o qual é especializado na concepção de imagens computadorizadas. Dessa forma, o profissional se utiliza de diversos softwares para alcançar o seu objetivo.

Em conjunto com o crescimento do software também ocorreram diversos avanços no hardware, o qual tem muita importância por ser a principal ferramenta do profissional de computação gráfica. A década de 70 foi uma das mais marcantes para o seu desenvolvimento, a empresa Intel em 1971, lançou um processador com 108 Khz de clock, medida diretamente

¹ Algoritmo: O algoritmo pode ser definido como uma sequência de passos para resolver determinado problema, um padrão de comportamento. (FERRARI; CECHINEL, 2008)

relacionada com a capacidade de processamento, hoje é possível encontrar processadores da mesma empresa com oito núcleos com capacidade de 3,5 GHz o que é trinta e duas mil vezes mais clock que seu antecessor. O autor também aponta que conseqüentemente com o aumento gradativo da tecnologia as resoluções utilizadas também aumentaram, proporcionando uma experiência com mais detalhes para o usuário. (KERLOW, 2004)

Em conjunto com o crescimento dos softwares, hardwares e a utilização de computação gráfica no cinema os estúdios de publicidade e propaganda passaram a se utilizar de tais métodos, aplicando-os na produção de comerciais, entre outras peças. (IASBECK, 2002) Hoje, estúdios que não possuem um setor especializado na área contratam fornecedores para realizar os trabalhos. Tais prestadores de serviço vão desde estúdios especializados a profissionais freelancers que atuam em suas próprias casas. (SNOWLING; HULME, 2013)

No cenário atual das agências de publicidade e propaganda o tempo dedicado a execução é relativamente curto, fazendo com que o profissional tenha que alcançar um bom resultado em um pequeno período de tempo. De acordo com Luli Radfahrer (2012), deve se tomar alguns cuidados com a contratação de profissionais terceirizados, por exemplo, em tarefas que desprendem grande dificuldade, como no caso da computação gráfica, devem ser considerados prazos finais que sejam aceitáveis para não desgastar a equipe e alcançar um nível de qualidade adequado. Para isso, as agências que contratam tais serviços devem conhecer e entender o nível de complexidade envolvido para produzir uma imagem tridimensional.

Para se obter uma imagem criada em um software tridimensional temos diversos processos até alcançar o resultado final, que pode ser uma imagem ou vídeo. De acordo com os autores Lorenzo Ridolfi e Sérgio Colcher (2005), os processos são divididos em pré-produção, produção, renderização e pós-produção. A seguir, tem-se uma breve descrição de cada etapa com o intuito de situar o leitor do nível de complexidade em executar um projeto tridimensional.

A primeira etapa é a Pré-produção, onde é concebido o material que será utilizado de base durante o restante do processo. Nessa etapa é onde ocorre a parte criativa do projeto, onde os artistas decidem a linha visual que a imagem ou vídeo vai seguir, criando desenhos e rascunhos para definir como serão os elementos da cena, desde personagens a ambientes inteiros, nesta parte também são pesquisadas imagens e vídeos que possam ser utilizadas de referência para a parte de produção. (RIDOLFI; COLCHER, 2005)

Na sequência é realizada a Produção, esta abrange diversos setores dentro do estúdio. Nessa etapa é quando os elementos imaginados ganham forma dentro do computador. Ainda nesta etapa são acrescentadas informações de cores e texturas dos objetos. (STEEN, 2007) Com os modelos prontos e texturizados é realizado o processo de iluminação. Com tudo isso terminado, os animadores dão vida aos personagens. (RIDOLFI; COLCHER, 2005)

A terceira etapa é a Renderização, que consiste em realizar a simulação de luz a partir de cálculos e algoritmos. Ela transforma todos os objetos criados anteriormente em uma única imagem estática, por ser um processo realizado principalmente pelo hardware a configuração adequada interfere diretamente no resultado final e no tempo de render, e para alcançar essa determinada configuração o profissional realiza diversos renders com o intuito de testar se a qualidade e o tempo estão adequados com a proposta. (RIDOLFI; COLCHER, 2005)

Por último é realizada a pós-produção. Nessa, as imagens são inseridas em algum software de manipulação como Photoshop² ou After Effects³, no caso de um vídeo. Dentro desses softwares são feitas as manipulações de cores, contrastes, cortes, montagens, entre outros ajustes para tornar a imagem mais agradável esteticamente. Também são inseridos os efeitos especiais como explosões por exemplo. Por fim, o arquivo final de vídeo ou foto é gerado, sendo entregue para o cliente. (RIDOLFI; COLCHER, 2005)

Figura 01 – Processos

Pré-Produção	Produção	Renderização	Pós-Produção
<ul style="list-style-type: none"> -Base para o projeto -Definição da estética -Parte mais criativa 	<ul style="list-style-type: none"> -Criação dos objetos e cenários -Texturização -Iluminação -Animação 	<ul style="list-style-type: none"> -Simulação de luz -Criação das imagens 	<ul style="list-style-type: none"> -Manipulação das imagens -Ajustes de cores -Montagens

Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Como é possível observar na descrição do processo de criação de uma imagem computadorizada, ele não é executado de forma rápida, tendo que passar por diversas etapas necessárias para que o trabalho tenha o andamento desejado. Tal processo é utilizado tanto para a criação de uma animação para o cinema, como para a produção de uma simples imagem em 3D. Dessa forma, tais etapas desprendem um grande tempo por conta do trabalhador.

De tais processos necessários para alcançar o realismo e a qualidade em imagens computadorizadas, os materiais se destacam por agregarem diversos atributos e não apenas

² Photoshop: Produzido pela Adobe, é o programa mais avançado do mercado para edição de imagens. (ADOBE, 2014)

³ After Effects: Produzido pela Adobe, é muito utilizado para editar vídeos e filmes adicionando efeitos e filtros. (ADOBE, 2014)

cor.(STEEN,2007) É possível destacar que para alcançar um resultado adequado em um período de tempo curto é necessário que o profissional consiga otimizar ao máximo suas configurações, para isso é necessário compreender o processo de render, materiais e luzes. Assim, com o intuito de compreender as características tão abrangentes que podem influenciar de maneira considerável o render de uma determinada cena, temos a seguinte pergunta: **De que forma são renderizados materiais difusos, reflexivos e transparentes nos softwares Modo e Maxwell?**

Dessa forma temos como objetivo geral identificar como é realizado o render dos principais materiais nos softwares Modo e Maxwell. Já os objetivos específicos examinar de que forma os softwares simulam os materiais. Identificar as principais configurações disponíveis para materiais e render e, por fim, apontar de que forma elas afetam o tempo de render.

O estudo tem o intuito de aprofundar o conhecimento do autor sobre materiais no ambiente tridimensional e compreender a fundo o funcionamento dos softwares de render tanto para o método utilizado pelo renderizador do software Modo, produzido pela The Foundry, sendo este o principal programa utilizado pelo autor, como também, aprofundar-se no software Maxwell produzido pela Next Limit, um dos softwares mais antigos a se utilizar de um método fisicamente correto. Dessa forma o autor tem o intuito de conseguir realizar um conteúdo com mais realismo em um menor período de tempo. Assim, proporcionando um crescimento no cenário profissional.

Ao realizar uma pesquisa relacionando artigos e trabalhos de conclusão de curso na ESPM Sul, foram encontrados com o termo “computação gráfica” trinta e sete artigos e TCC’s; utilizando o termo de pesquisa “3D”, foram encontrados cento e trinta e três itens. Dentre tais trabalhos, foi identificado grande quantidade de estudos que abrangem o tema “cinema”, passando desde animações a análises de filmes. Outro tema bastante abordado foi “impressoras 3D”, relacionando com o futuro e o crescimento desta nova tecnologia. Ao realizar a pesquisa na UFRGS, foram encontrados dois mil cento e trinta e oito teses e artigos com o termo “3D” e mil e seiscentos e cinquenta com o termo “Computação Gráfica”. Por causa do número elevado de resultados e da abrangência de temas a pesquisa foi feita novamente. Dessa vez, mesclando os dois termos e adicionando “Materiais”. Dessa forma, foram encontrados duzentos e setenta e três resultados, tal pesquisa foi realizada na biblioteca de teses e periódicos consultada pelo site Capes. A pesquisa realizada no site da PUC obteve trinta e três resultados

para o termo “3D” enquanto para o termo “Computação Gráfica” vinte resultados, também contendo diversos temas. Na UNISINOS foram encontrados para o termo “3D” apenas três resultados e para o termo “Computação Gráfica” foram encontrados quatro, porém seus temas foram mais voltados para o universo arquitetônico, tal pesquisa foi realizada na biblioteca de teses e periódicos consultada pelo site Capes.

Dentre as quatro instituições não foi identificado nenhum trabalho que aborde materiais na computação gráfica. Identificando tal lacuna, o presente estudo é importante para a instituição, trazendo um conteúdo focado em materiais e seu comportamento no ambiente tridimensional, auxiliando, assim, o processo de renderização. Tal material pode ser utilizado para desenvolvimentos de trabalhos acadêmicos de alunos, como também por um profissional de mercado, tornando mais uma vez a ESPM uma referência de material atualizado.

O estudo apresenta o leitor ao ambiente dos materiais simulados de forma computadorizada, com conceitos e definições voltadas a um usuário com pouca ou nenhuma experiência no assunto até um usuário avançado. Com isso pode ser utilizado dentro da ESPM por professores e alunos auxiliando no desenvolvimento das cadeiras que envolvem computação gráfica e 3D, da mesma forma também pode ser usado por usuários já atuantes no mercado de trabalho ou iniciantes que buscam se aprofundar em tal assunto. Assim, o atual estudo tem grande importância no cenário acadêmico auxiliando diversas esferas de estudo trazendo visibilidade para a instituição.

Diante do problema de pesquisa proposto, o estudo inicia contextualizando o leitor no cenário de computação gráfica, apresentando alguns conceitos e o processo de produção de imagens computadorizadas. Para tal capítulo os autores utilizados foram: Ridolfi e Colcher (2005) e Calciolari (2009).

O capítulo seguinte abrange um dos temas mais importantes do estudo, o programa. Neste capítulo é explicado seu funcionamento e principalmente do algoritmo Ray-tracing, e de que forma ele torna o render mais realista. Para tal capítulo foram utilizados os autores: Albregtsen (2008), Birn (2006), Driemeyer (2001), Jensen e Akenine-Möller (2010), Slick (2014) e Steen (2007).

No terceiro capítulo os materiais são apresentados, tendo o primeiro subcapítulo focado no software Modo sendo utilizado como principal fonte de conteúdo o próprio manual criado pela The Foundry, já no segundo subcapítulo é trabalhado o software Maxwell usando da mesma maneira o respectivo manual criado pela Next Limit Technologies.

No quarto capítulo, temos a Metodologia onde é apresentada a vertente de pesquisa, o método, a unidade de estudo, a técnica de coleta de dados e a técnica de análise de dados. Para realizar o estudo, o método qualitativo foi o mais adequado para o problema proposto, tendo em vista que as variáveis estudadas serão precisas e o processo levará a novas hipóteses a respeito do objeto de estudo.

O método mais apropriado para realizar a pesquisa foram as pesquisas exploratórias, já que o pesquisador tem o objetivo de esclarecer conceitos de tal área. Dessa forma a unidade de estudo utilizada foram os *shaders*⁴ presentes nos materiais do software tridimensional Modo e Maxwell. Tais *shaders* são: Diffuse, Specular e Refractive, podendo ter variações em suas nomenclaturas ou formas de utilização, porém, sua funcionalidade e resultado permanecem iguais. Com a utilização da combinação destes é possível reproduzir diversos materiais encontrados no mundo real.

Para coletar tais dados a pesquisa bibliográfica foi utilizada pela quantidade de conteúdo sobre tal assunto em livros e artigos. Porém também foi utilizada a pesquisa documental, em conjunto com o método de pesquisa laboratorial pois, para realizar o estudo, foram produzidos conteúdos voltados diretamente para responder a pergunta de pesquisa, dentro de um ambiente computadorizado e sem a interferência de terceiros para assim, identificar os principais materiais utilizados nos softwares tridimensionais. Para analisar os dados o método utilizado foi análise de dados, por permitir que o explorador compile os dados e a partir disso realizar uma análise para alcançar as respostas do problema proposto.

Após o capítulo de metodologia são apresentadas e organizadas as informações obtidas ao longo dos capítulos teóricos, trazendo os resultados da pesquisa exploratória sobre o assunto, em conjunto com conclusões e comparações do autor a respeito do universo dos *shaders* e renderizadores. O último capítulo consiste nas considerações finais feitas a respeito do assunto estudado em conjunto com as conclusões obtidas pelo estudo.

Assim, o autor convida os interessados na forma com que os materiais são simulados e nos parâmetros e configurações acerca dos renderizadores e *shaders* a se aprofundarem nesta área complexa e técnica sendo para o intuito tanto profissional como por mera curiosidade. Boa leitura.

⁴ Shader: Algoritmos que definem de que forma a luz se comporta quando renderizado. (RIDOLFI; COLCHER, 2005)

2 COMPUTAÇÃO GRÁFICA

A computação gráfica também abreviada para CG, pode ser definida de diversas formas, o ISO, *International Standards Organization* define computação gráfica como: “Conjunto de métodos e técnicas de converter dados para um dispositivo gráfico, via computador” (LUCENA, 2001) já o autor Isaac V. Kerlow, (1994) propõe uma definição mais artística para a computação gráfica, “É a arte e a ciência em que o computador é incorporado no processo de criação e apresentação visual” (KERLOW, 1994) ao observar as definições de tais autores é possível compreender que o termo CG é diretamente relacionado a gráficos visualizados em um display, abrangendo, dessa forma, diversas áreas. (LUCENA, 2001)

O primórdio da computação gráfica remete ao surgimento do computador, tendo em vista que tal conceito está relacionado aos monitores utilizados pelos computadores. Tal maquinário era inicialmente utilizado para fins militares e sendo estudado apenas em laboratórios, com sistemas arcaicos e complexos sendo utilizados estritamente para estudos e cálculos avançados. Porém em 1957 os irmãos Whitney passaram a utilizar tal tecnologia como intuito artístico, criando uma espécie de visualização proveniente de ondas sonoras, posteriormente em 1958 utilizando suas experiências para criar a abertura do filme *Vertigo* do diretor Alfred Hitchcock, com isso tal tecnologia conseguiu demonstrar seu potencial e principalmente as possibilidades dessa nova forma de arte. (LUCENA, 2001)

Porém é no início da década de 60 que a computação gráfica passou a possuir possibilidades voltadas para o âmbito artístico. Em 1963 o Sketchpad, dispositivo semelhante a uma mesa digitalizadora, tornou a interação com o usuário mais simples e intuitiva, onde anteriormente o usuário necessitava inserir as informações por meio de um teclado, agora era possível se utilizar de uma caneta digital, criada por Ivan Sutherland e posteriormente aperfeiçoada por Thomas O. Ellis. Tal dispositivo abriu os olhos do público possibilitando novas experiências e testes sendo considerado um marco significativo na história da computação gráfica. (LUCENA, 2001)

Ainda no início da década de 60 o termo Computação gráfica foi introduzido em pelo pioneiro William Fetter que atuando na empresa Boeing Aircraft Company conseguiu criar vetores tridimensionais e assim aplicando tal método para simular peças das aeronaves podendo serem visualizadas por meio de linhas de uma forma tridimensional, da mesma forma reproduziu figuras humanas introduzindo dessa forma, os primeiros gráficos tridimensionais. Com o advento da tecnologia artistas do meio da animação passaram a demonstrar interesse em tais ferramentas. Inicialmente sendo discriminada, a tecnologia chegou a ser referida como

“máquinas de desenhar” porém, com o passar do tempo este conceito foi desmantelado, demonstrando que a máquina é apenas uma ferramenta do artista, dando início a utilização da computação gráfica em animações computadorizadas. (LUCENA, 2001)

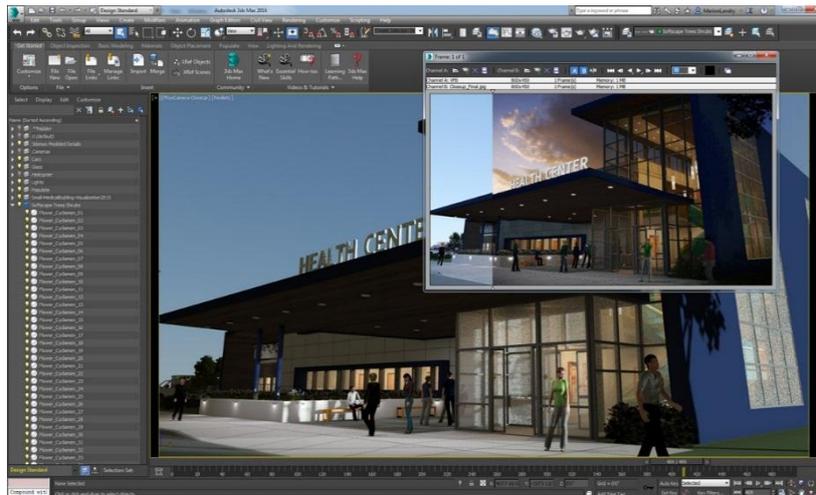
No cenário atual a computação gráfica se tornou parte integral da rotina moderna, passando muitas vezes despercebida a olhos desatentos. É possível destacar a aplicação em grande escala no ambiente cinematográfico, onde diversos filmes produzidos contam com alguma intervenção computadorizada, alguns em uma baixa quantidade e outros inteiramente feitos de forma digital. Também é possível destacar a área de jogos digitais a qual teve um grande crescimento nos últimos anos, está, se utiliza em muito da computação gráfica para a sua criação, evoluindo com as tecnologias de softwares e principalmente de hardware. (MUNDI; WIEDEMANN, 2004)

Para realizar estas operações o profissional se utiliza de um ambiente criado de forma tridimensional, por isso é comumente chamado de 3D. Estes ambientes possuem objetos tridimensionais que recebem texturas e são iluminados com o intuito de simular um ambiente real, podendo ter um apelo mais realista ou artístico. Para serem realizadas estas simulações são utilizados softwares específicos, estes podem ser encontrados desde código aberto a gigantes do mercado presentes desde os primórdios da computação gráfica. (RIDOLFI; COLCHER, 2005)

2.1 O PROGRAMA

Os autores Lorenzo Ridolfi e Sérgio Colcher (2005) fazem um comparativo de que aprender um software 3D é semelhante a aprender a dirigir um carro. Mesmo que você saiba operar o volante e os pedais, não será o suficiente se não souber ler mapas, sinais e regras de trânsito. Demonstrando que o software 3D é apenas uma ferramenta, você precisa saber como usá-la. Tais softwares tem como principal função criar objetos virtuais, como personagens, cenários, adicionar materiais, iluminar, animar e renderizar, tudo em apenas um software. É possível encontrar uma grande quantidade de softwares no mercado, alguns mais antigos e consolidados como o 3DS Max, figura 02. Este é o software mais vendido do mundo para a criação de efeitos visuais, animação de personagens e desenvolvimento de jogos. (RIDOLFI; COLCHER, 2005)

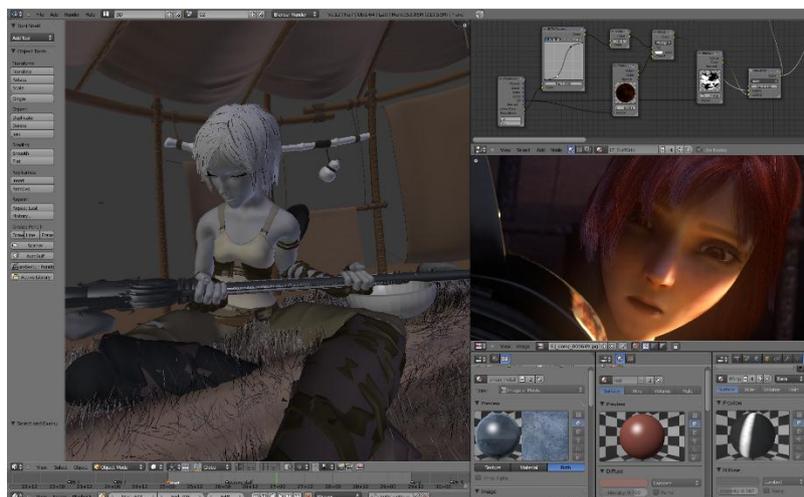
Figura 02 - 3Ds Max



Fonte: Autodesk, 2015

Também é possível encontrar softwares criados com código aberto, como no caso do Blender, criado pela Blender.org, figura 03. Ele conta com uma grande comunidade de desenvolvedores que modificam o software para determinadas tarefas, dessa forma, é possível obter funções novas e criar ferramentas que mais tarde possam ser incorporadas no software original. Outra grande característica do Blender é o fato de ser distribuído gratuitamente para todas as plataformas, OSX, Windows e Linux. (PATMORE, 2003)

Figura 03 - Blender



Fonte: Blender.org, 2015

O software que será utilizado no estudo é o Modo, produzido pela empresa de softwares The Foundry, figura 04. Este se tornou popular pelo preço competitivo sendo abaixo de gigantes do mercado como a Autodesk, sua interface bem organizada e bem acabada cativou

usuários, crescendo consideravelmente nos últimos anos, sendo este o software utilizado pelo autor, dessa forma sua utilização no estudo deve-se ao intuito de aprofundar o autor.

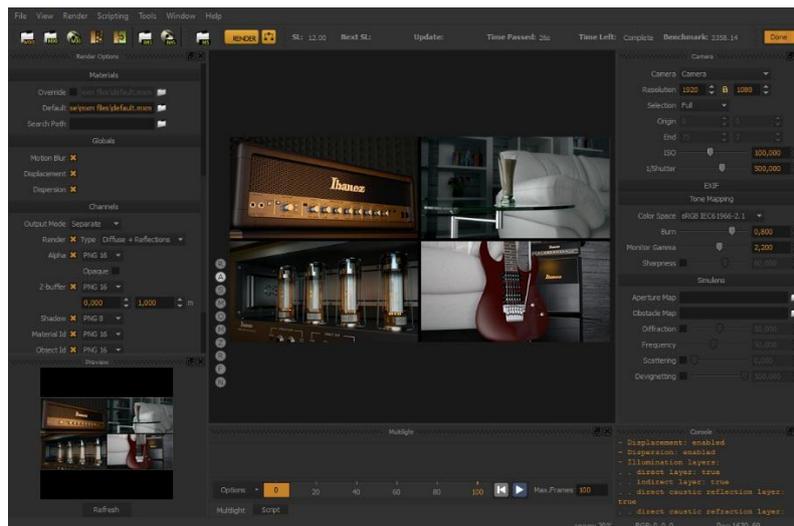
Figura 04 - Modo



Fonte: Thefoundry.cc.uk, 2015

Tais softwares são considerados completos indo desde a criação dos modelos até o processo de render, porem para o estudo será utilizado também um software especializado em render chamado de Maxwell, criado pela Next Limit Technologies, este é um renderizador externo, muito conhecido por possuir um render considerado fisicamente correto, sendo um dos mais antigos do mercado de renderizadores, por tais motivos tal programa foi utilizado no presente estudo.

Figura 05 - Maxwell



Fonte: Maxwellrender.com, 2015

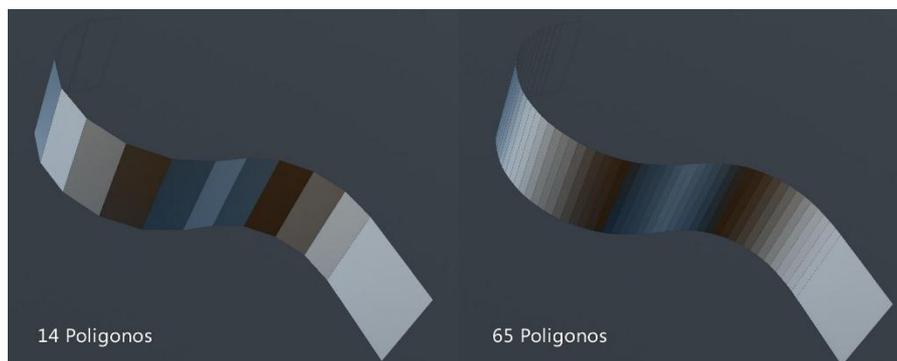
Quando abertos pela primeira vez, tais softwares podem assustar pela quantidade de botões e menus aparentes, porém, o usuário não precisará conhecer tudo para começar a trabalhar, com o tempo passa a dominar uma área por vez. É possível observar que todos têm uma estrutura semelhante com painéis de ferramentas e uma área central onde são criados os modelos. (RIDOLFI; COLCHER, 2005)

2.2 MODELO

As formas recriadas dentro de um software tridimensional ganham o nome de modelos, estes podem ser definidos como formas matemáticas formadas por polígonos, ou faces, que por sua vez dão forma ao objeto. Dessa forma, é possível criar ambientes, personagens ou praticamente qualquer coisa que a imaginação permitir, podendo ter características realistas, no intuito de simular o ambiente real, ou criar objetos inteiramente novos e estilizados dando liberdade a criatividade do artista. (RIDOLFI; COLCHER, 2005)

Tais polígonos são responsáveis por simular superfícies, em locais onde a modelagem se torna mais complexa, como curvas, é necessário aumentar a quantidade de polígonos, para assim não perder a forma desejada e manter o nível de detalhamento, conforme figura 06, é possível constatar que em um objeto a quantidade de detalhes pode estar associada a quantidade de polígonos, porem com esse aumento é necessário um maior poder computacional para calcular as superfícies, fazendo com que o profissional tenha que optar muitas vezes por outros métodos para não tornar o processo de render muito longo. (BHAWAR; AYER; SAHASRABUDHE, 2013)

Figura 06 - Modelagem

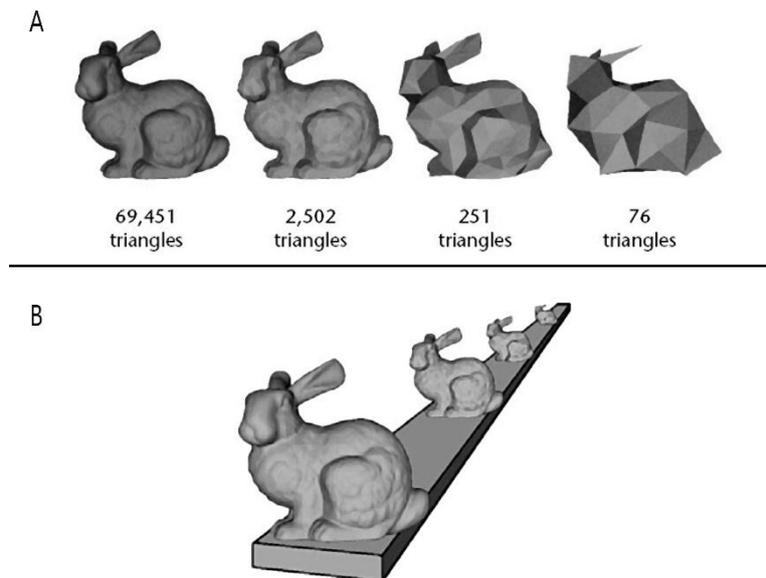


Fonte: Autor do presente estudo, 2015.

Dentro do universo da modelagem um dos principais dilemas é entre realismo ou velocidade, complexidade ou performance, dessa forma, os profissionais devem alcançar um equilíbrio entre tais quesitos. Quanto mais detalhado um objeto é, maior o tempo necessário

para o render, assim, para otimizar este tempo modeladores se utilizam de um processo chamado LOD, *Level of Detail* ou Nível De Detalhe, este tem o intuito de reduzir a quantidade de detalhes de um objeto de acordo com a distância em que se encontra da câmera, apresentando objetos mais detalhados em primeiro plano. (LUEBKE; REDDY; COHEN; VARSHNEY; WATSON; HUEBNER, 2003)

Figura 07 - Polígonos



Fonte: LUEBKE; REDDY; COHEN; VARSHNEY; WATSON; HUEBNER, 2003, p05.

É possível observar na figura 07 a variação no nível de detalhes, passando de um modelo bem detalhado na figura mais à esquerda, para um modelo mais simplificado na direita, este tipo de modelo é comumente utilizado em jogos por utilizar menos processamento para ser visualizado, tais modelos podem ser chamados de *Low-poly*, modelos com pouca quantidade de polígonos ou *High-Poly*, modelos com grande quantidade de polígonos. Dessa forma a qualidade do render não será prejudicada pois os objetos com menos detalhes estarão menores, e também é possível otimizar o tempo destinado ao processo de render. (JENSEN; AKENNINE-MÖLLER, 2010)

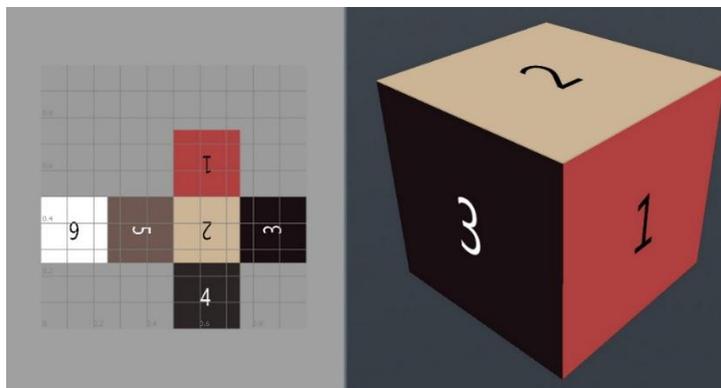
Em tal subcapítulo foi possível compreender de que forma são criados os modelos que compõem a cena tridimensional demonstrando conceitos como *Low-poly*, *High-poly*, polígonos e nível de detalhe, proporcionando assim, um maior entendimento sobre o processo de modelagem e de que forma ele influencia no resultado final visualizado no render. Após os modelos estarem prontos é iniciado o processo de texturização, onde é necessário preparar o

modelo para receber as informações de texturas, em seguida são adicionadas as informações de relevo, cor entre outras possibilidades provenientes das texturas.

2.3 TEXTURA

Para definir a utilização de texturas no 3D primeiramente é necessário compreender alguns conceitos a respeito de imagens digitais e de que forma é feita a interação com o modelo tridimensional. Para aplicar a textura em um modelo é realizado o processo de criação de um mapeamento UV que é onde o modelo é planificado para dessa forma serem aplicadas as texturas, alguns autores utilizam o exemplo de desmontar uma caixa de papelão até ela se tornar plana, no 3D é basicamente o mesmo intuito, porém, quando o objeto é mais complexo e se utiliza de curvas o processo se torna mais difícil. (CALCIOLARI, 2009) O mapeamento UV recebe tal nomenclatura de forma a representar coordenadas nas imagens tridimensionais planificadas. A utilização de tais letras se dá pois o alfabeto segue as letras U, V, W, X, Y, e Z sendo definidas X, Y e Z como os eixos do ambiente 3D enquanto U e V são utilizados para localizar a textura. (BIRN, 2006)

Figura 08 – Mapeamento UV



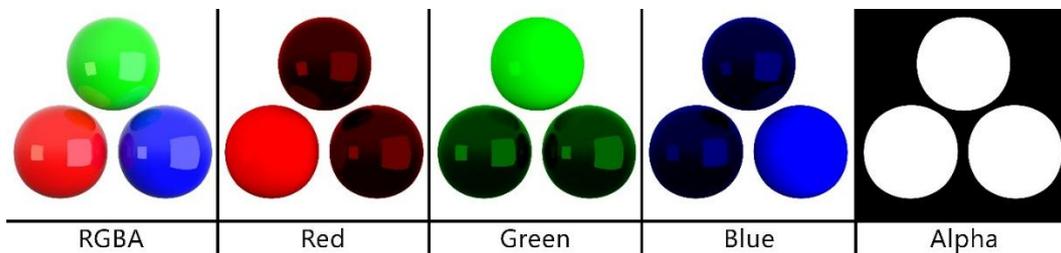
Fonte: Autor do presente estudo, 2015.

Na imagem 08 é possível observar a forma com que uma textura é aplicada em um cubo, é um exemplo simples, porém de fácil compreensão para usuários iniciais. Para criar a textura é exportada o mapa de UV, que é geralmente reconhecido como um vetor ou uma imagem, esta pode ser importada para algum software de tratamento de imagem, e dessa forma, o profissional tem as coordenadas do modelo sendo possível pintar exatamente nos polígonos necessários. Ao compreender tais conceitos de mapeamento das texturas em objetos tridimensionais o estudo passa para a compreensão das texturas e seus conceitos básicos, para

dessa forma, conseguir obter um melhor entendimento sobre o assunto e da mesma forma promover a otimização na utilização de texturas.

As imagens em um monitor são criadas a partir de três cores: vermelho, verde e azul e quando combinadas em determinadas intensidades conseguem reproduzir a cor branca, tal padrão é denominado RGB. No 3D é muito utilizado o padrão RGBA, onde o “A” vem do canal Alpha, este canal é conhecido por ser monocromático onde é interpretado que a área branca do canal é a parte visível e a área escura ficara invisível, com o canal alpha incluído na imagem final é possível criar imagens com áreas transparentes. Na figura 09 é possível visualizar os canais que compõem a imagem. (BIRN, 2006)

Figura 09 – RGBA



Fonte: Autor do presente estudo, 2015.

Tais imagens criadas em RGB possuem uma profundidade de cor em cada canal (vermelho, verde e azul), uma imagem de 8bits varia de 0 a 256 níveis, já uma imagem de 16bits permite milhares de níveis para cada canal, porém, também consome duas vezes mais espaço em disco, tais imagens são classificadas como LDRI, *Low Dynamic Range Image* que são as mais utilizadas, porem temos o chamado HDRI *High Dynamic Range Image*, está se utiliza de 32bits por canal podendo dessa forma armazenar toda a informação contida no canal. (BIRN, 2006)

Figura 10 - HDRI



Fonte: BIRN, 2006, p243

As imagens criadas em 32bits (HDRI) conseguem armazenar informações em locais que aparentemente não possuem nenhuma informação. É possível observar na figura 10, que o reflexo da luz criou um brilho completamente branco. Porém quando manipulada a imagem é possível revelar detalhes antes escondidos, da mesma maneira é possível visualizar informações contidas nas sombras, assim, o profissional de pós-produção pode calibrar tais imperfeições na imagem. (BIRN, 2006)

Figura 11 - HDRI Panorâmico



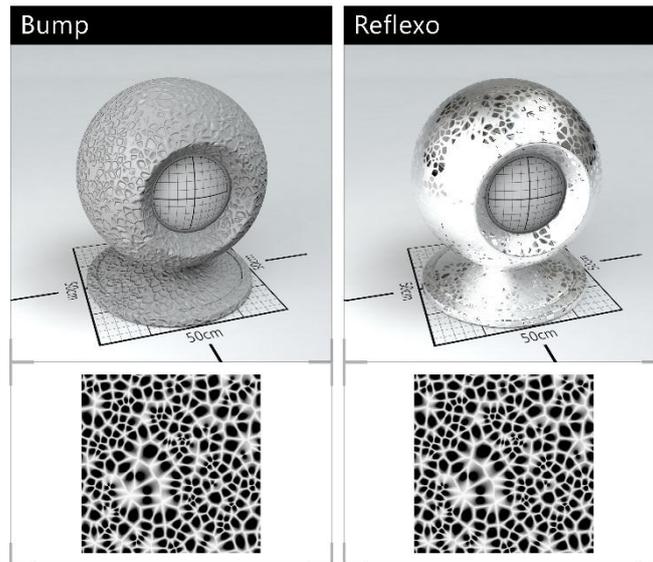
Fonte: Autor do presente estudo, a partir do software Modo. 2015.

Tais imagens em HDRI quando criadas em um formato panorâmico podem ser utilizadas como fonte de iluminação de uma cena. Como os níveis da imagem são mais abrangentes é possível simular com precisão o ponto de incidência de luz da imagem, (figura 11) criando dessa forma uma iluminação mais realista. Tal método é muito utilizada quando é necessário inserir um modelo tridimensional em um ambiente real, como no caso de muitos filmes, para isso são criados HDRIs específicos para cada cena. (WITT.)

O modelo finalizado nem sempre conta com todos os detalhes desejados, isso é feito para poupar polígonos e com isso reduzir o tempo de render. Para simular detalhes mais definidos é necessário a utilização de imagens 2D aplicadas ao modelo, estas, são aplicadas se utilizando do Mapa de UV citado anteriormente. Tais imagens chamadas de texturas podem ter o intuito de acrescentar informações de cor, relevo, intensidade ou misturar diferentes materiais, criando assim, uma infinidade de variações para o artista desenvolver.

Algumas texturas como no caso do Bump ou Displacement, se utilizam de uma escala de cinza, onde no modelo representam níveis de relevo, sendo o claro alto relevo e o escuro baixo, podendo dessa forma, simular uma geometria não modelada conforme é possível visualizar na primeira imagem da figura 12 onde foi utilizada a função de Bump. Além de tais capacidades uma textura em tons de cinza pode ser utilizada como Alpha para características, como no caso da imagem da direita na figura 12, onde na coloração mais clara foi definido um maior nível de reflexividade enquanto na mais escura um menor nível. (FRANSON, 2004)

Figura 12 - Bump e Materiais



Fonte: Autor do presente estudo, 2015.

Em alguns softwares tridimensionais como no caso do Modo e Maxwell são possíveis encontrar texturas chamadas de Procedurais, estas, são desenvolvidas diretamente no software e não possuem um tamanho em pixel previamente definido. Assim estas podem ser alteradas de acordo com as necessidades do usuário, tal tipo de textura foi utilizada no exemplo da figura 12, está no software Modo recebe o nome de Textura Celular. Outra textura muito utilizada na produção de materiais no software Modo é o Gradiente, possibilitando definir uma coloração, textura ou efeito de acordo com o ângulo que se encontra segundo a câmera, assim é possível criar materiais mais complexos e diferenciados. (LUXOLOGY, 2015)

Outra textura comumente utilizada para criar um relevo é a Normal Map, esta ao contrário do Bump, dispõe de uma escala colorida, conseguindo dessa forma criar um relevo mais específico e realista, muito utilizada para criar um objeto Low-poly, onde inicialmente é realizado um modelo com mais polígonos e então é extraído um mapa com tais informações, em seguida é aplicada em um modelo com menos polígonos, assim, é possível simular tal geometria sem acrescentar uma quantidade tão grande de polígonos.(BIRN, 2006)

Figura 13 – High-poly e Normal Map



Fonte: TOSCA, 2007

Conforme a imagem 13, é possível visualizar e utilização de uma textura Normal Map aplicada em um modelo *Low-Poly*, conservando dessa forma os detalhes acrescentados no modelo *High-Poly*. Tais imagens que simulam geometria tem como característica serem influenciadas diretamente pela luz da cena, criando o efeito de relevo apenas quando existe a incidência de luz sobre a superfície.

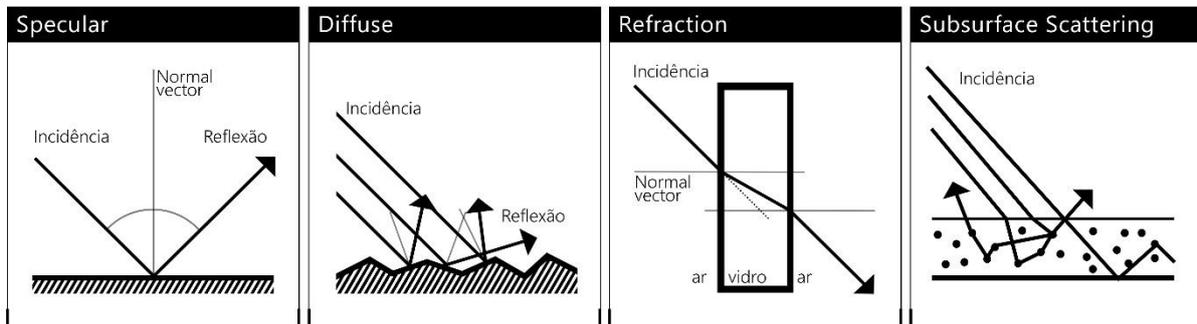
2.4 LUZ

O grande objetivo da criação de imagens computadorizadas sempre foi conseguir recriar imagens semelhantes as capturadas por uma câmera, tentando ao máximo alcançar o realismo em iluminação, modelo e materiais para assim, conseguir, convencer o observador de que está visualizando uma imagem real. Com tal premissa um item muito importante para o estudo é a iluminação, considerando que tais princípios da luz influenciam diretamente nos materiais e modelos da cena. (SHIRLEY; HU; SMITS; LAFORTUNE, 1997)

A luz não é apenas responsável por iluminar a cena, ela é muito importante pois pode ser visualizada indiretamente, e muitas vezes diretamente na superfície dos objetos, criando assim características realistas na imagem como volumes e reflexos. (ALBREGTSEN, 2008) Os raios de Luz são compostos de Photons, pequenas partículas que carregam a energia, estes quando entram em contato com uma superfície podem ser rebatidos ou absorvidos. A trajetória de um raio ao rebater em um espelho por exemplo, tem a sua incidência e reflexo com o mesmo ângulo, partindo de uma linha paralela à superfície, chamada de normal vector, este exemplo

fica visível na primeira imagem da figura 14 ilustrando a trajetória de um raio de luz. (RYER, 2000)

Figura 14 – Specular, Diffuse, Refraction e Scattering ilustrados



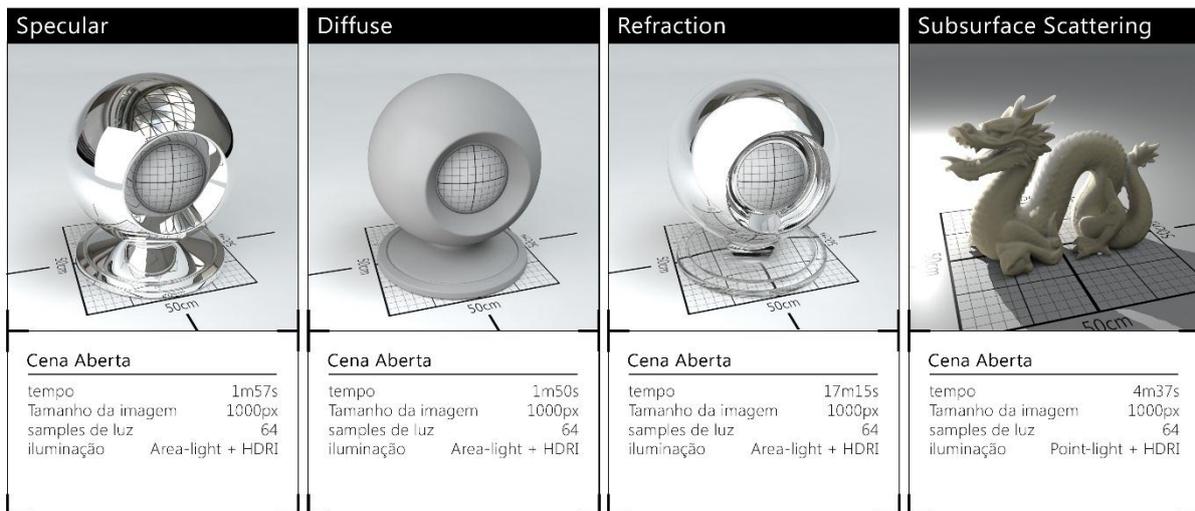
Fonte: Autor do presente estudo, 2015.

Como é possível observar na primeira imagem, os Photons de luz são completamente rebatidos, em uma superfície reflexiva, tendo o seu percurso definido de forma precisa. Tal fenômeno ganha o nome de reflexo Specular. Ao analisar a segunda figura, é possível observar que a trajetória dos Photons pode ser alterada por minúsculas fissuras e imperfeições, dessa forma, tornando o reflexo menos evidente, possibilitando observar apenas a intensidade da iluminação. É interessante ressaltar que no mundo real é muito raro encontrar um material completamente Specular, sendo geralmente uma composição dos dois tipos de reflexo. (HENDERSON)

Quando os raios de luz não são completamente rebatidos e atravessam o material como no caso de alguma superfície transparente como o vidro, é possível visualizar um fenômeno onde os Photons de Luz têm sua velocidade reduzida, causando uma alteração em sua trajetória, e assim, resultando em uma deformação nos objetos situados atrás de tal material, Figura 14 terceira imagem. Tal deformação ocorre de acordo com um valor chamado de Índice de Refração ou IOR, tais parâmetros serão tratados futuramente no capítulo sobre materiais. (ALBREGTSEN, 2008)

Os Photons de luz também podem ser absorvidos e rebatidos por uma superfície densa, como é o caso do Subsurface Scattering, este tem como característica absorver e rebater os raios de forma desordenada, dessa forma, acabando por iluminar o material internamente como no caso de diversos materiais como pele, mármore, leite, mel entre muitos outros. Tal fenômeno por ter uma composição complexa se torna difícil de ser simulado em um software tridimensional. (JENSEN; MARSCHNER; LEVOY; HANRAHAN, 2001)

Figura 15 – Specular, Diffuse, Refraction e Subsurface Scattering



Fonte: Autor do presente estudo, 2015.

Na figura 15, é demonstrada a diferença entre o reflexo specular, o reflexo diffuse, a Refração e o Subsurface Scattering na primeira imagem é possível visualizar o reflexo da luz e do ambiente com o HDRI, já na segunda imagem temos um reflexo difuso onde é visível apenas a região mais clara formada pela incidência de luz, já na terceira imagem, temos um exemplo de refração, nesta fica visível a deformação dos objetos atrás do material, e na quarta e última imagem temos um exemplo e Subsurface Scattering onde é visível que em partes menos densas os o efeito criado quando os Photons de luz conseguem atravessar o material.

Em um software tridimensional existem algumas luzes mais comuns, estas de uma forma geral, funcionam da mesma maneira indiferentemente do software utilizado. As luzes vão desde pontos luminosos, áreas, spots a simulação do sol. Cada uma delas tem um comportamento e um tempo de render distinto, assim, o profissional é obrigado a analisar tais luzes e avaliar se a qualidade adquirida vale o tempo gasto ou estudar formas mais otimizadas que consigam alcançar o mesmo resultado. (BIRN, 2006)

Figura 16 - Iluminação



Fonte: FYFFE; WILSON; DEBEVEC, 2012

A luz é de extrema importância para caracterizar a cena, muito utilizada no cinema ela tem o poder de tornar uma cena dramática, engraçada, quente, fria, conseguindo manipular o

foco da atenção do espectador, como é possível visualizar no estudo realizado na figura 16. Na computação gráfica a manipulação das luzes pode ser chamada de modelagem com luz, pois com elas o profissional consegue definir e evidenciar as formas dos objetos na cena. Para não causarem um estranhamento ao observador elas devem ter características realistas sendo a imagem realista ou desenho, para assim de certa forma convencer o espectador. (BIRN, 2006)

Ao final de tal subcapítulo é possível compreender a forma com que os Photons de luz se comportam ao encontrar uma determinada superfície, alguns conceitos a respeito de iluminação no ambiente tridimensional e a importância da iluminação na caracterização da cena, dessa forma, é possível passar para o entendimento de que forma tais comportamentos são recriados dentro de um software tridimensional conhecendo assim, a parte mais técnica do 3D.

2.5 RENDER

No cenário da ilustração a interpretação de desenhos rápidos é comumente realizada entre os ilustradores, conseguindo abstrair simples riscos a uma forma tridimensional, porém grande parte das pessoas que não trabalham diretamente com tais conceitos podem encontrar uma certa dificuldade em compreender simples desenhos, conseguindo apenas visualizar objetos com características mais próximas das encontradas no mundo real como reflexos, sombras e luzes. Com o intuito de facilitar a compreensão de tais ilustrações os profissionais realizam o render, que é definido como a aplicação de características realistas a uma ilustração ou imagem computadorizada. (ROBERTSON; BERTLING, 2014)

Desde os primórdios da computação gráfica o fotorrealismo sempre foi o maior sonho dos engenheiros de software. Os algoritmos e cálculos utilizados para realizar a imagem tem o nome de render. Do ponto de vista computacional é considerado o processo mais complexo de um software tridimensional. Este pode ser comparado, de forma metafórica, ao processo que o fotógrafo tem de revelar a foto, dessa forma, o profissional de computação gráfica “revela” a imagem. O render é encarregado de transformar os objetos, luzes, entre outros em uma única imagem 2D. (SLICK, 2014)

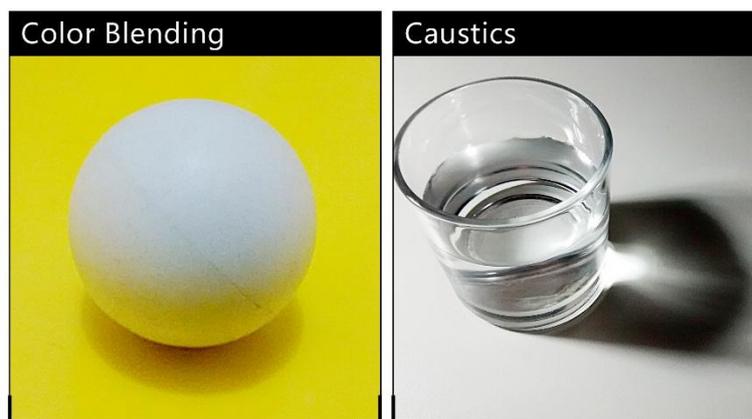
Dentre os renders tradicionais em CG é possível encontrar duas principais categorias; o render em tempo real, que é utilizado em jogos e gráficos interativos, onde a velocidade de processamento deve ser elevada, este tem algumas características como interatividade, pois o usuário pode se movimentar livremente entre os ambientes, dessa forma o processamento deve ser de no mínimo de 18 a 20 frames por segundo, para que os movimentos se tornem fluidos é

etc, então, é rebatido um segundo raio, chamado Shadow Rays (L) em direção a fonte de luz, também é enviado um raio de reflexo (R) no caso de uma superfície reflexiva, se o objeto possui refração é enviado outro raio chamado de Refraction Ray ou Transmitted Ray (T) e assim sucessivamente até definir a coloração do pixel. (FUSSELL, 2010)

Com o aumento da utilização do *Ray-tracing* algumas considerações a respeito do seu desempenho foram constatadas quando comparadas ao ambiente real. A primeira foi a falta de interação entre o rebatimento das luzes. Quando observamos os objetos ao nosso redor é possível perceber que mesmo sem terem a luz apontada diretamente ele pode se encontrar iluminado. Tal fenômeno ocorre pois a luz emite diversos raios, estes ao encontrarem uma superfície podem rebatê-lo ou absorvê-lo, assim criando um novo raio originado do reflexo, dessa forma, podem iluminar outros objetos, neste processo acabam por influenciar na coloração dos objetos, por isso chamado de Color Blending. (JENSEN, 2007)

Outra característica que o *Ray-tracing* não tinha capacidade de reproduzir era o surgimento do fenômeno chamado *Caustics*. Este consiste em desenhos de luz criados após o Photon de luz atravessar uma superfície com refração. Tal efeito no software 3D depende em muito da trajetória do raio e de um grande poder de processamento para simular de forma convincente o fenômeno. Na figura 18 é possível visualizar no ambiente real efeitos do Color Blending e *Caustics*. (STEEN, 2007)

Figura 18 – Color Blending e Caustics



Fonte: Autor do presente estudo, 2015.

Na primeira imagem da figura 18 temos o exemplo real dos rebatimentos dos Photons de luz influenciando na coloração de objetos, é visível que a esfera branca recebe uma interação de amarelo em sua superfície inferior. Já na figura da direita temos o fenômeno de *Caustics* presente quando a luz atravessa a superfície do copo e da água criando efeitos de luz na mesa.

Para conseguir recriar tais efeitos de iluminação podemos destacar dois métodos de render que atuam dentro do algoritmo do Ray-tracing, o Photon Mapping, utilizado por diversos softwares por conseguir otimizar o tempo de render e o Path tracing, considerado fisicamente correto, dessa forma, é possível produzir imagens com uma qualidade mais próxima do realismo, porém necessita de um maior tempo para o render.

O método de Photon Mapping foi publicado inicialmente em 1995 com a promessa de conseguir reproduzir principalmente o fenômeno de Caustics e Color Blending. Uma das soluções criadas foi chamada de Global Illumination, esta funciona da seguinte maneira. Os Photons de luz emitidos pelo ponto luminoso quando encontram com uma superfície Diffuse são capturados em um Photon Mapping, se os raios encontram uma superfície Specular eles são rebatidos até encontrarem uma superfície difusa. Tais raios capturados são emitidos com base em uma distância pré-determinada, criando dessa forma uma segunda iluminação. Um benefício deste método é a otimização de tempo de render por possuir um número de rebatimentos pré-estabelecido. (JENSEN, 2007)

Figura 19 – Global Illumination



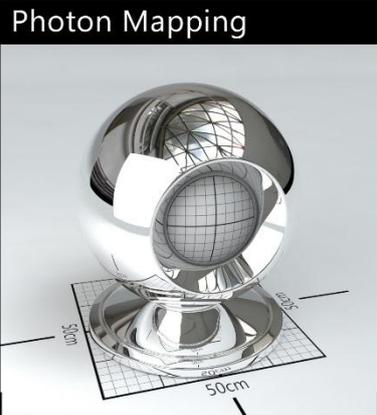
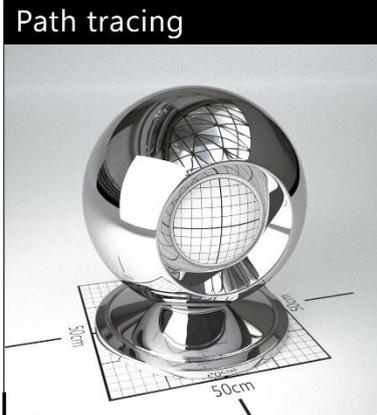
Fonte: Autor do presente estudo, 2015.

Conforme a figura 19 é possível perceber a variação na iluminação quando a função Global Illumination é ativada, é visível a interação do chão vermelho no modelo de testes. Também é possível analisar a variação de tempo para realizar o render inicial, tendo um aumento de 8 vezes, isto se dá pois os raios da luz rebatem diversas vezes nos objetos da cena, este fenômeno torna o render mais lento e tende a se torna mais complexo em cenas internas

com muitos objetos. Nestas mesmas informações é visível um valor denominado Samples de luz, este está diretamente ligado a qualidade da iluminação, um valor mais elevado adiciona mais “raios” para a luz diminuindo a quantidade de ruído na imagem, para os experimentos foi utilizado um valor de 64 considerado padrão do software.

O outro método denominado Path tracing diferentemente do Photon Mapping não possui Global Illumination pois para cada pixel é enviado um raio que rebate nas superfícies até encontrar a fonte de iluminação, definindo assim a cor do pixel, porém, muitas vezes o tempo necessário para encontrar tal ponto é infinitamente longo, assim o tempo de render é definido inicialmente. Por exemplo, se for definido que o render pode demorar 5 minutos o raio de luz que não encontrar a fonte de luz em 5 minutos apresentara um ponto escuro, dessa forma o render acaba por apresentar ruído. (JENSEN, 2007)

Figura 20 – Photon Mapping vs Path tracing

Photon Mapping	Path tracing																
																	
<p>Cena Aberta</p> <table> <tr> <td>tempo</td> <td>1m57s</td> </tr> <tr> <td>Tamanho da imagem</td> <td>1000px</td> </tr> <tr> <td>samples de luz</td> <td>64</td> </tr> <tr> <td>iluminação</td> <td>Area-light + HDRI</td> </tr> </table>	tempo	1m57s	Tamanho da imagem	1000px	samples de luz	64	iluminação	Area-light + HDRI	<p>Cena Aberta</p> <table> <tr> <td>tempo</td> <td>1h20m</td> </tr> <tr> <td>Tamanho da imagem</td> <td>1000px</td> </tr> <tr> <td>Nível de Samples</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>iluminação</td> <td>Area-light + HDRI</td> </tr> </table>	tempo	1h20m	Tamanho da imagem	1000px	Nível de Samples	12	iluminação	Area-light + HDRI
tempo	1m57s																
Tamanho da imagem	1000px																
samples de luz	64																
iluminação	Area-light + HDRI																
tempo	1h20m																
Tamanho da imagem	1000px																
Nível de Samples	12																
iluminação	Area-light + HDRI																

Fonte: Autor do presente estudo, 2015.

Tal processo por utilizar um raio para cada pixel é considerado fisicamente correto, resultando em um render com características realistas em comparação com os demais. Outro ponto positivo deste processo é que ao contrário do Photon Mapping é possível adicionar efeitos de câmera como profundidade de campo sem acrescentar muito mais tempo de render. Quando se trata a respeito de configurações de render é muito mais simples sem tantas variáveis. (JENSEN, 2007) Na figura 20 é exemplificado os dois métodos com exatamente o mesmo modelo e iluminação, porém o processo de Path Tracing para remover o ruído da imagem levou uma hora e vinte minutos enquanto o Photon Mapping levou quase dois minutos.

Também é possível visualizar que o Samples de luz no exemplo do Photon Mapping é de 64, porém no Path Tracing, não é possível realizar tal ajuste, sendo configurado apenas os Samples da cena, denominado como Nível de Samples, este, configurado em 12 como padrão do software.

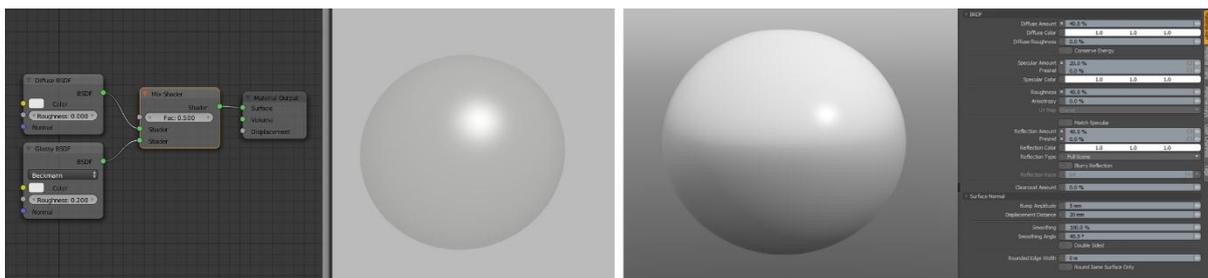
Ao final de tal capítulo foi possível compreender o funcionamento básico do software tridimensional, de que forma são realizados os modelos, os princípios básicos de texturização, os princípios de luz e iluminação e por fim de que forma o software realiza a simulação de tais elementos, dividindo-se em dois processos de render distintos. Com tal conteúdo é possível adentrar no universo dos materiais, estes têm o intuito de simular de forma tridimensional os fenômenos provocados pelos Photons de luz, dessa forma o seguinte capítulo detalha os Shaders encontrados nos dois métodos de render.

3 MATERIAIS

Os materiais são encarregados de adicionar atributos de visualização aos objetos modelados, podendo ser desde uma simples cor até efeitos como transparência e reflexos, que em conjunto com texturas agregam características fisicamente realistas aos objetos. (BRITO, 2011) Os materiais que visualizamos no mundo real possuem um nível de complexidade bem elevado para serem simulados em um ambiente computacional. O autor Jeremy Birn (2006) propõe observar os materiais ao nosso redor. É possível constatar que nenhum possui apenas uma característica, como ser completamente reflexivo ou difuso. (BIRN, 2006)

Para alcançar tal nível de realismo, os materiais são formados por um conjunto de shaders, que de uma maneira geral é a forma com que o objeto vai se comportar ao estímulo de luz, além de tais shaders é possível criar matérias e sobrepô-los em camadas utilizando modos de sobreposição para, dessa forma, recriar matérias mais complexos. (BIRN, 2006) É possível encontrar diversas formas de visualizar os parâmetros dos materiais, alguns mais convencionais e outros mais alternativos. Podemos destacar duas vertentes opostas em termos de visualização. Na primeira imagem da figura 21 temos um processo de visualização de materiais se utilizando de Nodes, que são uma espécie de módulos com os quais o usuário conecta uns aos outros para formar o material, à primeira vista pode parecer um método complexo, porém, com ele é possível visualizar de forma mais organizada o material e sua composição. Este exemplo foi obtido no software Blender.

Figura 21- Comparação de Nodes vs Lista



Fonte: Autor do presente trabalho, a partir dos softwares Blender e Modo, 2014.

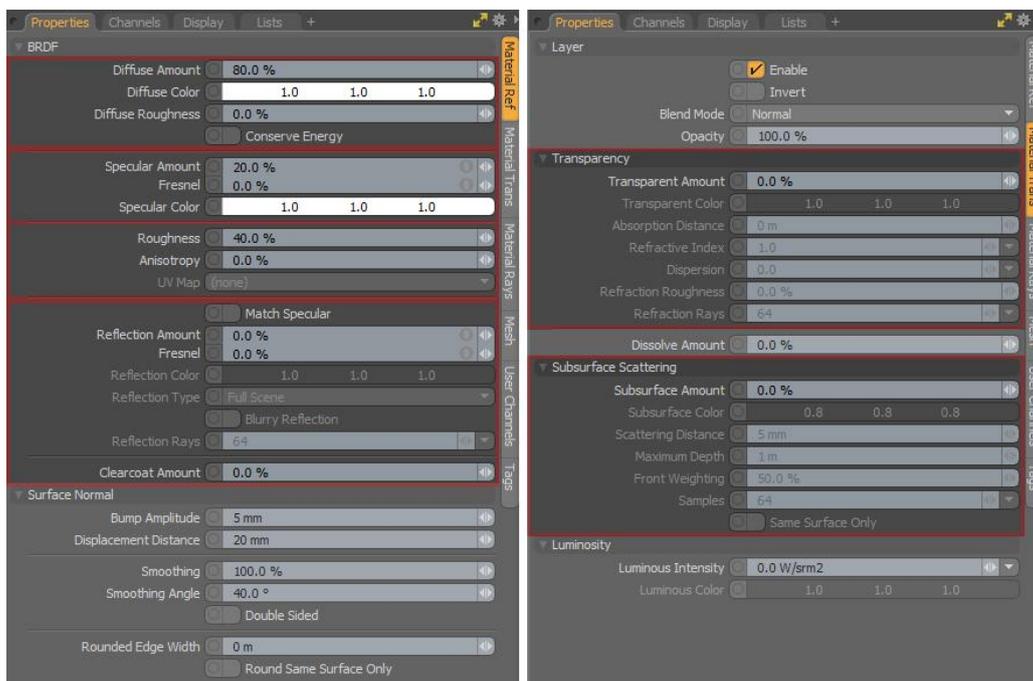
Na imagem da direita da figura 20 temos uma representação do método convencional de visualização, onde os shaders são inseridos um abaixo do outro com seus respectivos valores, no caso do exemplo, porcentagens de shaders que juntos formam o material. Assim o usuário consegue compor os materiais adicionando ou removendo características, como cor, intensidade, e mesclando os shaders para criar um material mais complexo. Tal imagem foi obtida no software Modo.

Com o intuito de tornar o estudo mais abrangente serão utilizados dois softwares distintos. Estes contarão com uma explicação de seus parâmetros e o comportamento dos shaders respectivamente do Modo e do Maxwell, o primeiro por ser popular no mercado e se utilizar do método Irradiance Caching que é uma variação do método Photon Mapping e o segundo por possuir um render fisicamente correto se utilizando do método Metropolis Light Transport, uma variação de Path tracing. Dessa forma será possível comparar e compreender dois processos utilizados no mercado.

3.1 MODO

Para definir os shaders do software Modo a principal fonte de informação utilizada foi o próprio manual do usuário, este pode ser encontrado no site da The Foundry, contando com uma ótima organização e exemplos coerentes, tornando o processo de aprendizagem simples e funcional e de forma a complementar tais exemplos o autor utilizado é o Jeremy Birn (2006). Ao visualizar as propriedades dos materiais do Modo a primeira tela encontrada é a da direita, chamada de Material Ref, nesta, são listados os controles dos shaders Diffuse, Specular e Reflection. A segunda aba encontrada logo abaixo é responsável por administrar as propriedades de materiais que possuam transparência e Subsurface Scattering, na figura 22 é representada na imagem da direita.

Figura 22- Parâmetros do Modo



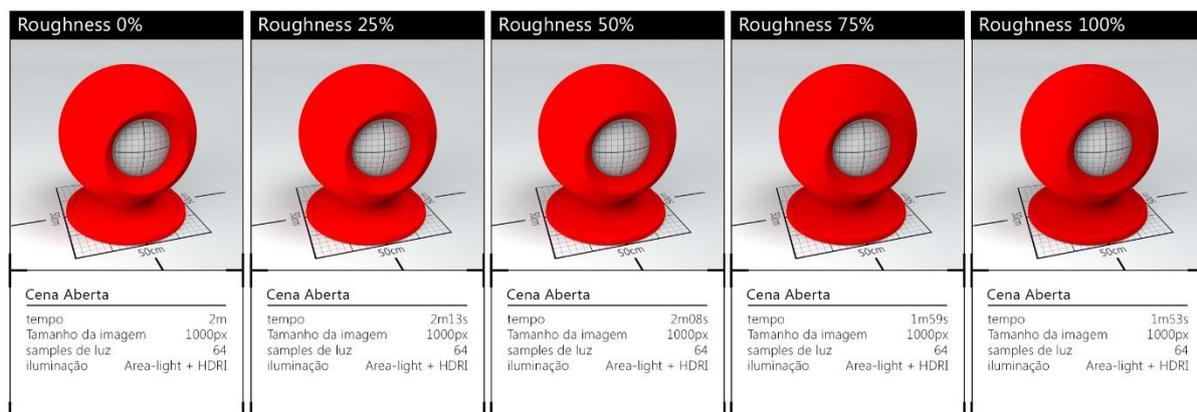
Fonte: Autor do presente trabalho, adaptado do software Modo, 2015.

Como é possível observar na figura 22 a quantidade de configurações para cada shaders é bem elevada, podendo configurar de forma precisa diversos parâmetros, dessa forma, é necessário o entendimento de tais configurações para conseguir utilizar de forma correta e otimizada cada parâmetro. Com tal premissa o estudo da início a descrição de cada parâmetro junto com exemplos para tornar o conteúdo mais didático, tais exemplos contam com algumas informações relevantes como intuito de fazer com que o leitor compreenda de que forma um determinado parâmetro pode influenciar no tempo de render por exemplo.

3.1.1 DIFFUSE

O primeiro shader encontrado na aba do material é o Diffuse, este dentro do Modo não possui muitas variáveis. Como é possível observar pelo próprio nome seu comportamento tem como principal característica dispersar os raios de luz, dessa forma, é visível na superfície apenas a claridade proveniente da iluminação, esta pode ter sua intensidade controlada pelo parâmetro Diffuse Roughness, criando um material mais fosco.

Figura 23- Diffuse Roughness



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Conforme é visível no exemplo da figura 23 a variação no roughness à primeira vista não produz uma variação significativa no efeito da luz. Para visualizar a variação seria necessário sobrepor as imagens em uma tela de computador. A cor de tal shader é inserida utilizando o padrão RGB, porem é possível se utilizar outros padrões. Por ser a camada mais difusa do material ela é responsável pela principal coloração do objeto. A intensidade de tal shader é controlada no parâmetro Diffuse Amount, dessa forma quando se utiliza uma iluminação branca e tal parâmetro em 100% é possível visualizar a cor de forma integral. Para tal exemplo foi usado uma cor puramente vermelha e com intensidade de 100%.

Para compor o material são adicionadas porcentagens de vários shaders, para dessa forma recriar o aspecto desejado. Dentro do Diffuse é possível encontrar um botão chamado Conserve Energy, este quando acionado faz com que os valores de cada shader sejam mantidos dentro de uma escala considerada fisicamente correta, com base em um cálculo que equilibra as quantidades de cada shader com o intuito de estabelecer um valor de 100% na soma geral.

3.1.2 SPECULAR

Dentro de muitos softwares tridimensional como no caso do Modo, a nomenclatura Specular tem diferença quando comparada ao termo utilizado pelos estudos de luz. Enquanto no mundo real o termo Specular representa uma superfície como um espelho, no software Modo ele representa apenas o ponto de incidência da luz, por tal motivo ele é considerado um dos maiores clichês da computação gráfica, quando utilizado de forma incorreta faz com que muitos materiais tenham uma aparência falsa. É possível destacar que em praticamente todos os materiais do mundo real são encontrados traços de Specular. (BIRN, 2006)

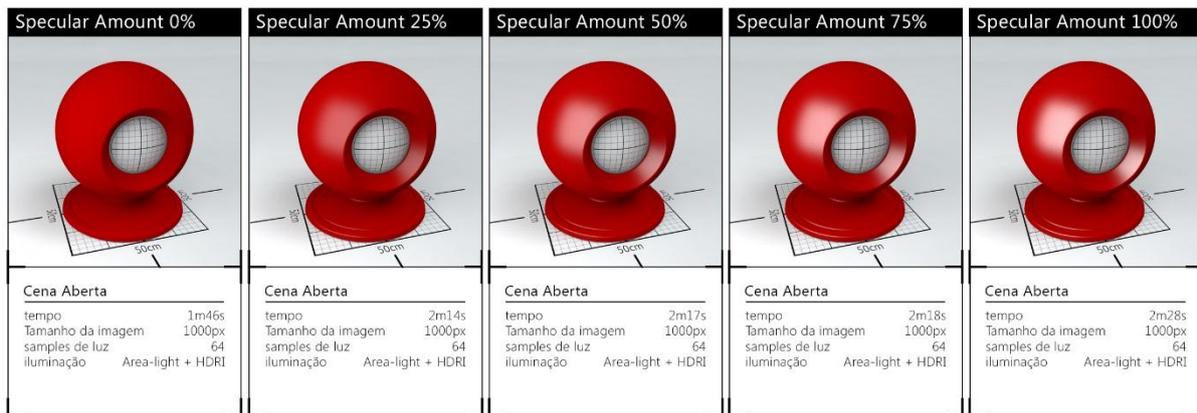
Figura 24- Exemplo de Specular



Fonte: BIRN, 2006, p252.

O shader como os demais tem sua intensidade controlada em forma de porcentagens, porém, ao contrário do Diffuse que possui poucos parâmetros no Specular é possível encontrar diversas variações. A primeira é o Specular Amount, responsável pela quantidade de luz que vai refletir sobre a superfície. Esta deve ser controlada de forma a se ajustar ao tamanho da fonte de iluminação, conforme é visível no exemplo da figura 24 do autor Birn (2006) onde o Specular é definido de forma proporcional à fonte de luz. (BIRN, 2006)

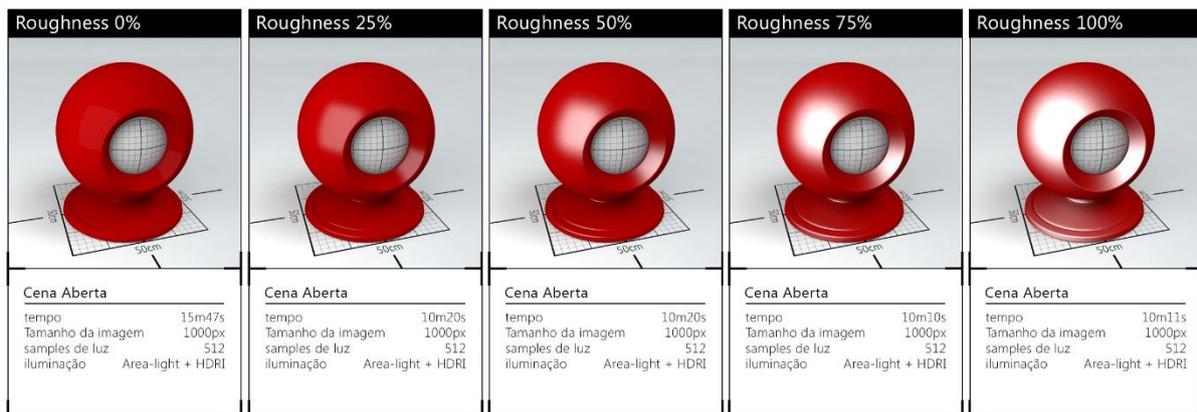
Figura 25- Specular Amount



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Além de sua intensidade, é possível controlar a cor visualizada no ponto de incidência de luz, no caso do exemplo, foi utilizada a cor branca, por ser a cor geralmente utilizada nas luzes, tal coloração é alterada somente para reproduzir alguns tipos de materiais como no caso de alguns metais tendo uma coloração mais clara que seu tom difuso, um bom exemplo é o cobre. (BIRN, 2006) Em seguida temos um parâmetro chamado de Roughness, este se refere ao material por completo e interfere diretamente no comportamento do Specular, é possível comparar tal variável com a quantidade de imperfeições do material que causam o rebatimento difuso dos Photons de luz. Para ser realizado tal estudo foi necessário aumentar o número de Photons de Luz de 64 (padrão) para 512 para dessa forma tornar o fenômeno mais evidente, porem para isso o tempo de render do estudo teve um aumento considerável.

Figura 26- Roughness



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Na figura 26 temos o exemplo da variação do Roughness, podendo observar que quando o valor é baixo o formato da luz fica mais evidente. Tal fenômeno não é possível ser encontrado no mundo real, pois para ser visível o formato da lâmpada o material também estaria refletindo outros elementos em sua superfície, dessa forma é necessário a compreensão do usuário quando

utilizar tais parâmetros para não criar um efeito fisicamente incorreto. (BIRN, 2006) Outro parâmetro encontrado é o de *Anisotropy* que consiste na distorção do reflexo da luz com base em minúsculos arranhões, tal parâmetro é geralmente controlado por uma textura que define a direção de tais marcas.

3.1.3 REFLECTION

O shader Reflection tem como principal característica controlar os reflexos incidentes no modelo, assim como em um ambiente real o fenômeno de luz Specular faria. O primeiro parâmetro encontrado assim como os demais shaders, é o Reflection Amount, que tem o intuito de definir a quantidade de reflexos que serão adicionados ao material. Na figura 27 é visível o surgimento gradativo da luz e HDRI utilizados na iluminação, até chegar a um ponto semelhante a um espelho, é possível observar que a cor predominante do objeto vai sendo substituída pelos reflexos. Para recriar um material com características físicas precisas, a soma entre a porcentagem de Diffuse e Reflection deve ser de exatos 100%.

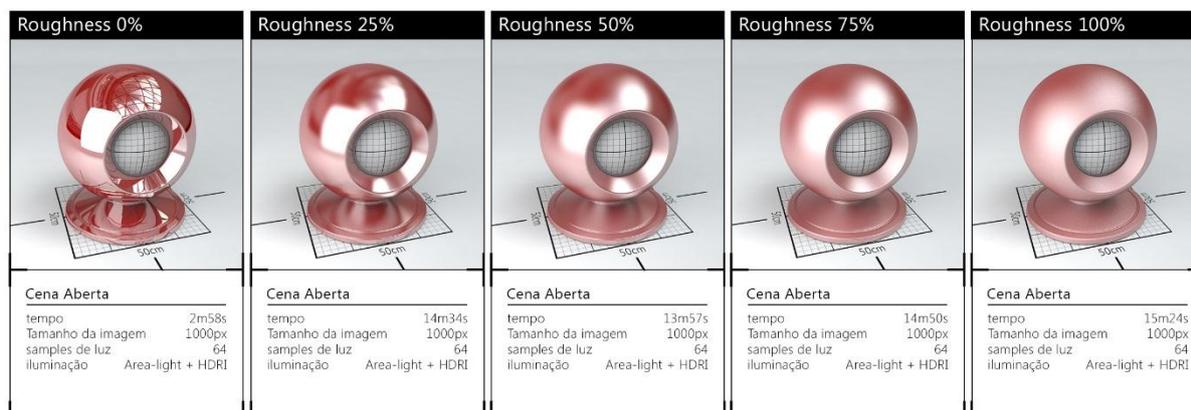
Figura 27 – Reflection Amount



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Da mesma forma com que o parâmetro de Roughness influencia no formato do Specular, quando utilizada a função Blurry Reflection é possível notar que o reflexo se torna mais fosco seguindo o aumento do Roughness, este consegue simular a presença de diversas fissuras e imperfeições, assim como seria em um ambiente real. Por demandar um maior poder de processamento tal parâmetro possui um valor de raios de luz própria denominada Reflection Rays, neste é inicialmente utiliza o valor 64 samples, quanto usado um valor superior apresenta uma qualidade elevada, porém, o tempo destinado ao processo de render se torna maior. Para tal exercício foi utilizado um valor de 256 samples em Reflection Rays.

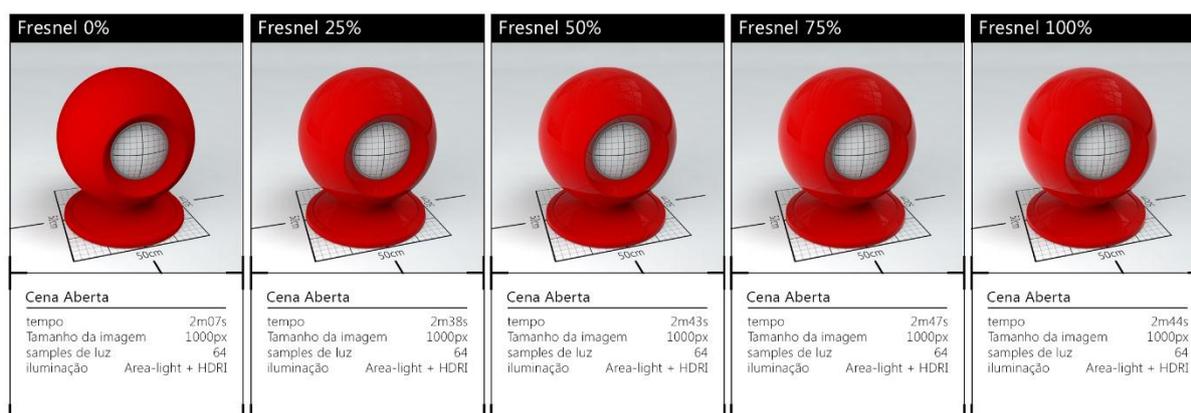
Figura 28 – Reflection Roughness



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Situado abaixo de Reflection Amount é encontrada uma configuração chamada de Fresnel. Este em homenagem ao francês Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), que realizou diversos estudos a respeito do comportamento das luzes. Constatando que o reflexo é relativo ao ângulo de visão do espectador, podendo ter variações em sua intensidade. Este parâmetro é muito visível quando observado a pintura de um veículo ou até mesmo em uma piscina, onde visto de um ângulo mais perpendicular é possível observar o fundo, porém, de um ângulo menor é visível apenas o seu reflexo, tal exemplo pode ser visualizado na figura 29 onde nas extremidades do modelo é possível visualizar reflexos, enquanto em um ângulo de 90° em relação da câmera tais reflexos não são evidentes. (BIRN, 2006)

Figura 29 – Reflection Fresnel

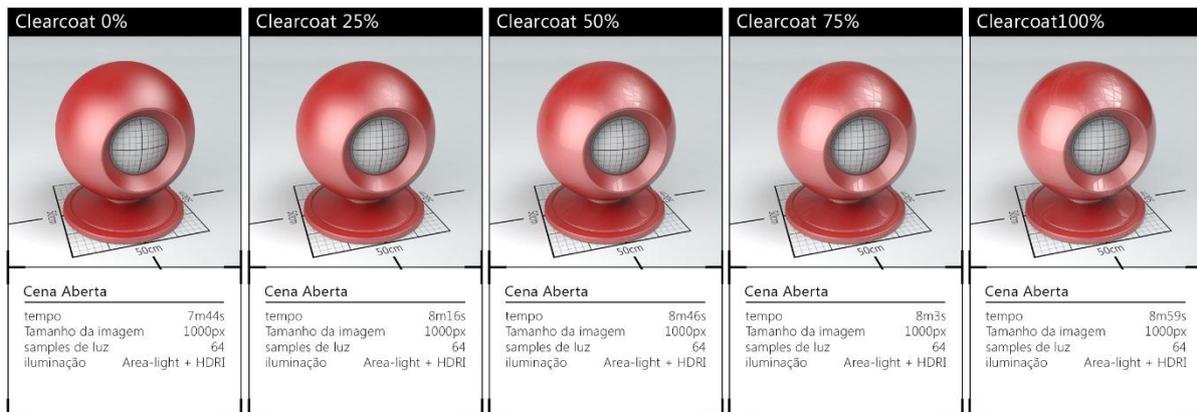


Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Também se utilizando desta mesma característica temos o chamado Clearcoat, Tal parâmetro é equivalente a uma fina camada de verniz, esta é muito utilizado para simular a

pintura de veículos. Criando um efeito de superfície polida. Para o exemplo foi utilizado um nível de reflexão de 20% e a função Blurry Reflection ativada com o Roughness em 75%.

Figura 30 – Clearcoat



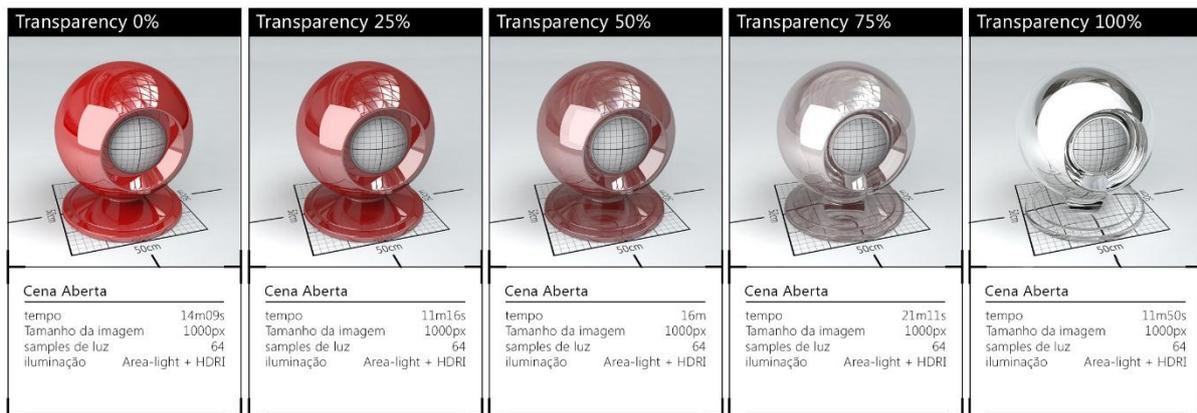
Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Na figura 30 é possível notar que o surgimento do Clearcoat se deu de forma a manter o reflexo inferior, porém sobrepondo com uma nova camada, formando assim, um material mais complexo e realista. Outra opção que pode ser utilizada, assim como no shader Specular, é variar a coloração do reflexo, este inicialmente é definido como branco, dessa forma os reflexos contidos no modelo serão visíveis de forma pura, com a própria coloração, como no caso de um espelho.

3.1.4 TRANSPARENCY

Localizado em uma aba separada dos demais shaders é possível encontrar o parâmetro Transparency, este é o responsável por controlar todas as configurações referentes a Refração do material. A primeira variável que é possível encontrar é o Transparent Amount, este controla a quantidade de transparência, partindo de um material opaco para um completamente transparente, é possível observar na figura 31 que a cor predominante inserida no shader Diffuse perde sua intensidade a medida que o Transparent Amount é aumentado, assim como no caso do Reflection, o valor de Diffuse e de Transparency deve alcançar a soma de 100%.

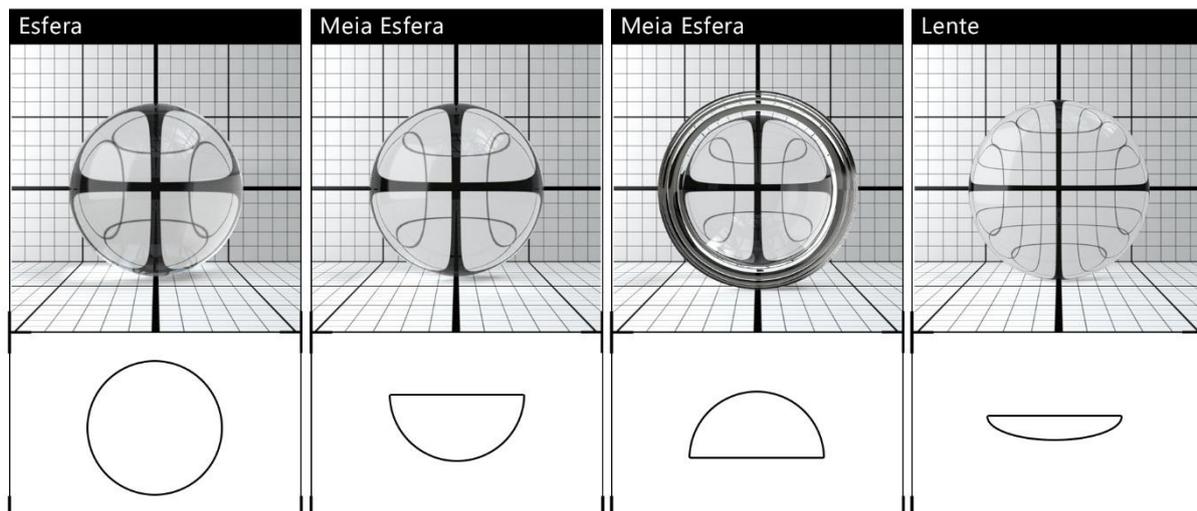
Figura 31 – Transparent Amount.

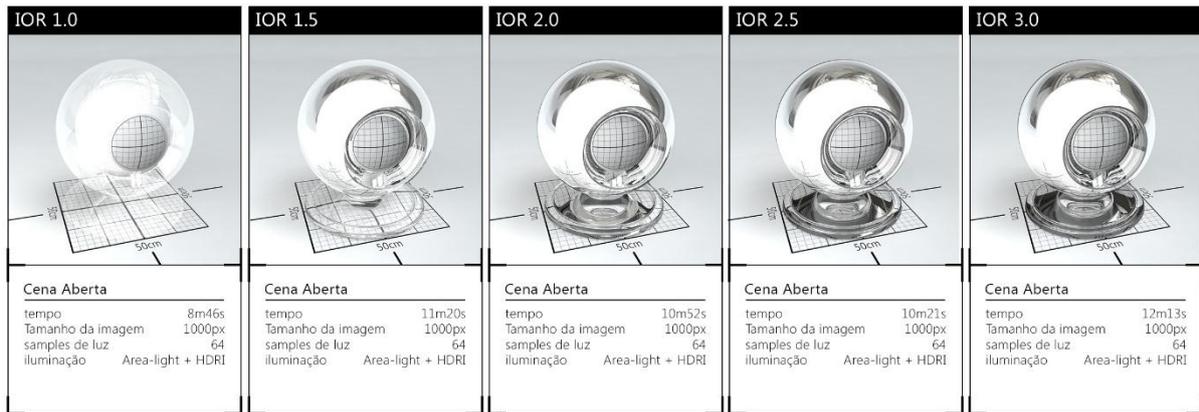


Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

No exercício simulado na figura 32 é possível visualizar a importância da geometria no comportamento de materiais que possuem o efeito de refração. É evidente dessa forma, o funcionamento no mundo real de lentes de aumento feitas de vidro, fazendo com que objetos situados atrás sejam visualizados de forma distorcida. Em paralelo com tal característica é exemplificado o Índice de Refração ou como pode ser abreviado IOR, este é o valor que define a velocidade que o Photon de luz passara pela sua superfície, tal velocidade tem o poder de criar uma curvatura em sua trajetória, dessa forma, criando a distorção, quanto maior tal valor mais distorcida será a imagem.

Figura 32 – Distorção do Vidro.

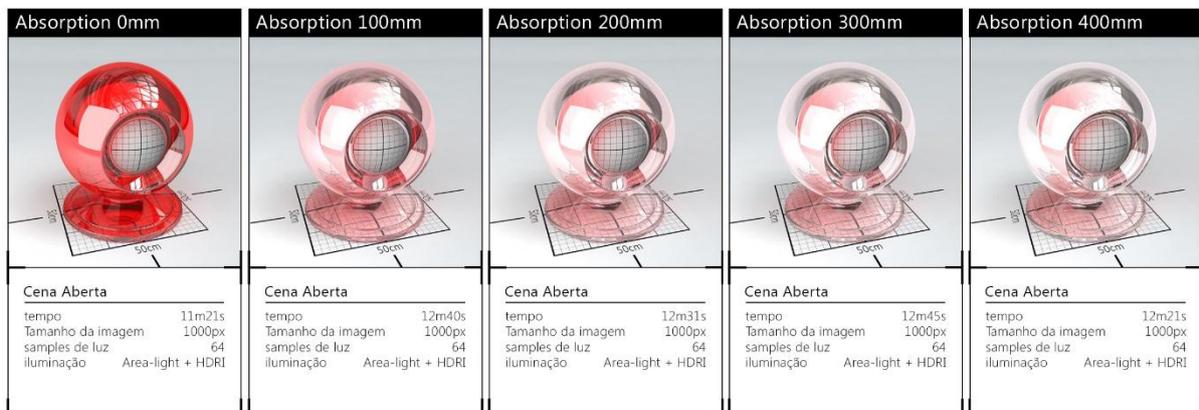




Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Conforme é visível na figura 32, é possível comparar a variação da geometria e de que forma ela influencia no comportamento do material. No conjunto de imagens abaixo são apresentadas as variações do índice de refração. No caso, passando de 1.0 até 3.0. Tal valor é inicialmente definido com base em uma tabela de índices de refração, no Modo é possível encontrar IOR's pré-estabelecidos, estes têm o intuito de simular de forma realista a trajetória do Photon de luz de diversos tipos de refração, como por exemplo: Água (1.33), Vidro (1.575) e Diamante (2.42).

Figura 33 – Transparent Color e Absorption Distance.

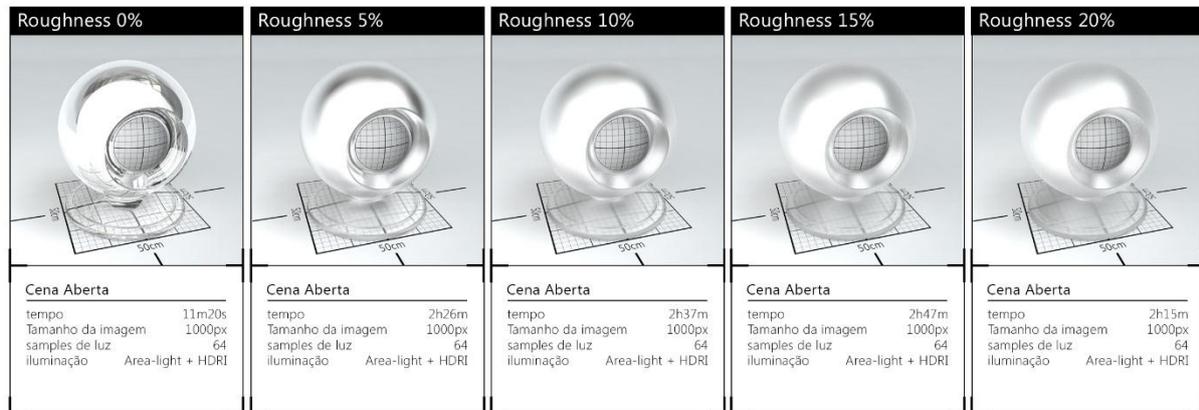


Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Além de tais variáveis o usuário também pode realizar alterações na coloração do shader Transparency, possibilitando assim, criar efeitos diferenciados no material. No mundo real, são encontrados diversos exemplos de vidros que tenham em sua composição algum tipo de pigmentação, como por exemplo, vidro de carro, que possui um leve tom de esverdeado. Em conjunto com tal parâmetro é possível alterar a quantidade de cor visível dependendo da espessura do vidro, tal característica tem o nome de Absorption Distance, e é definida em uma escala métrica, para isso deve ser levada em consideração as dimensões de seu objeto. Na figura

33 é aparente a coloração avermelhada na primeira imagem, e a gradativa variação até ser visível apenas nas extremidades.

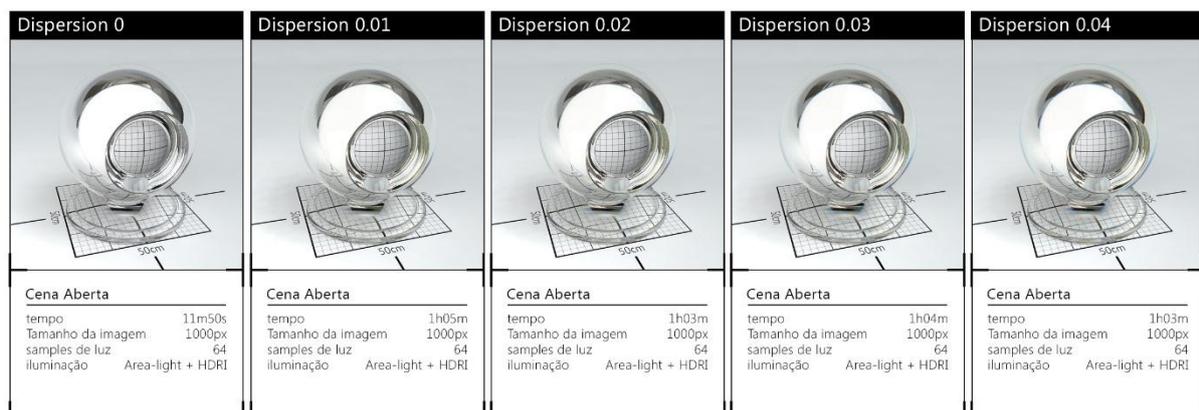
Figura 34 – Transparent Roughness.



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Da mesma forma com que tem-se como definir um valor de Roughness para o Reflection e o Specular, no shader Transparency é possível realizar tal variação, porém, este se dá de forma independente dos demais. Tal configuração é utilizada quando o intuito é recriar um material como vidro fosco, adicionando microscópicas fissuras e imperfeições a sua superfície. Na figura 34 temos um exemplo de tais valores aplicados ao modelo é possível notar o aumento do tempo destinado a render, chegando a quase três horas, também é possível verificar a definição das linhas do chão perdendo a forma enquanto o valor é aumentado.

Figura 35 – Dispersion.



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

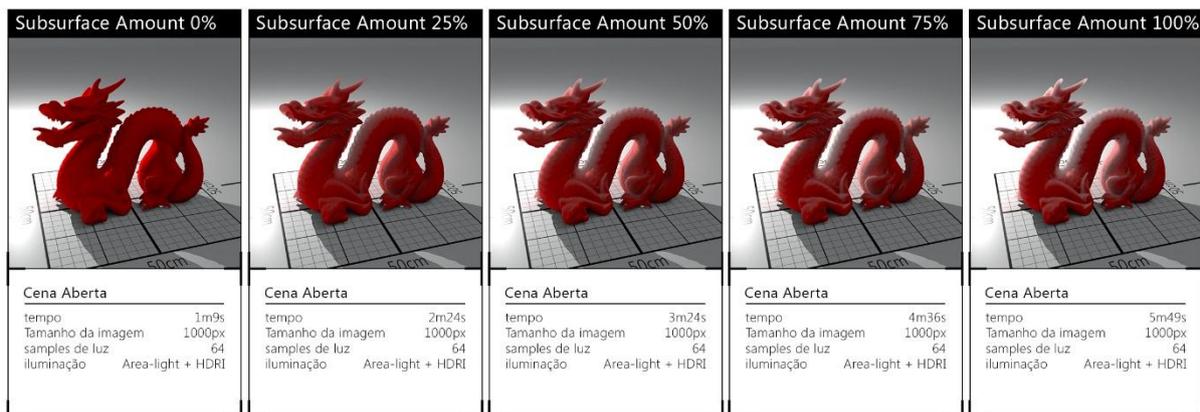
Por último em se tratando dos parâmetros do shader Transparency, temos o item Dispersion, este tem a função de simular as diferentes ondas de luz além da branca, criando dessa forma, um efeito de arco-íris causado pelos diferentes comprimentos de onda do Spectrum de luz, esta configuração também acaba por tornar o processo de render mais lento

passando de uma média de dez minutos, sem a função habilitada, para uma hora quando ativada, indiferentemente do valor utilizado, como apresentado na figura 35.

3.1.5 SUBSURFACE SCATTERING

Os Photons de luz além de serem refletidos podem atravessar a superfície do objeto sendo rebatidos internamente, formando assim materiais como mármore, cera, leite e um dos mais conhecido no ambiente tridimensional por sua complexidade, a pele. Tal efeito pode ser observado em regiões mais finas do corpo como orelhas, nariz e dedos. Este ganha o nome de Subsurface Scattering ou SSS. Para conseguir obter um comportamento mais natural para os experimentos de SSS foi utilizado outro modelo, um dragão. No exemplo da figura 36 temos o Subsurface Amount, este define a quantidade de SSS que será adicionado em conjunto com o Diffuse.

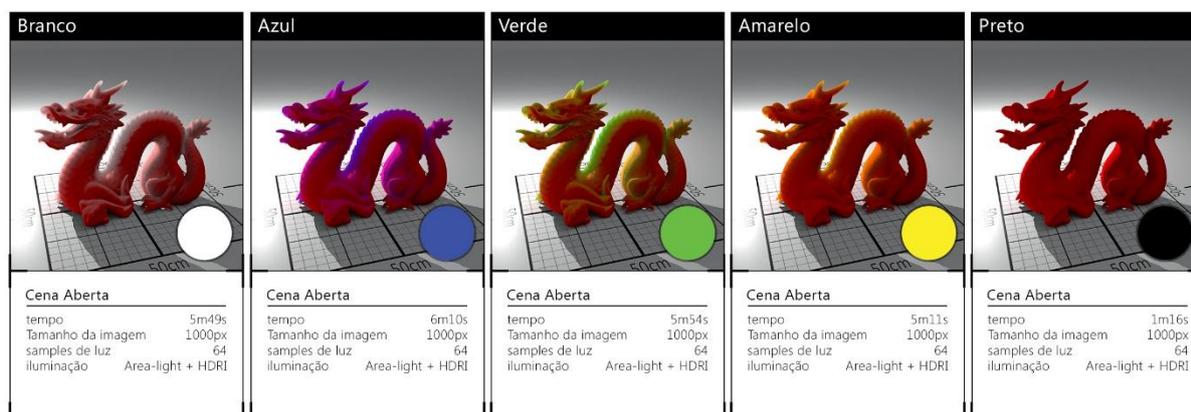
Figura 36 – Subsurface Amount.



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Na imagem 36 é possível observar o aumento do Subsurface Amount nas extremidades do modelo, tal efeito ocorre pois os Photons de luz conseguem penetrar em sua superfície difundindo parte de sua energia dentro do material, no caso a coloração rosada se dá pois a cor definida para o shader Subsurface Amount é branca, porem pode ser alterada conforme a necessidade do usuário, na figura 36 é possível observar tal variação de cor.

Figura 37 – Subsurface Color.

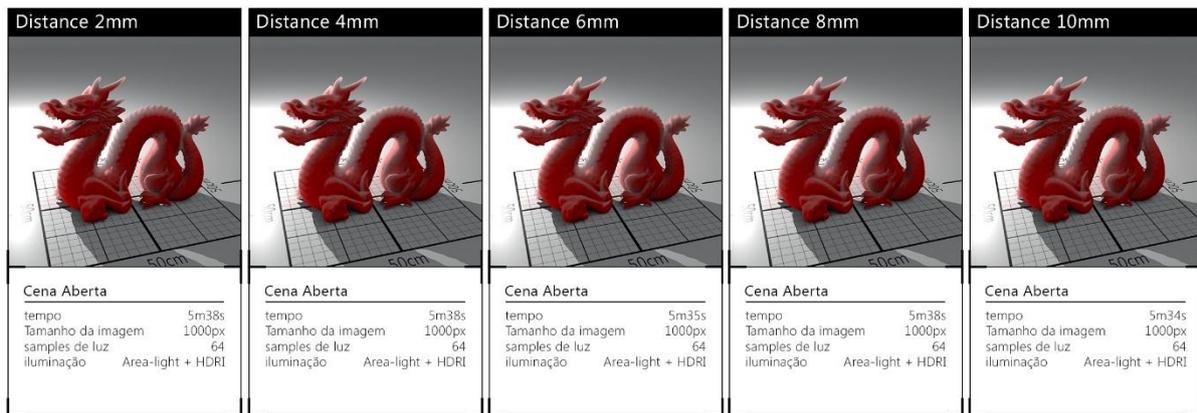


Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Na figura 37, temos o exemplo da coloração do Subsurface Scattering, nos círculos situados no canto inferior direito de cada imagem é possível observar a cor definida no software, com isso é evidente que a coloração do objeto não depende apenas da cor em si, mas também de diversos parâmetros como a intensidade da Luz. Também é possível observar que no momento em que a cor é definida como preto o shader perde suas características, anulando a porcentagem definida em Subsurface Amount.

Logo abaixo é encontrado o Scattering Distance, este como o nome sugere tem a finalidade de controlar a distância que o Photon de luz pode penetrar no material, na sequência é possível encontrar o parâmetro Maximum Depth este define o valor máximo que tal raio pode alcançar. Tal configuração pode ser utilizada para simular uma superfície interna, se utilizarmos o exemplo da pele tal parâmetro seria equivalente aos ossos. Na figura 37 foi utilizado um valor de dez milímetros para o Maximum Depth e para o Scattering Distance foi utilizado um valor passando de dois até dez milímetros, dessa forma é possível perceber o funcionamento das duas funções. Por serem funções que dependem de diversas variáveis para compreender tais parâmetros mais a fundo é necessário realizar testes para cada caso.

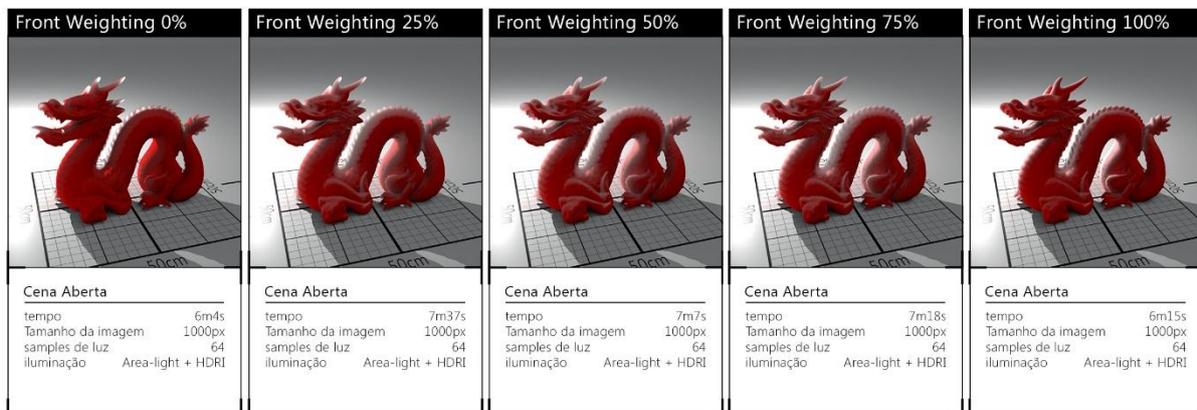
Figura 38 – Scattering Distance.



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

A configuração determinada como Front Weighting controla a quantidade de raios que retornara para fora da superfície ou que serão absorvidas pelo material, dessa forma um valor estabelecido em 50% determina de forma igual tais quantidades. Quando utilizado um valor inferior a 50% o modelo ganha uma aparência mais solida possuindo o efeito de SSS apenas nas bordas do modelo. Enquanto um valor superior a 50% faz com que os raios consigam tornar o objeto mais claro.

Figura 39 – Front Weighting.



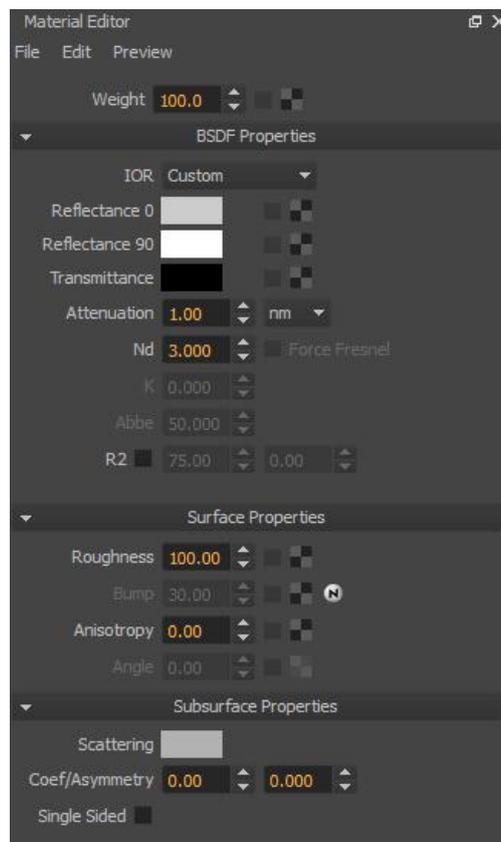
Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Na figura 39, é possível observar a variação na aparência geral do modelo conforme o valor é aumentado, tais parâmetros são mais evidentes em modelos com mais variações em sua densidade. Assim como outros shaders o SSS possui uma quantidade de Samples diretamente relacionada à qualidade do efeito, estes dependem do usuário observar se existe a necessidade de serem aumentados ou não, sempre levando em consideração que um valor mais elevado necessitara um maior período de tempo para ser concluído o render.

3.2 MAXWELL

Para demonstrar o funcionamento do método Path Tracing o renderizador definido foi o Maxwell, este se utiliza de um método distinto do Modo descrito anteriormente. Por utilizar um cálculo considerado fisicamente correto seus parâmetros possuem mais semelhança com a nomenclatura dos fenômenos de luz. Para auxiliar no desenvolvimento de tal capítulo a principal fonte de informação utilizada foi o material disponibilizado pela Next Limit Technologie, sendo possível encontrar tanto um manual online como uma versão em PDF.

Figura 40 – Parâmetros do Maxwell



Fonte: Autor do presente trabalho, adaptado do software Maxwell, 2015.

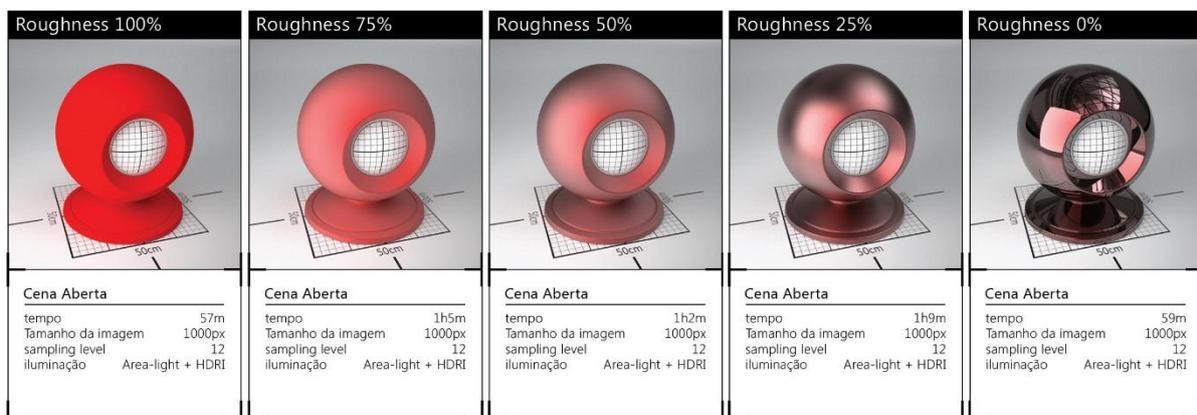
Assim como no Modo os shaders do Maxwell são divididos em seções, a primeira é denominada BSDF, Bidirectional Scattering Distribution Function, este representa um conjunto de algoritmos responsáveis por realizar os cálculos de rebatimento dos Photons de luz nas superfícies. Na segunda parte são encontrados parâmetros denominados Surface Properties e por último o Subsurface Properties, conforme visível na figura 40. É possível observar que ao contrário dos parâmetros encontrados no Modo a quantidade de configurações é menor e seguem um padrão mais próximo do comportamento real. Para tornar o estudo mais simples

para um usuário leigo a ordem da descrição dos parâmetros será alterada para desta forma conseguir descrever de forma progressiva o funcionamento.

3.2.1 SURFACE PROPERTIES

Dentro desta seção o primeiro parâmetro é denominado Roughness, este controla a quantidade de imperfeições encontradas no material, podendo ser comparado com os fenômenos de luz Specular e Diffuse, sendo um completamente reflexivo e o outro fosco. Diferentemente do Modo não é possível controlar o Specular como ponto de incidência de luz, dessa forma a intensidade com que a luz marca o material depende apenas do Roughness.

Figura 41 – Surface Roughness



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Na figura 41 é exemplificado a transição de uma aparência completamente difusa para uma completamente reflexiva. Abaixo de tal configuração é possível encontrar a opção de utilizar Bump, tal parâmetro se encontra próximo da configuração de Roughness, pois estes se assemelham, ambos têm como característica simular imperfeições nos objetos, enquanto o Roughness é capaz de simular de forma microscópica com o Bump é possível criar irregularidades com um tamanho elevado, se utilizando de uma textura.

Figura 42 – Anisotropy



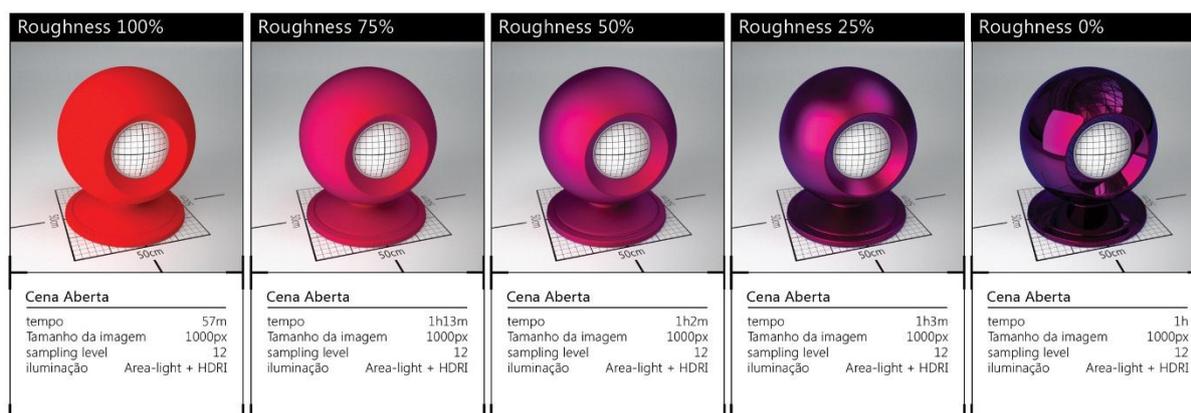
Fonte: Maxwell, 2015.

Na sequência é encontrado a configuração de Anisotropy, apresentada na figura 42, está se encarrega de definir a direção de fissuras, fazendo dessa forma, com que o comportamento da luz se altere, o exemplo utilizado no manual remete as ranhuras encontradas nas superfícies de um disco de vinil, dessa forma é possível recriar tais materiais. Para conseguir obter um maior controle e qualidade são utilizadas texturas com o intuito de definir a direção e forma de tais imperfeições, porém, também pode ser definido o valor em graus.

3.2.2 BIDIRECTIONAL SCATTERING DISTRIBUTION FUNCTION (BSDF)

Quando definido o funcionamento da seção Surface Properties é possível retroceder para a primeira parte dos materiais, tal ordem foi alterada, pois para alguns experimentos dentro da aba BSDF são utilizados parâmetros de Roughness, dessa forma o leitor já conhece tal parâmetro. As primeiras configurações encontradas são Reflectance 0 e Reflectance 90, tais parâmetros são definidos em forma de cor.

Figura 43 – Reflectance 0 e 90



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

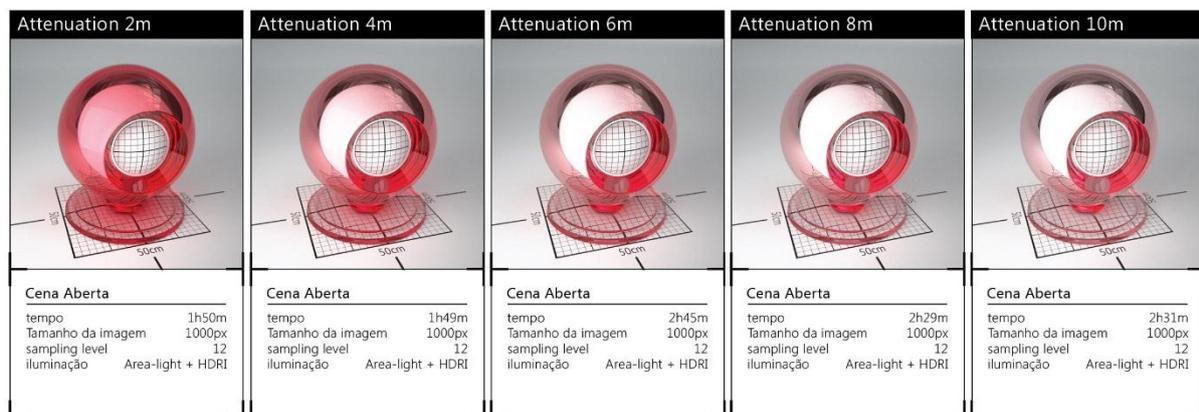
O Reflectance 0° é o responsável pela coloração do objeto quando visto a um ângulo 0° ou seja exatamente em frente a câmera, este é encarregado da cor principal do material, já o Reflectance 90° é responsável pelas cores a um ângulo de 90 graus em relação a câmera, dessa forma é possível criar materiais que possuam uma variação na coloração dependendo do ângulo de visão, como por exemplo seda ou veludo. No exemplo da figura 43 foi utilizada para o Reflectance 0° a coloração vermelha, e para o Reflectance 90° a coloração azul, é possível perceber que quando o valor de Roughness é reduzido o tom vermelho vai dando lugar ao azul, tal fenômeno ocorre pois a coloração principal é substituída por reflexos do ambiente.

Segundo o manual do usuário, deve ser considerado não utilizar cores muito brilhantes no parâmetro Reflectance 0°, pois quanto maior o valor, mais luz será refletida, no mundo real

é raro encontrar materiais com um valor tão elevado, na escala de 0 a 255 é aconselhado não passar de 225-235, no caso do exemplo, o valor de vermelho foi de 204. Também é citado que na grande parte dos materiais a coloração de Reflectance 90° é configurada em branco, com exceção de alguns metais, como o ouro.

O próximo parâmetro encontrado ainda se tratando de cor é o Transmittance, este envolve diversas outras configurações quando utilizado. Tal configuração é responsável pela coloração da transparência, inicialmente definido como preto, porém, quando tornado mais claro adiciona transparência ao material. Para criar um material semelhante ao vidro é necessário se ater a algumas configurações inicialmente, a primeira delas como citado acima é a coloração do Transmittance, além disso é necessário se utilizar um valor baixo de Roughnes entre 5-0, em seguida deve se controlar o parâmetro Attenuation e Nd.

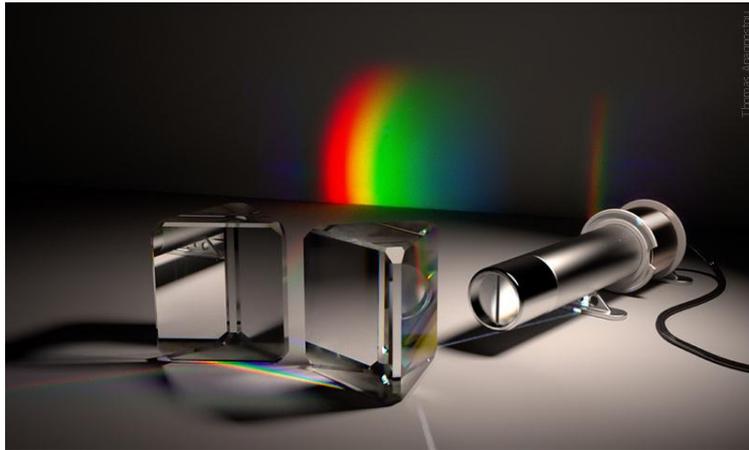
Figura 44 – Attenuation



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Conforme é visível no exemplo da figura 44 foi utilizada a coloração vermelha da mesma forma que os demais exemplos, porém quando alterado o valor do Attenuation tal coloração vai perdendo sua intensidade, este valor é definido em uma escala de distância determinando o quão longe um raio de luz pode se mover por uma superfície antes de perder metade de sua energia, dessa forma, quando se utilizar uma superfície de vidro com uma espessura de 2 cm e definido um valor de 2 cm para o Attenuation a intensidade visualizada no vidro será a metade de sua energia, porém, quando utilizado um valor mais elevado a coloração do vidro dá lugar a transparência, sendo apenas possível observar em locais onde o vidro se torna mais denso.

Figura 45 – Abbe



Fonte: Thomas Anagrostow, 2015.

No conjunto de configurações também é possível encontrar um parâmetro chamado Abbe, este tem tal nome em homenagem a Ernst Abbe que realizou estudos e definiu os valores utilizados para reproduzir tal efeito. Este tem como característica recriar o comportamento das diferentes ondas de luz ao passarem por um objeto com refração criando assim o mesmo efeito visualizado em um prisma, figura 45, tal efeito ocorre pois as ondas de luz são repartidas em determinados materiais criando assim o efeito das cores, para conseguir recriar tal efeito foi necessário utilizar um modelo diferenciado e uma iluminação com um foco mais definido.

Figura 46 – Nd

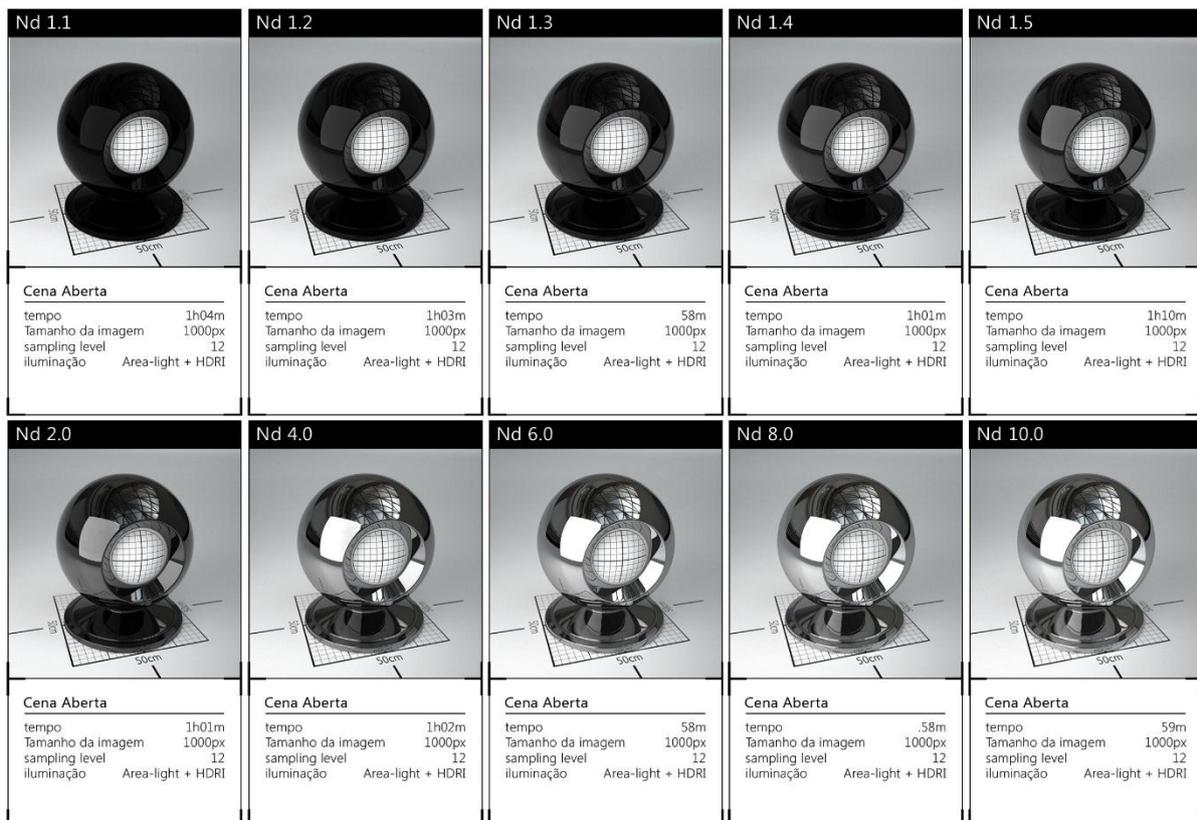
Nd 1.0	Nd 1.5	Nd 2.0	Nd 2.5	Nd 3.0
Cena Aberta tempo 1h36m Tamanho da imagem 1000px sampling level 12 iluminação Area-light + HDRI	Cena Aberta tempo 2h5m Tamanho da imagem 1000px sampling level 12 iluminação Area-light + HDRI	Cena Aberta tempo 2h48m Tamanho da imagem 1000px sampling level 12 iluminação Area-light + HDRI	Cena Aberta tempo 3h58m Tamanho da imagem 1000px sampling level 12 iluminação Area-light + HDRI	Cena Aberta tempo 4h41m Tamanho da imagem 1000px sampling level 12 iluminação Area-light + HDRI

Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Além do entendimento do parâmetro Attenuation para recriar o vidro é necessário regular o parâmetro Nd, este é responsável por controlar o Índice de Refração do material. Da mesma forma do Modo, os valores utilizados são os mesmos de materiais presentes no mundo real, no exemplo da figura 46 foi utilizado um valor passando de 1.0 até 3.0. Tais valores definidos em Nd não afetam apenas materiais que possuam transparência, conforme é visível na figura 47, o valor definido em Nd cria um efeito Fresnel em objetos reflexivos.

Na primeira parte do experimento foi utilizado um valor de 1.1 até 1.5 e na segunda fileira uma escala mais abrangente de 2.0 até 10.0 considerando que valores acima de 40.0 são considerados o mais próximo a um espelho, refletindo em todas as direções. Além de tal parâmetro é possível encontrar uma opção denominada Force Fresnel, este tem como característica forçar a quantidade de reflexos desconsiderando as influências de intensidade de cor, adquirindo apenas a coloração determinada em Reflectance, dessa forma é possível criar um reflexo controlado apenas pelo Nd.

Figura 47 – Nd e Roughness



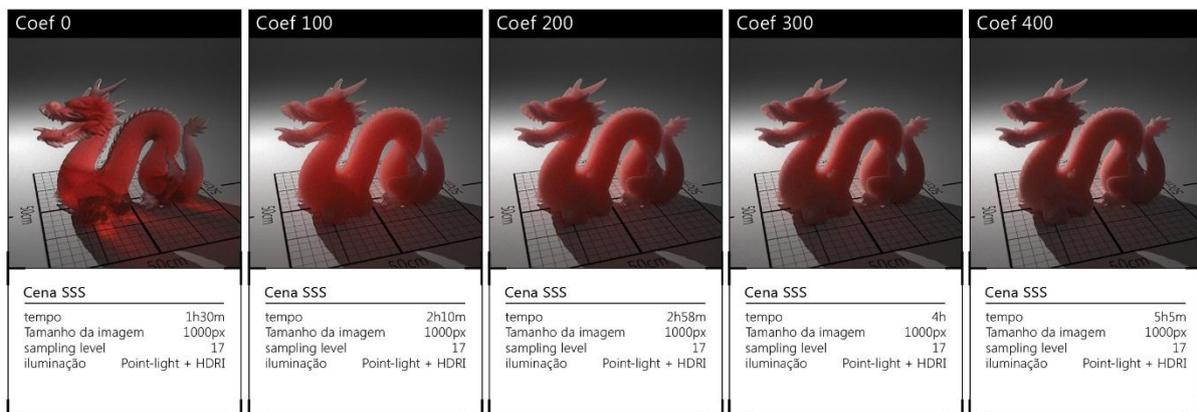
Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Na sequência abaixo de Nd é possível encontrar um parâmetro chamado de K, este é o Extinction Coefficient que controla a quantidade de absorção das ondas eletromagnéticas pela superfície do material. Tal valor é muito utilizado em alguns metais, por se tratar de um valor real, assim como o Nd, o próprio Maxwell disponibiliza tal valor em conjunto com alguns metais, dessa forma, é possível conseguir recriar tais metais de forma mais realista, e não apenas definindo valores de uma forma aleatória. Por exemplo para reproduzir de forma correta o Ouro é utilizado um valor de Nd 0.27049 e K 2.7789, tais dados podem ser encontrados no site refractiveindex.info

3.2.3 SUBSURFACE PROPERTIES

A última seção encontrada é a responsável por controlar as propriedades de Subsurface Scattering, (SSS) que consiste em simular a forma com que os Photons de luz se comportam internamente em um material, dentro desta parte são encontradas configurações de Scattering, Coef e Asymmetry, porém, para criar um resultado mais correto é necessário se utilizar de outros parâmetros como Transmittance, Attenuation, Nd e Roughness, sendo configurado da mesma forma que um material transparente. O parâmetro Coef, tem como característica simular diversas partículas internamente no material, dessa forma os Photons de luz encontram tais partículas criando um efeito de uma superfície densa. No exemplo da figura 48 é visível a variação de tal valor passando de 0 até 500.

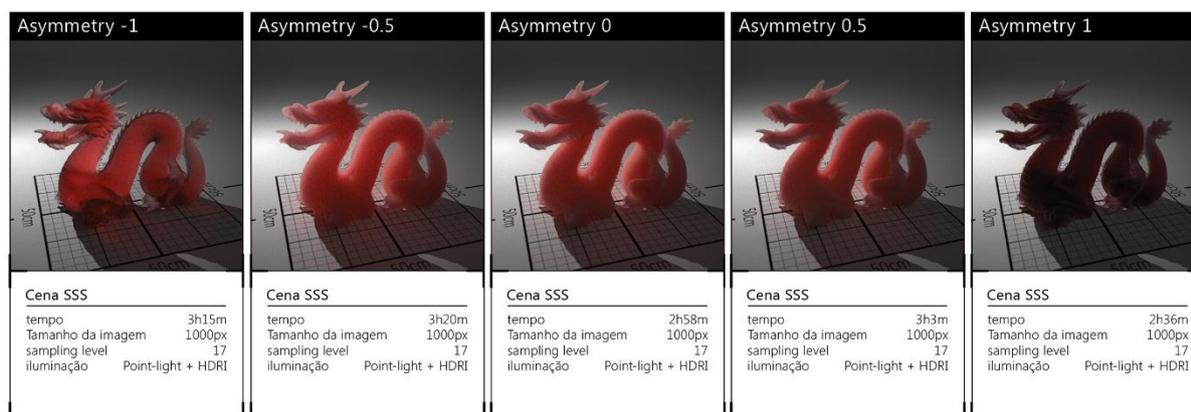
Figura 48 – Coef



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

O segundo parâmetro encontrado no shader é denominado Asymmetry, este tem como função definir a quantidade de Photons que são emitidos, tanto para fora do material, quanto que são absorvidos, tal valor quanto configurado como zero representa uma quantidade igual de raios nos dois sentidos, porem quando utilizado um valor, como por exemplo -1 a superfície passa a absorver os Photons de luz em maior quantidade, da mesma forma, quando usado um valor positivo como +1 os Photons de luz são em sua maioria enviados de volta na direção da iluminação.

Figura 49 – Asymmetry



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Ao comparar os dois softwares é possível encontrar semelhanças e diferenças, tanto a um nível de nomenclaturas como de forma mais complexa envolvendo cálculos e definições diferenciadas. Ainda assim, é possível constatar que tais programas conseguem obter um resultado final de certa forma próxima a um olhar desatento, mas quando analisado de forma a comparar tais resultados é possível observar algumas diferenças, tanto mais técnicas como estéticas, dessa forma cada software obteve pontos negativo e positivos.

Com o intuito de tornar tais diferenças mais próximas e de fácil compreensão o estudo prossegue com uma pesquisa voltada a responder questões relacionadas ao tempo de render dos dois softwares e quanto a qualidade adquirida nos dois, dessa forma a pesquisa inicia comparando três dos principais materiais e em seguida analisando tais dados, por último comparando de forma estética a simulação de materiais reais criados nos dois softwares. Para isso a estratégia metodológica para proceder com tal estudo será descrita em detalhes no próximo capítulo.

4 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

4.1 VERTENTE DA PESQUISA

Segundo Laurence Bardin (2004), a vertente quantitativa se utiliza de números e estatísticas. Dessa forma é mais controlada e tende a ser mais fiel e exata, enquanto a qualitativa atua de uma forma mais intuitiva, variável e suscetível a evolução das hipóteses. Segundo Goldenberg (2004), a pesquisa qualitativa é muito antiga, podendo chegar à guerra entre a Pérsia e a Grécia. Ela não tem uma fórmula ou passos claros a serem seguidos, sendo uma descrição detalhada de situações com o único objetivo de compreender os indivíduos, dependendo muito do pesquisador no momento de realizar a pesquisa e analisar os dados. (GOLDENBERG, 2004)

De acordo com Bardin, “a análise qualitativa apresenta certas características particulares. É válida, sobretudo, na elaboração das deduções específicas sobre um acontecimento ou uma variável de interferência precisa e não em interferências gerais.” (BARDIN, 2004, p. 108) O autor Malhotra (2011) comenta também que na pesquisa qualitativa as perguntas iniciais podem ser ajustadas ao longo da pesquisa. Este fenômeno geralmente ocorre quando são realizados levantamentos-pilotos ou estudos de caso para gerar dados iniciais, tornando a pergunta mais precisa (MALHOTRA, 2011).

Segundo Minayo (2001), a pesquisa qualitativa estuda objetos mais profundos e não meramente quantificáveis, ligando assim a intuição, exploração e o subjetivismo. “a pesquisa qualitativa responde a questões muito particulares. Ela se preocupa, nas ciências sociais, com um nível de realidade que não pode ser quantificado.” (MINAYO, 2001, p. 21) Dessa forma, é possível perceber que a análise qualitativa foi adequada para o problema proposto, tendo em vista que as variáveis estudadas serão precisas e o processo levou a novas hipóteses a respeito do objeto de estudo.

4.2 TIPO DE MÉTODO

O método utilizado para realizar a pesquisa foi a exploratória, este, segundo Gil (2007), tem o objetivo de esclarecer ou modificar ideias e conceitos, para desta forma criar novas hipóteses. Este método é utilizado quando o tema não é muito explorado, assim, tornando difícil a investigação com base em terceiros. (GIL, 2007) O método geralmente é utilizado para formular um problema ou identificar cursos alternativos para uma ação. Segundo Mattar (2012), ele também tem como características flexibilidade e versatilidade, sendo utilizado

principalmente em conjunto com os métodos de coletas de dados secundários e pesquisa qualitativa. (MATTAR, 2012)

O autor Malhotra (2011), cita que a pesquisa exploratória é utilizada em grande escala quando o pesquisador não tem dados suficientes para responder a pergunta em questão, ele também cita que ela tem grande eficiência em aumentar o conhecimento sobre o determinado assunto. (MALHOTRA, 2011) Dessa forma, este método teve grande utilidade, pois o estudo sobre os *shaders* é bastante abrangente e específico e possui uma grande gama de livros falando sobre assuntos próximos, deixando assim com que o pesquisador abstraia uma resposta elaborada destes estudos iniciais.

4.3 UNIDADE DE ESTUDO

Para determinar a unidade de estudo, o método utilizado foi o de Estudo de Caso, sendo este um método utilizado para adquirir informações a respeito de um ou de poucos objetos, permitindo dessa forma, um conhecimento amplo a respeito do objeto. O autor reforça que tal método é muito utilizado quando os limites não são claramente definidos, também tem como característica explorar variáveis relacionadas com os eventos. (GIL, 2007) A autora Roesch, (1999) acrescenta que o estudo de caso é muito utilizado para pesquisas exploratórias levantando novas hipóteses a respeito do objeto de pesquisa. (ROESCH, 1999)

Nesse caso, a unidade de estudo que foi utilizada são os *shaders* presentes nos materiais do software tridimensional Modo produzido pela The Foundry, e Maxwell, produzido pela Next Limit Technologies, os quais foram utilizados para o experimento. Estes *shaders* são utilizados nos principais softwares tridimensionais, tornando o estudo útil mesmo para um usuário de outro software. Tais *shaders* são: Diffuse, Specular, Reflection e Transparency, podendo ter variações em suas nomenclaturas ou formas de utilização, porém, sua funcionalidade e resultado permanecem iguais. Com a utilização da combinação destes é possível reproduzir diversos materiais encontrados no mundo real.

4.4 TÉCNICA DE COLETA DE DADOS

Segundo Antonio Carlos Gil (2007), a técnica de pesquisa bibliográfica é muito utilizada em diversos estudos partindo de um material pronto como livros e artigos científicos. Um benefício ressaltado pelo autor é de que, com esse método, é possível realizar uma busca muito mais ampla. A partir de dados de terceiros, ela é muito utilizada para realizar estudos históricos. Entretanto, a pesquisa bibliográfica faz com que o pesquisador corra o risco de

coletar dados secundários de baixa qualidade ou equivocados, comprometendo assim o estudo (GIL, 2007). A autora Manolita Correia Lima (2008), ressalta que a pesquisa bibliográfica é de grande utilidade para o pesquisador, por tornar possível observar as opiniões de diversos autores, e assim, tornar o estudo mais completo do que um trabalho iniciado do zero, ela levanta também que dessa forma o pesquisador consegue utilizar o material já existente como base para seu próprio pensamento, tendo assim mais credibilidade no meio acadêmico, porém a procedência da fontes deve ser levada em consideração para assegurar a credibilidade do documento. As autoras Marconi e Lakatos (2006) acrescentam que a pesquisa bibliográfica pode abranger mais materiais como jornais, revistas, monografias entre outros diversos meios. Elas acrescentam, também, que podem ser utilizados meios como rádio, gravações em fita, filmes e televisão. (MARCONI; LAKATOS, 2006)

Já para o nível empírico experimental, será utilizada a pesquisa documental que, de acordo com Roesch (1999), é uma das mais utilizadas, tanto para qualitativa como quantitativa, sendo constituída por documentos diversos. Ela cita que tais fontes geralmente são utilizadas como forma de complemento a um outro método de coletas de dados, esse método possibilita que o pesquisador obtenha uma visão de dentro, mais próxima do objeto de pesquisa (ROESCH, 1999). Segundo Gil (2007), a pesquisa documental tem muita semelhança com a pesquisa bibliográfica, porém, a principal diferença se encontra na natureza das fontes. “Enquanto a pesquisa bibliográfica se utiliza fundamentalmente das contribuições de diversos autores sobre determinado assunto, a pesquisa documental vale-se de materiais que não receberam ainda um tratamento analítico ou que ainda podem ser elaborados de acordo com os objetivos da pesquisa” (GIL, 2007, p. 66) As autoras Marconi e Lakatos (2006) acrescentam que os dados documentais podem ser obtidos utilizando dois métodos, pesquisa de campo, que se caracteriza por observar os dados de forma espontânea no momento da ocorrência, ou pesquisa de laboratório onde o procedimento é realizado em um local controlado, dessa forma os dados são mais precisos, porém, é mais complicada de se realizar. (MARCONI; LAKATOS, 2006) Dessa forma, a pesquisa documental foi utilizada, em conjunto com o método de pesquisa laboratorial pois, para realizar o estudo, foram produzidos conteúdos voltados diretamente para responder a pergunta de pesquisa, dentro de um ambiente computadorizado e sem a interferência de terceiros para assim, identificando os principais materiais utilizados nos softwares tridimensionais Modo e Maxwell e suas implicações no tempo de render de uma cena.

4.5 TÉCNICA DE ANÁLISE DOS DADOS

O processo de análise de dados, segundo Roesch (1999), consiste em três etapas; redução de dados, apresentação de dados e extração de conclusões e verificação. O primeiro dos três processos inicia mesmo antes de realizar a coleta, no sentido de criar um foco para a pesquisa. Durante a pesquisa a redução de dados é utilizada para elaborar resumos, codificação de dados, descoberta de temas, agrupamento de conceitos entre outros. A segunda etapa é a Apresentação dos dados, nesta os dados são organizados, comprimidos e montados, para dessa forma, o pesquisador conseguir extrair conclusões. Para tornar essa etapa mais fácil são utilizadas matrizes, gráficos ou diagramas para tornar os dados mais compactos. (ROESCH, 1999)

A última parte que consiste em extração de conclusões e verificação. É quando o analista começa a decidir o significado dos dados, esse processo já vem sendo elaborado desde o início do estudo, realizando anotações, observando padrões, explicações, configurações possíveis, fluxos causais e proposições. A autora reforça que o pesquisador vem ponderando tais conclusões, porém, só as revela ao final da pesquisa, muitas vezes o pesquisador pode ter alcançado o resultado de forma empírica no início da pesquisa. Nesta mesma etapa ocorre a verificação dos dados, esta pode ocorrer de várias formas. A autora cita três principais formas “Pensamentos que surgem no processo de relatar o texto, o que leva a consultar as notas de pesquisa de campo; ou a partir de discussões com colegas; ou, ainda, como resultados de esforços para replicar os resultados em outras bases de dados” (ROESCH, 1999, p.261) dessa forma o pesquisador consegue ponderar se sua análise de fato seguiu o caminho desejado.

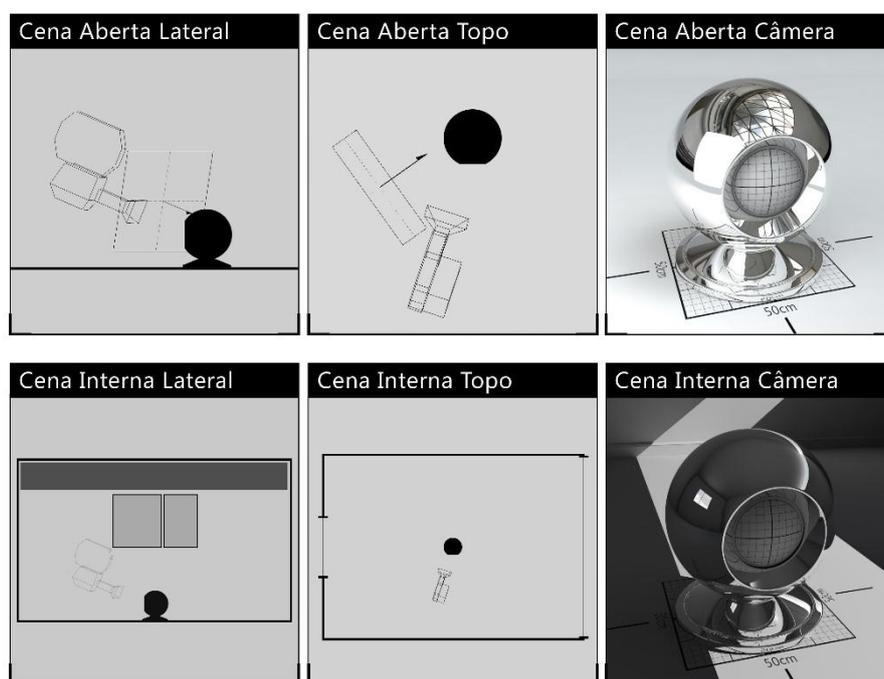
Dessa forma esta técnica foi muito útil na elaboração dos dados do presente estudo, tendo em vista que inicialmente o pesquisador teve que coletar os dados e condensá-los, deixando apenas o conteúdo de maior relevância para o trabalho. Em uma segunda etapa foi necessário organizar tais dados em forma de gráfico e imagens para tornar a visualização mais simples, e em seguida o pesquisador teve que observar os padrões encontrados no estudo e assim obter as conclusões respondendo à pergunta desejada.

5 ANÁLISE

Quando deparado com uma quantidade tão abrangente de dados e variáveis a respeito do comportamento dos shaders foi necessário estabelecer alguns filtros e formas de compilar e planificar tais dados. Dentro deste cenário foi possível identificar duas variáveis que podem influenciar no comportamento do objeto de estudo, primeiramente a cena utilizada para o estudo e a segunda a tecnologia empregada no desenvolvimento, dessa forma foram adicionadas as seguintes variáveis.

A primeira constatação ao observar o processo de render é que o tipo de cena influencia diretamente no render, podendo ser uma cena interna ou externa, dessa forma, para tornar tal característica visível foi utilizada dois modelos de cena, uma presente nos exemplos utilizados ao longo do estudo caracterizada pela presença de uma Área Light e um HDRI responsáveis pela iluminação e para o cenário apenas um fundo infinito conforme visível na figura 50, já para a segunda cena foi desenvolvido um ambiente fechado, sendo iluminado apenas por uma lâmpada pontual, dessa forma tornando a cena muito mais escura e contrastada.

Figura 50 – Cenas



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

O segundo fator identificado no decorrer do estudo foi a influência do hardware no desenvolvimento, dessa forma, para realizar uma comparação foi utilizado um computador que possua uma configuração mais antiga e um com uma configuração mais moderna, tais parâmetros de hardware podem ser encontrados quadro da figura 51, sendo visível uma grande

diferença no poder de processamento e data de lançamento de ambos, assim é possível analisar o comportamento de duas cenas diferentes em dois computadores distintos.

Figura 51 – Hardware

2007	2012
Processador Core 2 Duo E4500 Clock 2,2	Processador I7 3930K Clock 3,2
Placa de Vídeo Radeon HD5700	Placa de Vídeo 2X Geforce GTX660 TI
Memória RAM 2GB	Memória RAM 32GB
HD 160GB	HD 250GB

Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Após ser comparado o poder de processamento e as cenas utilizadas o próximo ponto de muita importância para o estudo é o software. Em ambas as máquinas o sistema operacional utilizado foi o Windows 7 produzido pela Microsoft, já em nível de software tridimensional foi utilizado o Modo 701 produzido pela The Foundry, este, lançado em 2013. O segundo software utilizado é o Maxwell versão 3 produzido pela Next Limit Technologies sendo a última versão disponibilizada tendo seu lançamento efetuado em 2012.

Com tais características descritas o estudo se dividiu em dois momentos, primeiramente foi realizado um experimento para determinar parâmetros que interfiram na velocidade do render para três materiais que representem características Diffuse, Specular e Refraction, dessa forma utilizado estes em conjunto com as variações de software, cena e hardware foi possível extrair informações completas e precisas a respeito de tal processo. Já para a segunda etapa foi realizado um processo de comparação entre materiais mais elaborados e com o intuito de simular um material encontrado no mundo real, tal materiais tem como característica representar os três fenômenos descritos acima, sendo inicialmente um material de madeira equivalente ao Diffuse, em seguida a pintura de um veículo que se utiliza de características Speculares e por último um material de Vidro representando a Refração.

5.1 TEMPO

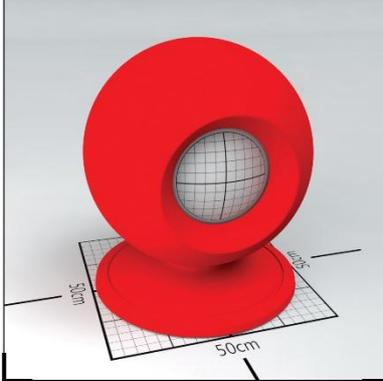
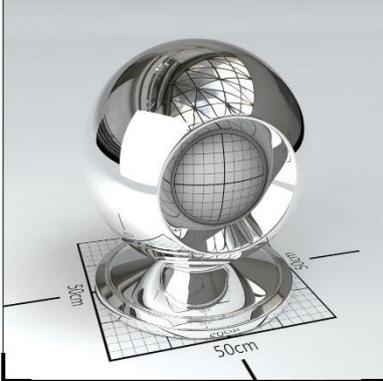
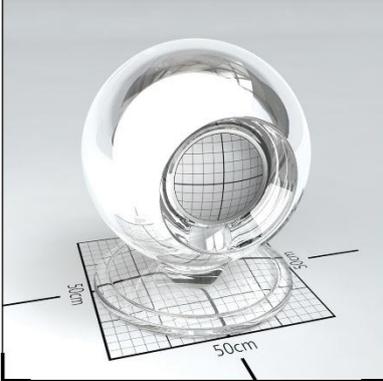
Com base em tais dados o estudo a respeito do tempo de render será dividido em quatro tabelas, estas contarão com três exemplos: Diffuse Specular e Refraction, dessa forma para cada software, cena e hardware será realizado um render de cada material. O material Diffuse será caracterizado por representar uma superfície completamente difusa e de coloração vermelha, já o Specular uma superfície próxima a um espelho refletindo todos os Photons de luz e para o Refraction um vidro completamente transparente com um IOR de 1.5. Com tais materiais será possível analisar três comportamentos distintos de luz em diversos cenários, tornando a análise mais completa.

Com isso o estudo inicia apresentando a primeira tabela onde são encontradas as informações e imagens referentes aos dois softwares utilizados. Para tal etapa foi utilizado a cena aberta e o hardware mais básico datado de 2007, tais dados são descritos na figura 52 situada na próxima página, já a segunda tabela encontrada apresenta o mesmo estudo realizado com o hardware mais novo de 2012, da mesma forma os dados estão disponíveis na Figura 53. Após tal estudo os dados a respeito do tempo dedicado ao render foram compilados em uma tabela cruzando os dados dos dois softwares e dos dois hardwares, possibilitando dessa forma extrair as informações provenientes do estudo.

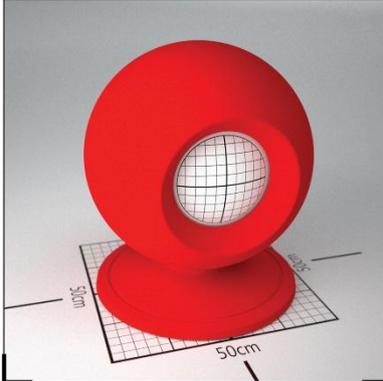
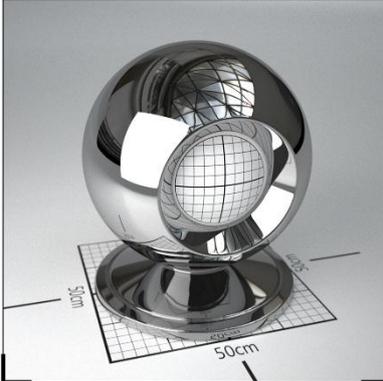
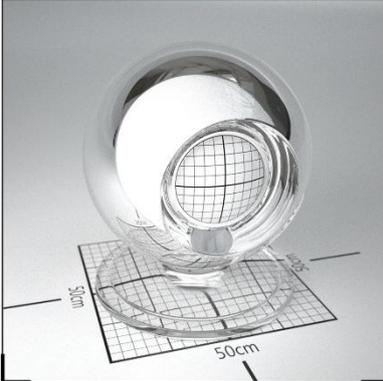
Figura 52 – Cena Aberta, Hardware 2007

Cena Aberta - Hardware 2007

Modo

Diffuse	Specular	Refraction
		
tempo 2m Tamanho da imagem 1000px samples de luz 64 iluminação Area-light + HDRI	tempo 1m58s Tamanho da imagem 1000px samples de luz 64 iluminação Area-light + HDRI	tempo 11m20s Tamanho da imagem 1000px samples de luz 64 iluminação Area-light + HDRI

Maxwell

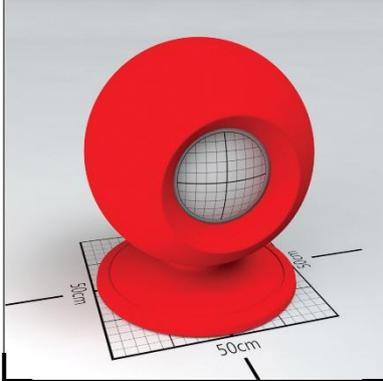
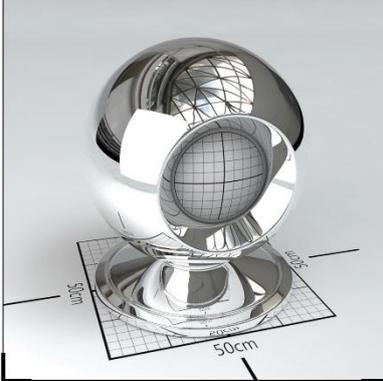
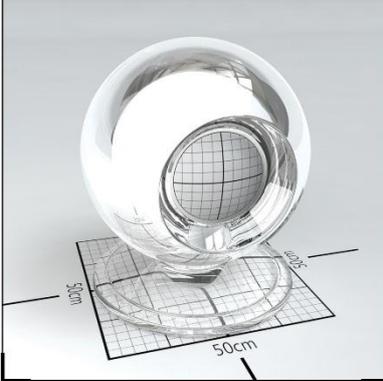
Diffuse	Specular	Refraction
		
tempo 57m Tamanho da imagem 1000px sampling level 12 iluminação Area-light + HDRI	tempo 59m Tamanho da imagem 1000px sampling level 12 iluminação Area-light + HDRI	tempo 2h05m Tamanho da imagem 1000px sampling level 12 iluminação Area-light + HDRI

Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

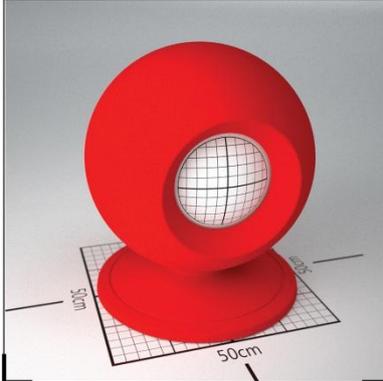
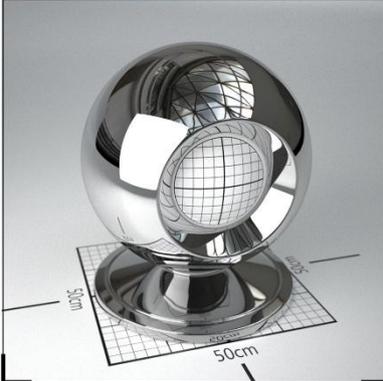
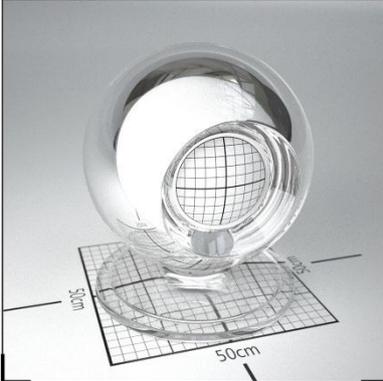
Figura 53 – Cena Aberta, Hardware 2012

Cena Aberta - Hardware 2012

Modo

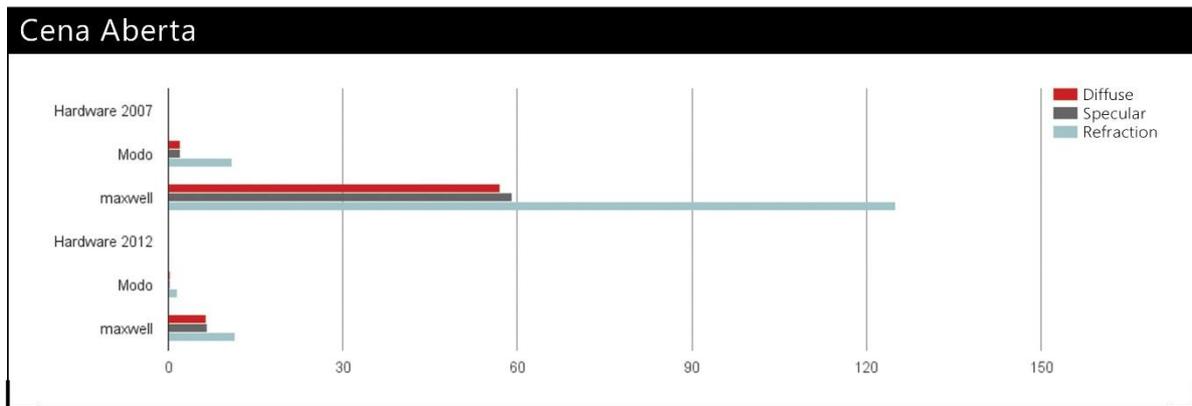
Diffuse	Specular	Refraction
		
tempo 11s Tamanho da imagem 1000px samples de luz 64 iluminação Area-light + HDRI	tempo 10s Tamanho da imagem 1000px samples de luz 64 iluminação Area-light + HDRI	tempo 1m27s Tamanho da imagem 1000px samples de luz 64 iluminação Area-light + HDRI

Maxwell

Diffuse	Reflection	Refraction
		
tempo 6m24s Tamanho da imagem 1000px sampling level 12 iluminação Area-light + HDRI	tempo 6m45s Tamanho da imagem 1000px sampling level 12 iluminação Area-light + HDRI	tempo 11m36s Tamanho da imagem 1000px sampling level 12 iluminação Area-light + HDRI

Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Figura 54 – Cena Aberta, Dados



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

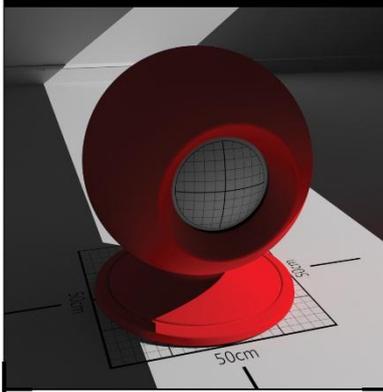
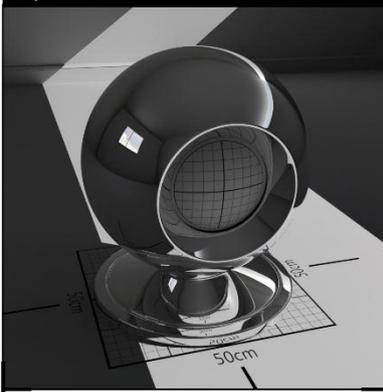
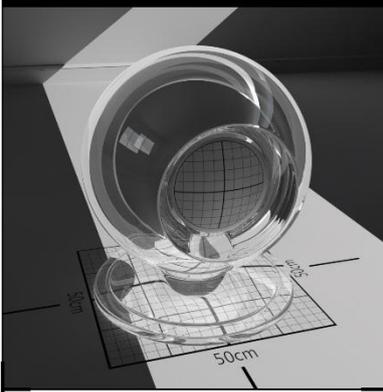
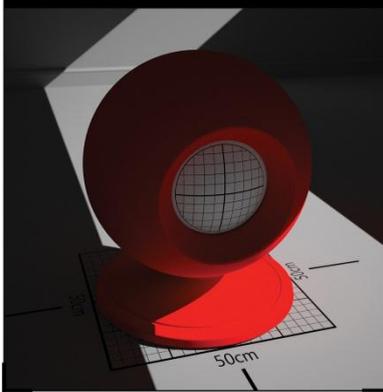
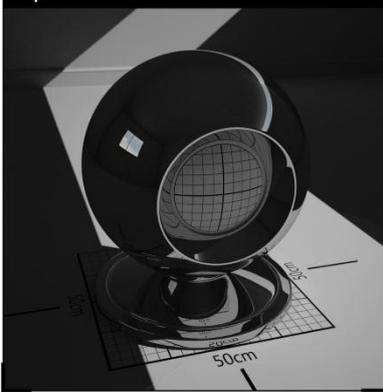
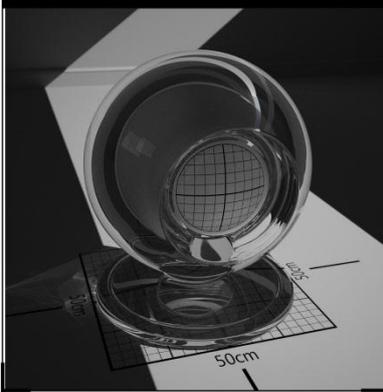
Com base nos dados compilados de forma gráfica na figura 54, é possível observar primeiramente que o tempo para reproduzir um material Diffuse ou Specular é semelhante, porém, para recriar um material com refração o tempo passa a ser cinco vezes mais demorado no hardware mais antigo e oito vezes no hardware mais novo quando utilizado o software Modo. Utilizando o renderizador Maxwell o tempo para reproduzir um material com refração passa a ser aproximadamente o dobro do tempo para os dois hardwares. Assim quando o usuário utilizar um material com refração deve ser considerado o acréscimo de tempo ao render.

Quando comparado os tempos dos dois softwares é possível perceber que o hardware de 2007 possui uma diferença do Modo para o Maxwell. Sendo aproximadamente trinta vezes mais tempo para recriar os materiais Diffuse e Specular, enquanto o material de Refração, passa para onze vezes. Quando analisado os dados do Hardware de 2012 é possível constatar o mesmo padrão, sendo trinta e quatro vezes mais lento para reproduzir um material difuso, e quarenta vezes para recriar um material Specular, já o Refraction leva oito vezes mais. Observando tais constatações é possível afirmar que o hardware mais novo conseguiu processar de forma mais rápida a cena criada no Modo, porém, tais valores não possuem uma diferença muito elevada.

Nesta segunda etapa a cena utilizada foi o ambiente interno, este tem como característica necessitar um maior poder de processamento criando uma imagem com uma maior diferença entre luz e sombra por conta da menor incidência de luz, dessa forma, proporcionando um ambiente mais complexo para efetuar o render, com tal cena foi necessário aumentar o Sampling Level do Maxwell, de 12 para 17, no intuito de reduzir o ruído encontrado na imagem. Da mesma forma que o primeiro experimento a cena interna foi

renderizada nos dois softwares estudados e se utilizando dos dois hardwares disponíveis, tornando o estudo completo e preciso.

Figura 55 – Cena Interna, Hardware 2007

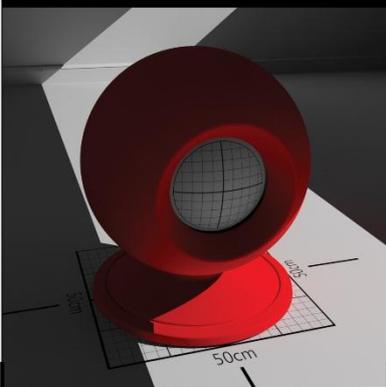
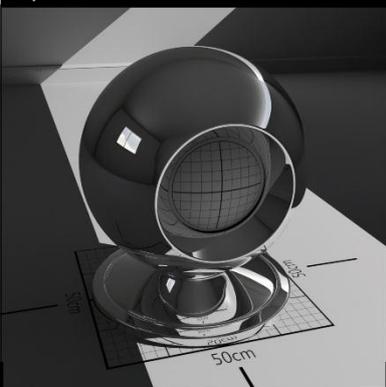
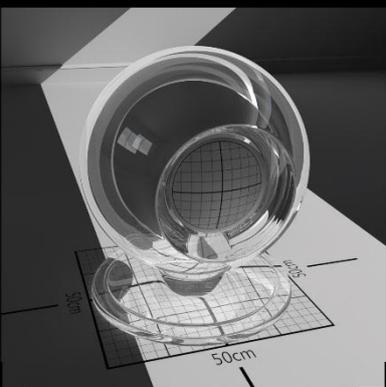
Cena Interna - Hardware 2007		
Modo		
Diffuse	Specular	Refraction
		
tempo 3m26s Tamanho da imagem 1000px samples de luz 64 iluminação Point-light + HDRI	tempo 5m13s Tamanho da imagem 1000px samples de luz 64 iluminação Point-light + HDRI	tempo 1h26m Tamanho da imagem 1000px samples de luz 64 iluminação Point-light + HDRI
Maxwell		
Diffuse	Specular	Refraction
		
tempo 5h45m Tamanho da imagem 1000px sampling level 17 iluminação Point-light + HDRI	tempo 8h20m Tamanho da imagem 1000px sampling level 17 iluminação Point-light + HDRI	tempo 16h38m Tamanho da imagem 1000px sampling level 17 iluminação Point-light + HDRI

Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

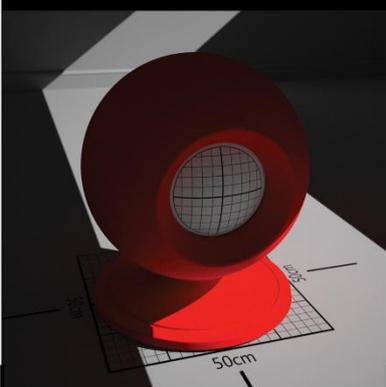
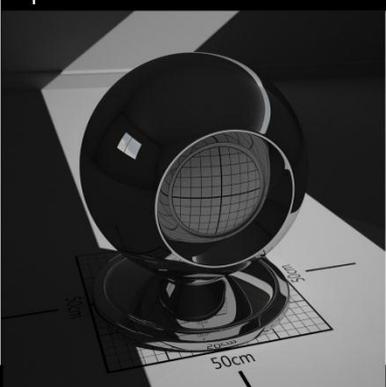
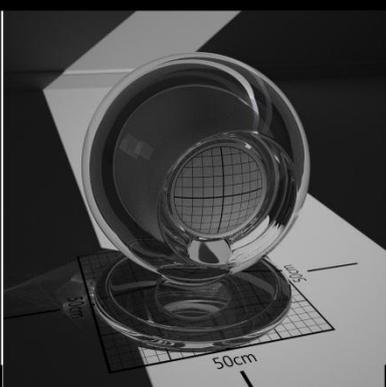
Figura 56 – Cena Interna, Hardware 2012

Cena Interna - Hardware 2012

Modo

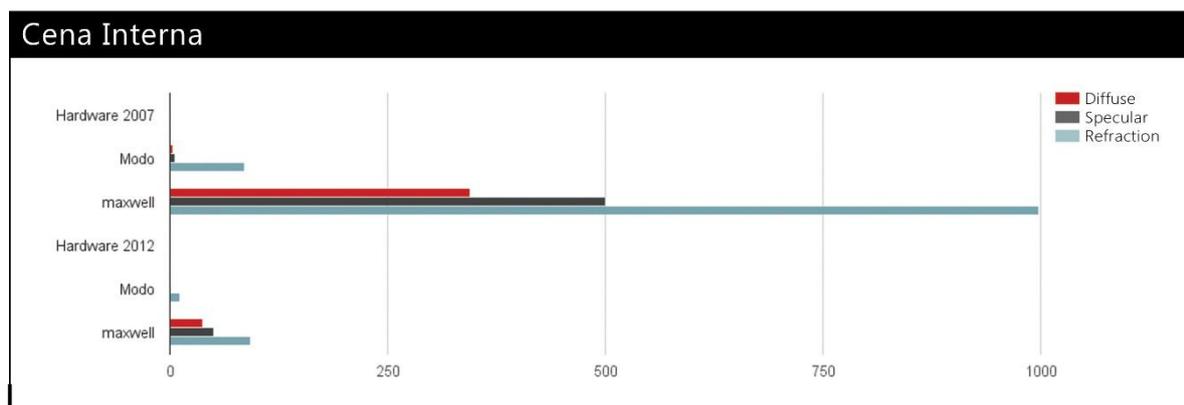
Diffuse	Specular	Refraction
		
tempo 23s Tamanho da imagem 1000px samples de luz 64 iluminação Point-light + HDRI	tempo 39s Tamanho da imagem 1000px samples de luz 64 iluminação Point-light + HDRI	tempo 10m55s Tamanho da imagem 1000px samples de luz 64 iluminação Point-light + HDRI

Maxwell

Diffuse	Specular	Refraction
		
tempo 38m Tamanho da imagem 1000px sampling level 17 iluminação Point-light + HDRI	tempo 50m Tamanho da imagem 1000px sampling level 17 iluminação Point-light + HDRI	tempo 1h32m Tamanho da imagem 1000px sampling level 17 iluminação Point-light + HDRI

Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Figura 57 – Cena Interna, Dados



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Ao observar os dados compilados no gráfico encontrado na figura 57, é visível que assim como na cena aberta, os shaders Diffuse e Specular permanecem próximos, com uma diferença próxima à metade do tempo, quando comparados tais materiais no software Modo. Já a diferença entre o Specular e o Refraction passa para dezesseis vezes mais lento em ambos os hardwares. Quando comparado com o Maxwell é visível que a diferença entre o Diffuse e o Specular chega a ser de 60% mais lento no hardware de 2007 e 30% no hardware de 2012, porém a diferença entre o Specular e o Refraction é de aproximadamente o dobro para dos dois hardwares.

Ao analisar o tempo de render entre os dois renderizadores é possível constatar que a diferença de tempo para renderizar os shaders Diffuse e Specular se utilizando o hardware mais antigo é de cem vezes mais quando utilizado o Maxwell, já para reproduzir um shader de Refraction e tempo passa para dezesseis vezes mais. Quando utilizado o hardware mais recente a diferença entre o shader Diffuse é de cem vezes e o shader Specular passa para setenta e seis vezes enquanto que o Refraction é de oito vezes.

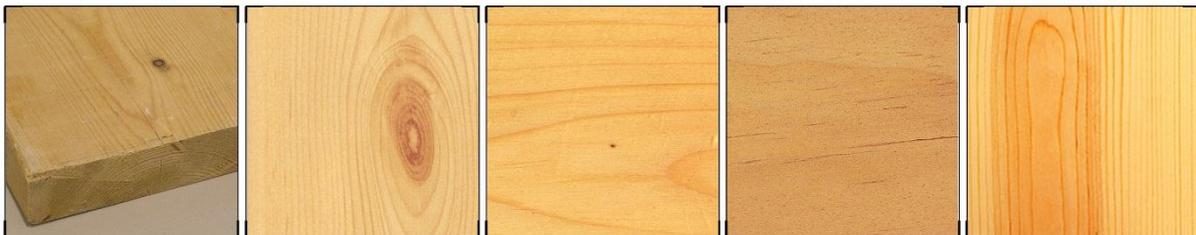
Ao analisar tais dados é possível contatar que a diferença de tempo entre os dois renderizadores é elevada. Também é possível observar que para reproduzir um shader de Refração o tempo de render se torna mais elevado indiferentemente do software ou hardware utilizado. E que ambos os hardwares sofrem da mesma variação porém como imaginado o hardware mais novo consegue executar tais tarefas mais rapidamente, demonstrando que a tecnologia empregada é semelhante, apenas com uma maior capacidade. Também é possível constatar que a cena interna utiliza um maior poder de processamento resultando em um render consideravelmente mais longo que a cena aberta sendo aproximadamente oito vezes mais lento que a outra cena.

5.2 REPRODUZINDO MATERIAIS REAIS

Ao compreender o funcionamento dos renderizadores, o funcionamento dos materiais e de que forma tais variáveis influenciam no tempo de render, é necessário também observar o funcionamento de materiais no mundo real e buscar reproduzi-los em um software tridimensional. Com isso será possível compreender de forma mais completa diversos parâmetros e suas aplicações em um cenário comparativo. Para exemplificar tal estudo serão utilizados três materiais reais que possam ser comparados ao funcionamento de um material difuso, de um material reflexivo e de um material transparente, dessa forma abrangendo os fenômenos de luz estudados e também aplicando os conhecimentos de ambos os softwares, para tal estudo o hardware utilizado é o mais simples, se utilizando do computador de 2007.

O primeiro material a ser recriado é a madeira, esta pode possuir diversas características dependendo do tratamento empregado para produzi-la, para o estudo foi utilizado uma referência de madeira do tipo Pinos conforme a figura 58. Tal material tem como principal característica a superfície fosca com brilhos difusos, dessa forma é possível observar o comportamento deste fenômeno de luz. Para recriar este material foram utilizadas três texturas, uma responsável por controlar a coloração do objeto, a segunda encarregada de acrescentar informações de relevo e a terceira e última encarregada de adicionar variações no brilho da superfície.

Figura 58 – Referência de Madeira

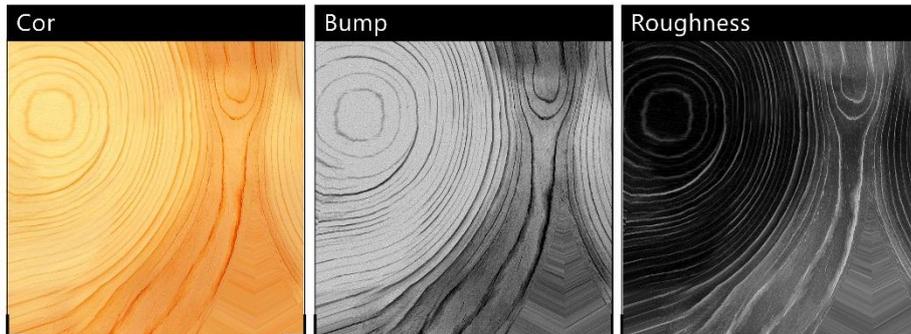


Fonte: CGtextures.com, 2015.

O primeiro software utilizado para realizar o experimento foi o Maxwell, neste foi necessário utilizar duas camadas de materiais, a primeira foi adicionada a imagem de textura colorida para acrescentar as informações de cor em Reflectance 0° e abaixo em Bump foi adicionada a textura referente ao Bump e configurando o valor de 2. O Roughness deste material foi mantido em 100. Para a segunda camada responsável por um leve brilho no material foi utilizado um mapa em escala de cinza como mascara, tal material foi configurado com uma intensidade de 10%, na aba de BSDF Properties foi configurado um valor de 60 em

Roughness, dessa forma foi possível criar um leve efeito de reflexo apenas nas áreas mais claras da madeira.

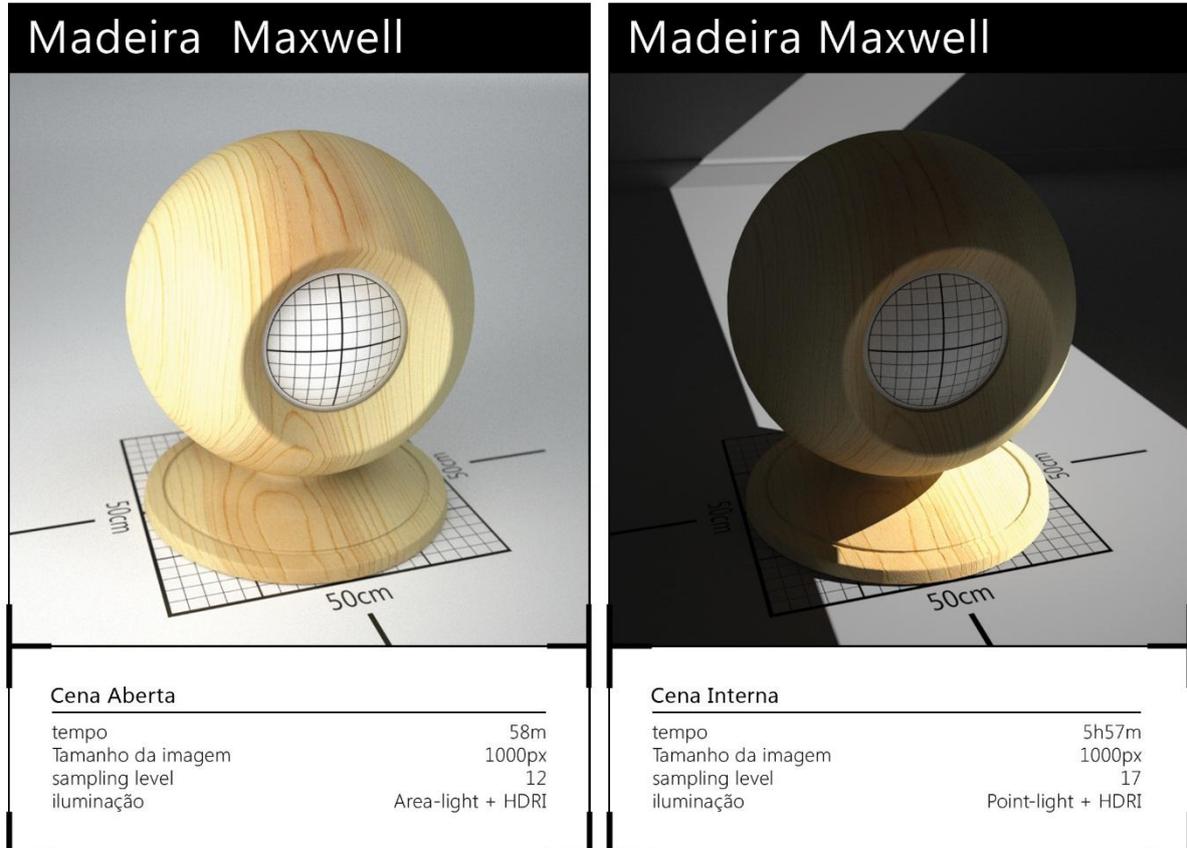
Figura 59 – Texturas utilizadas



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Na figura 59 é possível visualizar as imagens utilizadas para agregar tais características ao modelo, iniciando com as informações de cor, em seguida as informações de relevo e por último a variação no brilho do modelo. Para tais imagens o tamanho definido em pixels foi de 4096 no formato quadrado, dessa forma as regiões mais próximas da câmera mantiveram sua definição.

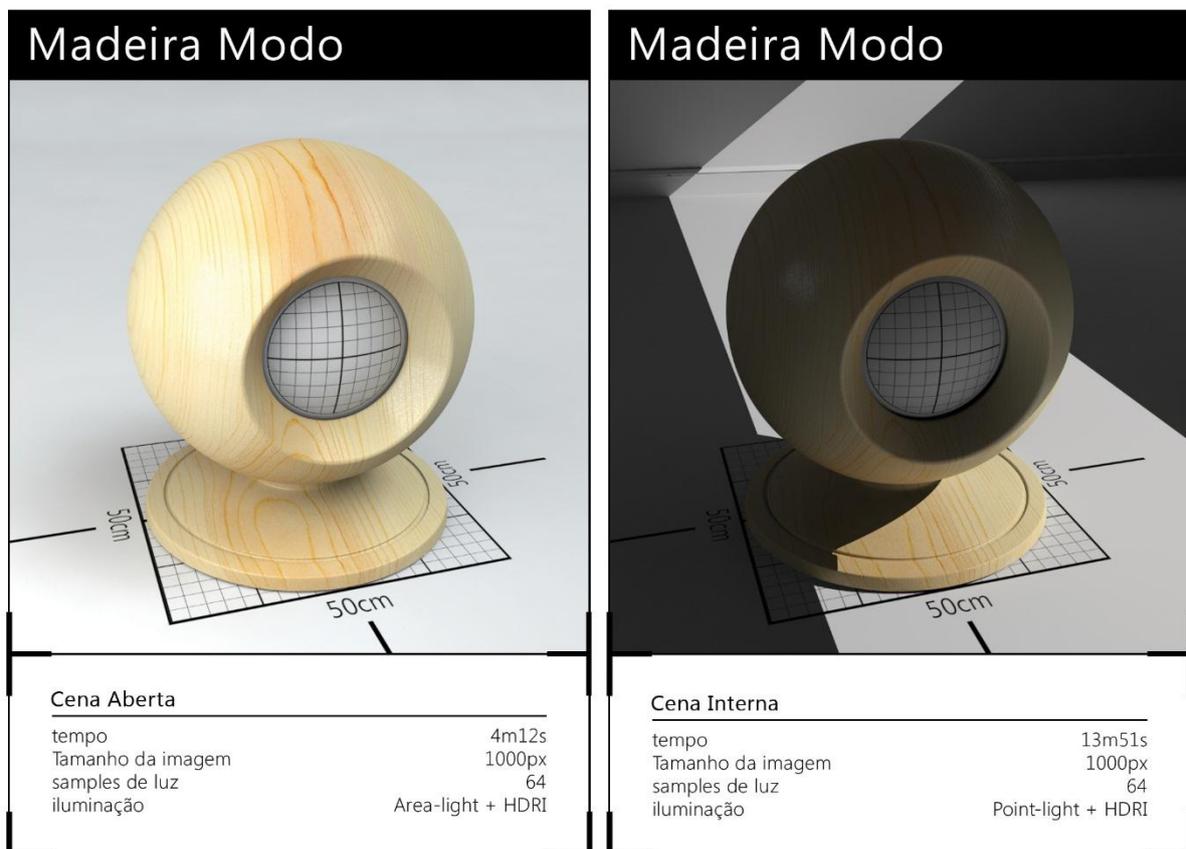
Figura 60 – Madeira Maxwell



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

O processo para recriar o mesmo material no software Modo inicia adicionando as texturas, e em seguida definindo qual o papel de cada uma, a primeira adicionada foi a textura responsável pelos reflexos na parte mais clara, esta foi definida como responsável pelo Roughness do material, a segunda Foi configurada como Bump e a terceira responsável pela colocação do material foi configurada como Diffuse Amount. Na parte de Shaders foi acionado o Conserve Energy e um valor de 5% para Specular e 60% para o Roughness em seguida na parte de Reflection foi adicionado 3% em Reflection Amount e 10% em Fresnel com a função Blurry Reflection selecionada. Na configuração do tamanho do Bump foi adicionado um valor de 0,5mm.

Figura 61 – Madeira Modo



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Ao analisar os dois exemplos é possível observar que a variação entre os dois materiais na cena aberta não é tão evidente, porem quando comparado com a cena interna o Maxwell consegue reproduzir o material de uma forma mais realista, entretanto o custo de tal realismo é refletido no tempo destinado ao render, passando de treze minutos para quase seis horas.

O segundo material é a pintura de carro ou Carpaint, este se encarrega de representar o comportamento Specular dos Photons de luz, obtendo reflexões e camadas de pintura. Para criar tal material é necessário compreender que a pintura de um veículo é realizada em camadas, sendo feita inicialmente a camada de coloração e em seguida a camada de verniz, em alguns carros é possível visualizar junto em tais camadas alguns pequenos pontos mais reflexivos, estes também podem ser simulados em um software tridimensional, conseguindo dessa forma recriar materiais muito próximos dos reais.

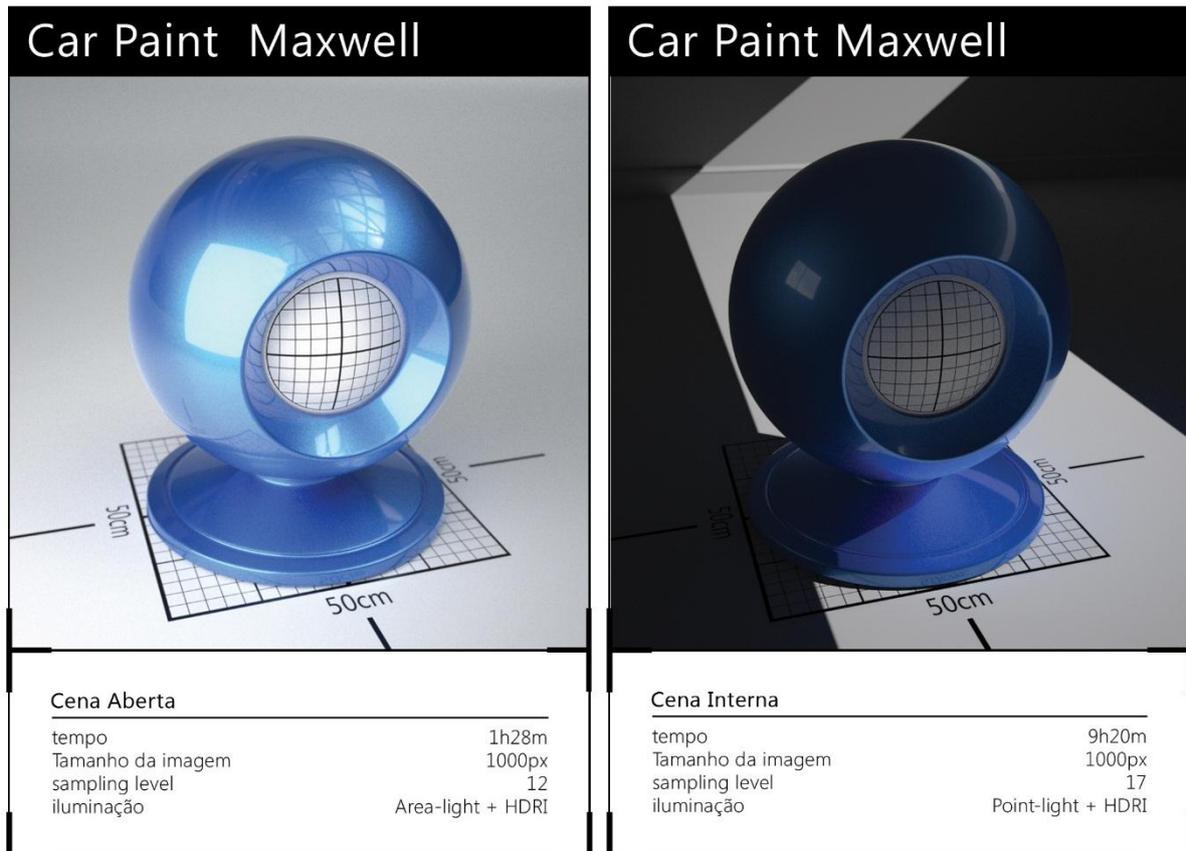
Figura 62 – Referência de Car Paint



Fonte: D'marge, 2015.

O primeiro conjunto de exemplo foi realizado se utilizando do software Maxwell, este assim como o Modo consegue operar com camadas de diferentes Shaders. Dessa forma para a primeira camada foi utilizado um valor de azul R:59 G:115 B:198 para o Reflectance 0° e para o Reflectance 90° R:22 G:40 B:72 e o parâmetro Roughness em 70. Já a segunda camada responsável por simular um tom mais reflexivo possui as mesmas configurações de cor porem o parâmetro Roughness foi alterado para 40. Para simular a camada de verniz foi utilizado primeiramente uma camada com todas as colocações completamente pretas, e um ND de 1,3 com a função Force Fresnel acionada e o parâmetro Roughness em 8, dessa forma é possível criar um efeito de reflexos menos definidos, acima desta camada foi criada uma muito semelhante porem com o Nd de 1,6 e o Roughness de 2, assim criando uma camada mais bem definida.

Figura 63 – Car Paint Maxwell

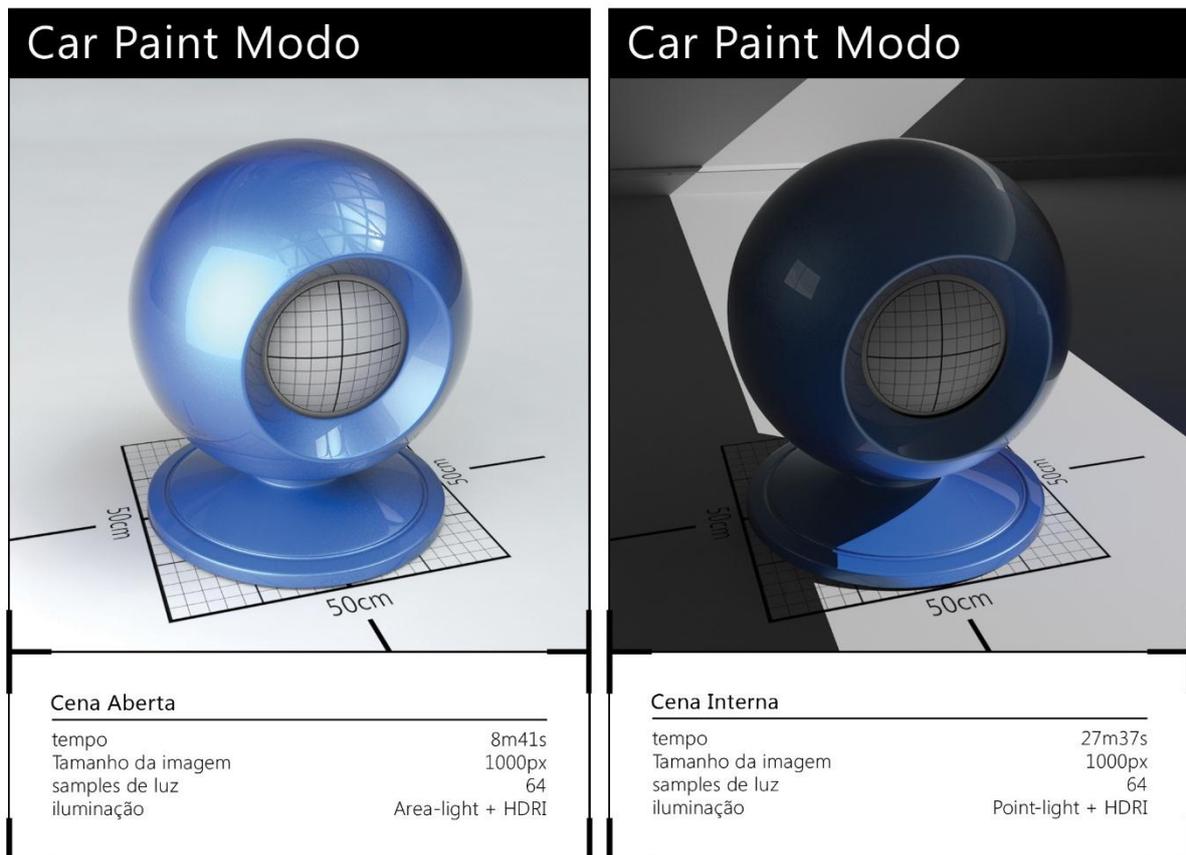


Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Para recriar o mesmo material no software Modo foram encontradas algumas dificuldades, as quais tiveram que ser resolvidas com a ajuda de uma textura interna do Modo. Para definir a coloração do material foi utilizado um valor de 100% em Diffuse e a coloração de G:0,09 e B:0,44 com um Diffuse roughness configurado em 100%, também foi acionado o parâmetro Conserve Energy. Para o Specular foi configurado um valor de 20% e a coloração de R:0,76 G:0,9 B:1,0 e o roughness geral do material em 80%.

Para configurar os reflexos foi utilizado um montante de 30% de Reflection Amount e Fresnel de 100% a coloração de tais reflexos foi configurada em R:0,3 G:0,51 B:0,61, também foi acionada a função Blurry Reflection. Por último foi configurado o Clearcoat Amount em 100%, com tais parâmetros configurados ainda não foi possível obter um resultado aproximado do Maxwell então com o intuito de melhorar a qualidade foi adicionada uma textura Gradiente encontrada por padrão no Modo, esta permite que sejam configuradas cores diferenciadas ao material, dessa forma foi configurado um gradiente passando do branco para o tom de azul de B:0,17 com tal configuração foi possível recriar um tom mais escuro nas extremidades do material.

Figura 64 – Car Paint Modo

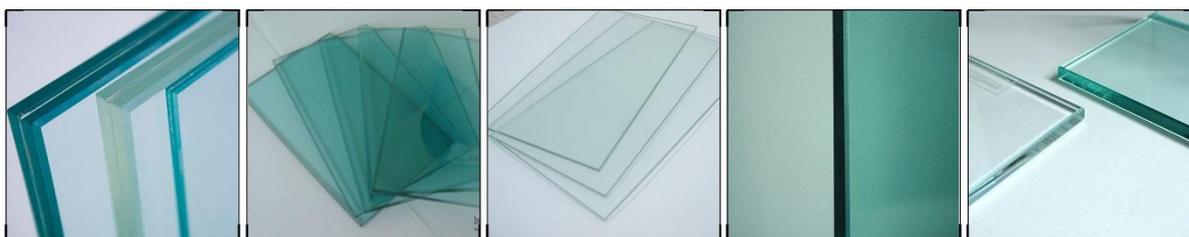


Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Quando são comparados os materiais dos dois softwares é possível perceber que o Maxwell consegue simular de uma forma mais complexa o material apresentando uma profundidade de cor mais elevada com contrastes e brilhos mais realistas, por outro lado a diferença de render da cena interna entre o Modo e o Maxwell vai de vinte e sete minutos para nove horas e vinte minutos, o que é um valor bem elevado.

Como exemplo de material que possua refração foi utilizado o vidro verde, muito comum no mundo real. Por possuir refração conta com um tempo de render mais elevado e para alcançar uma qualidade mais fiel deverão ser utilizadas configurações diferenciadas para as cenas. Na figura 65 foram separadas cinco referencias as quais tiveram utilidade para comparar com os materiais tridimensionais.

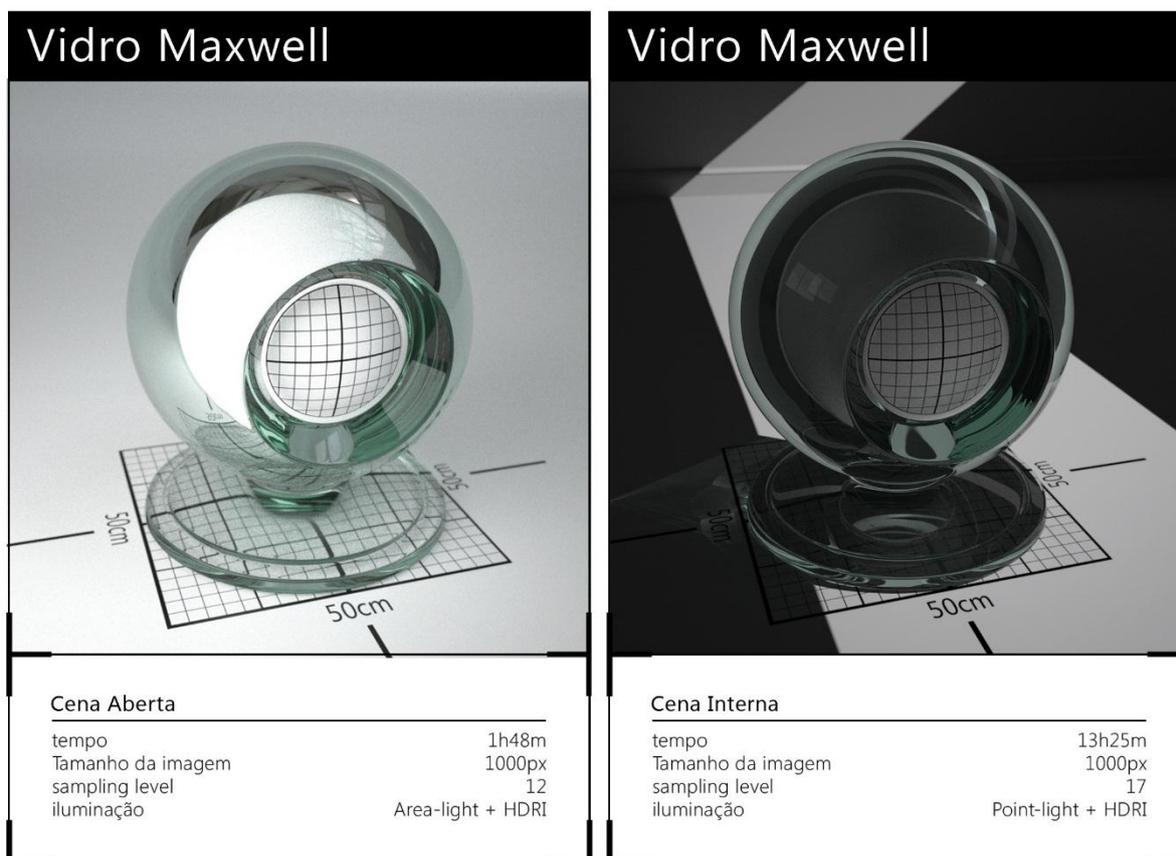
Figura 65 – Referência de vidro



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

O primeiro exemplo de material é o realizado com o software Maxwell, por conter características fisicamente corretas foi utilizado como base para recriar o mesmo material no Modo. Conforme é visível na figura 66 seu comportamento se dá de forma muito natural, não são necessárias muitas configurações para conseguir obter um bom resultado. Quando criado um material é necessário alterar a coloração do Transmittance para R:37 G:71 B:54, e o Attenuation configurado em 2m, em seguida o ND em 1,5, mantendo o Roughness em zero. Com tais parâmetros é possível recriar o mesmo material utilizado no exemplo.

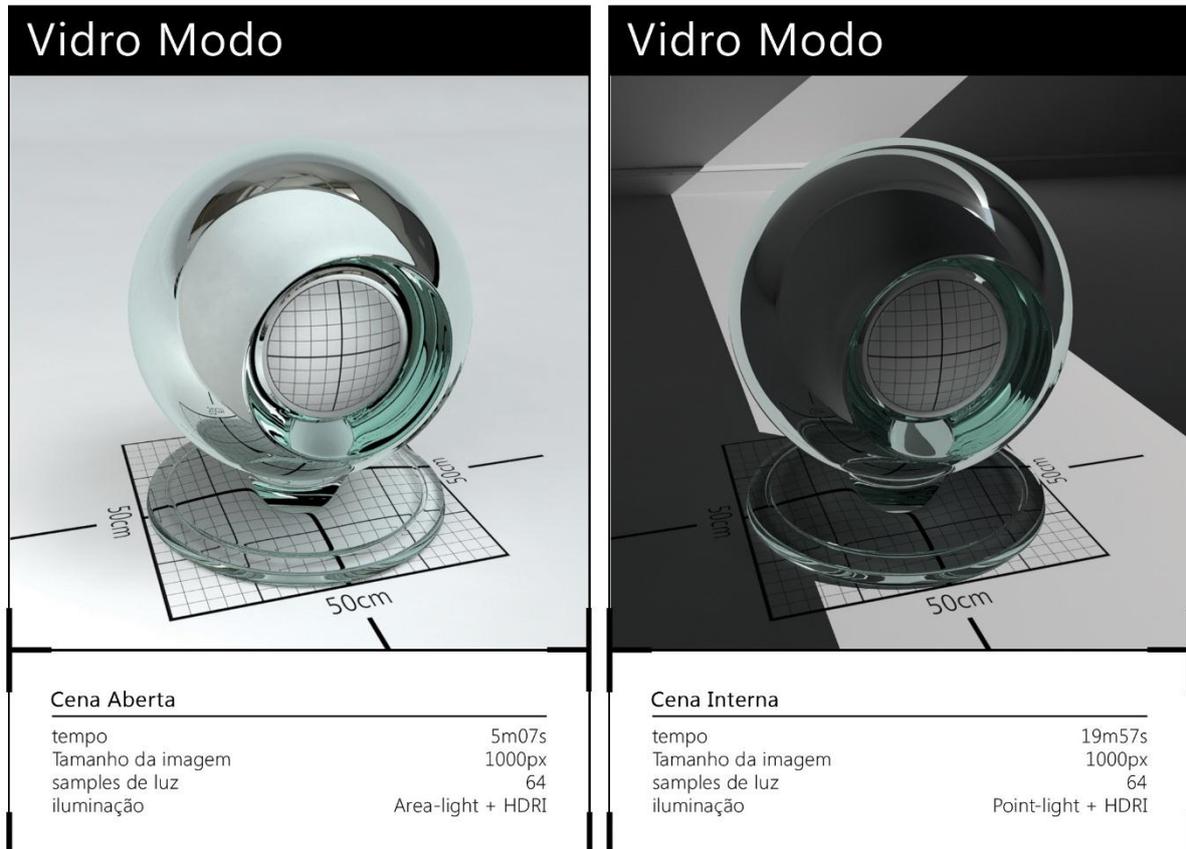
Figura 66 – Vidro Maxwell



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Para ser utilizado de forma comparativa na figura 66 temos o mesmo vidro recriado no software Modo, neste caso foi adicionado o parâmetro Caustics, para tentar aproximar ao máximo do resultado obtido no Maxwell. Para conseguir recriar tal material foi utilizado as seguintes configurações de material: 100% Transparent Amount, R:0,35 G:0,64 B:0,55, Absortion Distance de 1m e Refractive Index 1,5, com isso foi obtido um resultado o mais próximo possível do Maxwell.

Figura 67 – Vidro Modo



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Ao comparar os dois resultados de vidro é visível que o material realizado no Maxwell possui características mais realistas e se comporta de uma forma mais uniforme nas duas cenas, também deve ser destacado que mesmo com o parâmetro Causticas acionado não foi possível visualizar os desenhos de luz como os renderizados no Maxwell. Porem como visualizado nos testes de tempo fica claro que a diferença é muito maior, dessa forma o usuário pode optar por tentar configurar um material no Modo e obter um render mais breve ou se utilizar das configurações menos complexas do Maxwell e deixar o hardware fazer o resto do trabalho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cenário da computação gráfica teve um crescimento nas últimas décadas, sendo alavancado pelo aumento da capacidade de hardware. E assim levando a diversificação das áreas de atuação. Os softwares passaram a se tornar cada vez mais simples e intuitivos, sendo comercializados de forma mais abrangente possibilitando, uma ampla utilização por diversos usuários, da mesma forma novos programas voltados para áreas específicas surgiram, fomentando o mercado.

Em paralelo a tal crescimento o processo de render foi sofrendo adaptações ao longo do tempo, ganhando melhorias para conseguir criar imagens com características mais realistas em um menor período de tempo. Assim foi possível destacar dentro do algoritmo do Ray-Tracing o método de Photon Mapping, um dos mais utilizados atualmente por conta de sua velocidade de render quando comparado ao Path Tracing, este tem como principal objetivo alcançar um realismo elevado com uma qualidade de imagem superior, por tais motivos o tempo de render se torna mais elevado. Dessa forma, o presente trabalho teve o intuito de introduzir o leitor a respeito do funcionamento de dois renderizadores para assim fazer com que o processo de render seja compreendido pelo leitor, proporcionando um maior entendimento sobre os processos e algoritmos responsáveis pela criação de imagens computadorizadas.

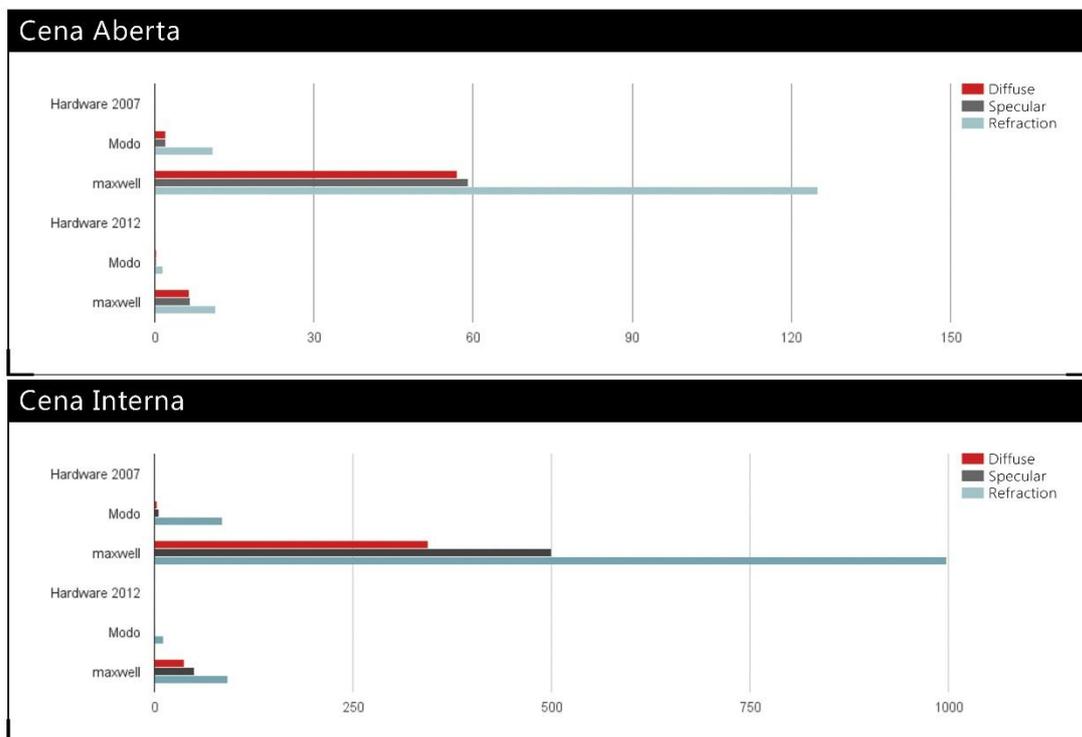
Com tal premissa o estudo inicia com uma comparação entre o tempo de render dos dois softwares, já em um segundo momento tem o intuito de apontar a qualidade física empregada em cada um dos renders, da mesma forma foram analisados os parâmetros utilizados na criação dos materiais. Para realizar tais comparações o tipo de pesquisa mais adequado foi a exploratória utilizado os shaders encontrados nos dois softwares como amostra para dessa forma, conseguir compor os dados de forma a extrair informações relevantes, de forma a auxiliar no trabalho foi utilizada a pesquisa bibliográfica coletando os dados necessários para exemplificar os processos.

O primeiro parâmetro analisado foi o tempo de render entre os dois softwares. Para isso foram utilizados dois hardwares com capacidades diferentes, para tornar o estudo mais abrangente foi realizado o experimento em duas cenas, uma em um estúdio interno e outra em um cenário aberto. Com tais variáveis foi possível analisar o tempo necessário para realizar três renders, um de um material Diffuse, um Specular e um Reflection. Com tais resultados foi

possível observar os três fenômenos de luz com diversas variáveis, tornando o estudo mais completo.

Com base neste estudo é possível visualizar na figura 68 as diferenças no tempo dedicado ao render, sempre comparando os dois renderizadores. Dessa forma é possível concluir que o renderizador Maxwell possui um tempo de render mais extenso que o Modo, com um tempo próximo de cem vezes mais quando utilizados os materiais Diffuse e Specular, já para o Refraction o tempo é dezesseis vezes maior, tais dados são provenientes do estudo utilizado a cena aberta e o hardware mais recente, dessa forma é possível constatar que quando o material possui um comportamento mais complexo como no caso do vidro a diferença de tempo entre os dois renderizadores não é tão elevada.

Figura 68 – Comparação de tempo



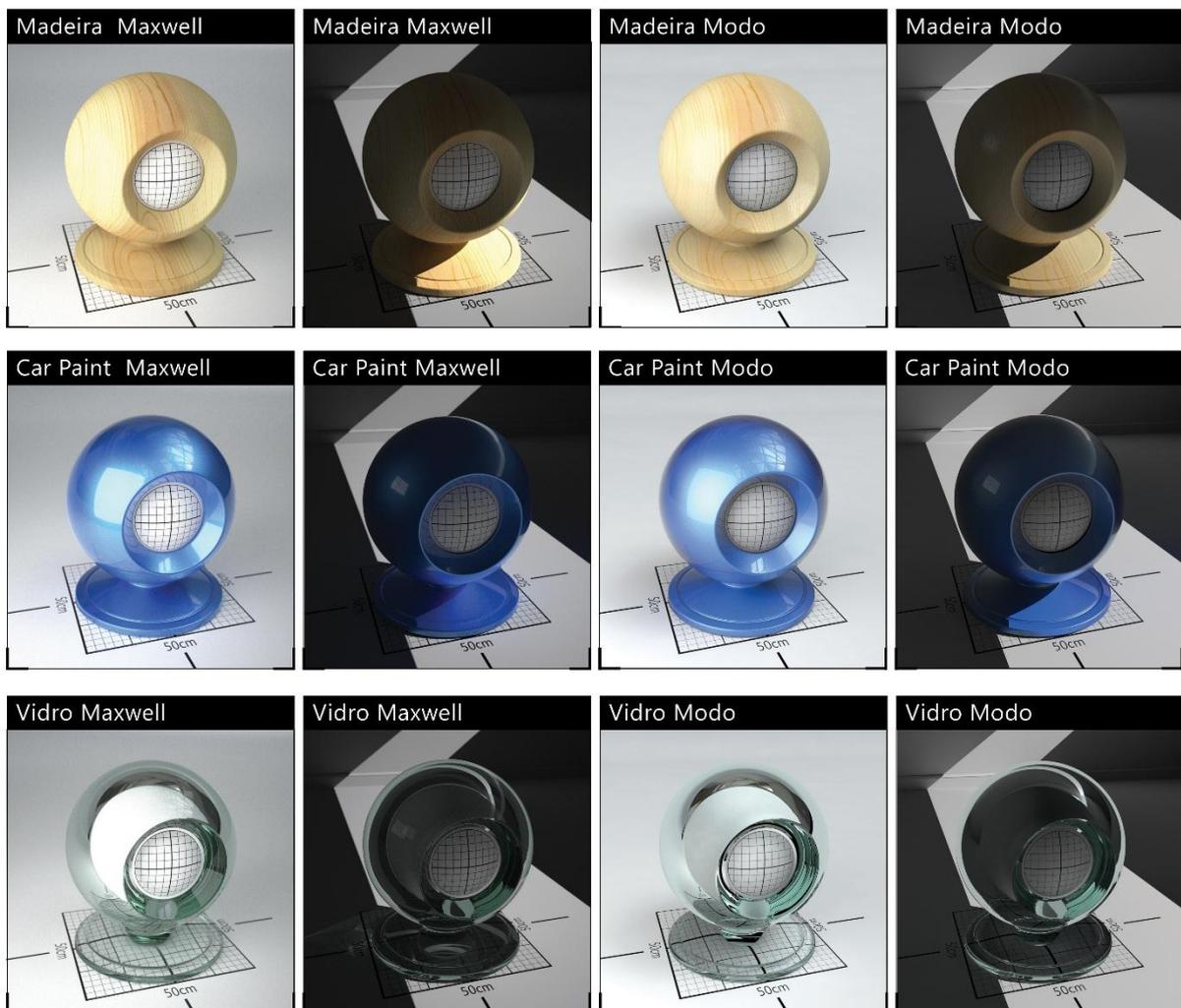
Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Ainda analisando os resultados obtidos com o estudo a respeito do tempo de render é possível constatar que a cena interna desprenhe um maior poder de processamento fazendo com que o tempo dedicado ao render seja mais extenso, tornando visível o impacto que as variáveis como o estúdio e a iluminação podem causar em um render, dessa forma é possível destacar que a diferença de tempo da cena aberta para a fechada pode chegar a quase cem vezes, assim é necessário considerar o prazo para a realização do projeto, levando em consideração a qualidade e o prazo de entrega.

Quando consideradas as configurações presentes nos shaders dos renderizadores é possível destacar que o software Maxwell possui menos variáveis quanto o renderizador do software Modo, tal característica se dá pelo princípio físico realista empregado no processo, tornando algumas configurações obsoletas. Ao analisar os parâmetros do Modo é possível realizar mais variações sem seguir um princípio físico, dessa forma é necessário um maior conhecimento da ferramenta para conseguir obter um resultado satisfatório e o tempo para configurar um material se torna mais extenso.

A segunda etapa do estudo teve o intuito de tornar tangível variações do ponto de vista estético, para isso foram recriados três materiais, um simulando madeira, outro simulando a pintura de um veículo e por último o vidro verde. Com tais imagens realizadas em duas cenas diferentes foi possível observar o comportamento de tais materiais em situações opostas, dessa forma sendo mais evidente as diferenças.

Figura 69 – Comparação dos materiais



Fonte: Autor do presente trabalho, 2015.

Conforme é visível na figura 69, os materiais representados por meio do software Maxwell possuem um comportamento mais realista e natural nos shaders Car Paint e Vidro, porém, no material de Madeira as diferenças se tornam menos evidentes. Com isso é possível constatar que o renderizador Maxwell consegue processar de forma mais realista matérias com um nível de complexidade mais elevado, porém em materiais com características mais simples o Modo consegue um resultado muito semelhante.

Ao observar os dados compilados ao longo da pesquisa foi possível concluir que o processo de render possui diversas variáveis, tanto no quesito de funcionamento, comparando os métodos de Photon Mapping e Path Tracing como em características gerais relacionadas ao estúdio e aos elementos que compõem a cena tridimensional, com o estudo foi possível mensurar tais dados de forma precisa. Tais características citadas influenciam diretamente na escolha de qual método de render mais apropriado para o trabalho. É possível destacar que quando a qualidade técnica é determinante, como no caso de produtos onde o material do objeto possui grande importância como no caso de vidros, garrafas, joias, o renderizador Maxwell é o mais indicado por conseguir reproduzir de forma tecnicamente correta os materiais e luzes.

Com um tempo de render mais extenso o Maxwell necessita um hardware mais potente, muitas vezes empresas que se utilizam deste método possuem uma central de máquinas voltadas apenas para o render, de outra forma sua utilização se torna inviável. Quando é necessário um render de uma animação ou o prazo destinado ao trabalho é menor e o usuário não possui um hardware de grande performance o processo mais indicado é utilizando do método de render Photon Mapping, por conter um custo benefício melhor e um tempo de render menor, assim é necessário comparar se a diferença de qualidade vale o tempo extra no render, por conta destas premissas o renderizador do Modo ainda é o mais indicado para um mercado de trabalho onde o prazo vem acima da qualidade.

Dessa forma a escolha entre o método adequado está diretamente relacionada ao intuito do usuário, podendo apelar a um resultado mais realista como a obter um tempo de render menor. É possível destacar que para realizar uma cena que possua materiais menos complexos o desempenho do renderizador do Modo o torna a melhor escolha, enquanto para objetos com características mais complexas onde o tempo de render não é considerado curto o renderizador Maxwell é o mais indicado.

REFERÊNCIAS

ADOBE. Disponível em: <<http://www.adobe.com>>. Acesso em: 10 maio 2014.

ALBREGTSEN Fritz. **Reflection, refraction, diffraction, and scattering** www.uio.no. 2008

Disponível em: <http://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF->

GEO4310/h09/undervisningsmateriale/imaging-kap2.pdf Acesso em 21 Abril 2015

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. Portugal: Edições 70, 2004.

BRIGGS, David. **Basics of light and shade** www.huevaluechroma.com. 2007 Disponível em: <http://www.huevaluechroma.com/021.php> Acesso em 25 de maio de 2014.

BRITO, Allan. **Blender 3D jogos e animações interativas**. São Paulo: Novatec, 2011.

BHAWAR, P; AYER, N; SAHASRABUDHE, S. **Methodology to create optimized 3D models using Blender for Android devices** it.iitb.ac.in/. Disponível em: http://www.it.iitb.ac.in/~s1000brains/Sameer_Sahasrabudhe_Mar2014/publications/T4E2013.pdf 25 de abril de 2015.

BIRN, Jeremy. **Lighting & Rendering**. Berkeley: New Riders, 2006.

CALCIOLARI, Fabio. **3DS Max 2009**. São Paulo: Érica Ltda, 2009.

CRISTENSEN, P.; JENSEN, H.; KATO, T.; SUYKENS, F. **A practical Guide to Global Illumination Using Photon Mapping**. Siggraph, 2002.

DRIMEYER, Thomas. **Rendering with Mental Ray**. New York: Springer-Verlag Wien, 2001.

FERRARI, F.; CECHINEL C. **Introdução a Algoritmos e Programação**. UFRGS, Porto Alegre, 2008.

FRANSON, David. **The dark side of game texturing**. Boston: Thompson Course Technology, 2004.

FUSSELL, Don. **Ray Tracing** cs.utexas.edu. 2010. Disponível em: http://www.cs.utexas.edu/users/fussell/courses/cs384g/lectures/lecture09-Ray_tracing.pdf. Acesso em 23 de abril de 2015.

GIL, Antonio. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

GOLDENBERG, Mirian. **A arte de pesquisar**. Rio de Janeiro: Editora Record, 2004.

GUEDES, Robson. **História da Computação Gráfica**. Brasília. 2010.

HENDERSON, Tom. **Reflection and the ray model of light**. Physicsclassroom.com
Disponível em: <http://www.physicsclassroom.com/class/refln/Lesson-1/Specular-vs-Diffuse-Reflection> 26 de abril de 2015.

IASBECK, Luis. **A arte dos Slogans**. São Paulo: Annablume, 2002.

JENSEN, H; AKENNINE-MÖLLER, T. **American Scientist**, p.132-139, 2010 Disponível em:
<http://cybertron.cg.tu-berlin.de/lessig/teaching/2011/ais/data/american_scientist.pdf>.
Acesso em: 17 nov. 2014.

JENSEN, H; CHRISTENSEN, P. **High Quality Rendering Using Ray Tracing and Photon Mapping**. Siggraph 2007 Course 8. 2007

JENSEN, H; MARSCHNER, S; LEVOY, M; HANRAHAN, P. **A practical Model for Subsurface Light Transport**. Siggraph, 2001.

KERLOW, Isaac. **The art of 3D computer animation and effects**. New Jersey: Wiley, 2004.

LUCENA, Alberto. **Arte da Animação**. São Paulo, 2001.

LUEBKE, D; REDDY, M; COHEN, J; VARSHNEY, A; WATSON, B; HUEBNER, R. **Level of Detail for 3D Graphics**. São Francisco; Elsevier Science, 2003.

MALHOTRA, Naresh. **Pesquisa de Marketing**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2011.

MANSSOUR, I.; COBEN, M. **Introdução a Computação Gráfica**. Revista de Informática Teórica e Aplicada, São Paulo, 2006.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. **Técnicas de Pesquisa**. São Paulo: Editora Atlas, 2006.

MATTAR, Fause. **Pesquisa de Marketing**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2012.

MINAYO, Maria. **Pesquisa Social**. Petrópolis: Editora Vozes, 2001.

MUNDI, A. WIEDEMANN, J. **Animation Now**. Italia: Taschen, 2004.

PATMORE, Chris. **The Complete Animation Course**. London: Barron's Educational Series Inc.

RADFAHRER, Luli. **Enciclopédia da Nuvem**. São Paulo: Elsevier Editora Ltda, 2012.

RIDOLFI, L.; COLCHER, S. **3Ds max 7: Guia Autorizado Discreet**. São Paulo: Elsevier Editora Ltda, 2005.

ROBERTSON, S.; BERTLING, T. **How to Render**. Culver City: Design Studio Press, 2014.

ROESCH, Sylvia. **Projetos de estágio e de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas S.A. 1999.

RYER, Alex. **Light Meadurement Handbook** dfisica.ubi.pt Disponível em:
<http://www.dfisica.ubi.pt/~hgil/fotometria/HandBook/ch03.html>. Acesso em 24 Abril 2015.

SHIRLEY, P; HU, H; SMITS, B; LAFORTUNE, E. **Pacific Graphics**, 1997 Disponível em:
<http://www.cs.utah.edu/~shirley/papers/pg97.pdf>. Acesso em: 21 abril 2015.

SLICK, Justin. **10 films that revolutionized computer graphics** 3d.about.com. 2011.
Disponível em: <http://3d.about.com/od/3d-at-the-Movies/tp/10-Films-That-Revolutionized-Computer-Graphics-Part-1.htm>. Acesso em 19 de março de 2015.

SLICK, Justin. **What is Rendering?** 3d.about.com. 2014. Disponível em:
<http://3d.about.com/od/3d-101-The-Basics/a/Rendering-Finalizing-The-3d-Image.htm>.
Acesso em 11 de abril de 2014.

SNOWLING, M.; HULME, C. **Propaganda Série A**. Bookman, 2013.

STEEN, Joep. **Rendering with mental ray: 3Ds max**. Massachusetts: Elsevier Inc, 2007.

ZICKMUND, William. **Princípios da pesquisa de marketing**. São Paulo. 2006.

WEISHAR, Peter. **Moving Pixels: Blockbuster Animation, Digital Art and 3D Modeling Today**. London: Thames & Hudson Ltd, 2004.

WITT, Bob. **Iluminationg With HDRI** modonize.com. Disponível em:
<http://www.modonize.com/Communities/Members/1/Bob%20deWitt/HDRI.pdf> Acesso em 19 de abril de 2015.