

4

Método proposto

Ao se aplicar técnicas de visualização volumétrica, devem ser levadas em conta as características específicas do dado a ser visualizado, de forma a tratá-las da melhor maneira possível. Em se tratando de dados sísmicos, alguns fatores decorrentes do processo de aquisição, como possuir um carácter bastante denso com grande presença de ruído (amenizado após o empilhamento do dado), bem como a formação das rochas presentes no solo, fazem com que o dado possua uma geometria muito complexa.

Nesse contexto, faz-se necessária uma iluminação mais realista, através de modelos que simulem a iluminação global interagindo com o volume sísmico. Com isso, é possível que a geometria do dado seja mais bem revelada, sobretudo nas regiões do volume que possuem concavidades acentuadas, evidenciando feições estruturais sísmicas que indiquem a presença de reservatórios de hidrocarbonetos a serem explorados.

Uma das feições mais importantes de serem identificadas são os horizontes, que podem ser visto como transições entre diferentes materiais de rochas. Eles não apresentam uma boa coerência entre os materiais em sua vizinhança em se tratando da amplitude do dado sísmico, o que torna difícil a extração de iso-superfícies no dado.

O método proposto neste trabalho é baseado no modelo introduzido por Schott et. Al [4]. Foi adotada uma abordagem de visualização volumétrica baseada no algoritmo de traçado de raios ao invés da baseada na renderização de fatias. O modelo de iluminação por oclusão direcional é utilizado, avaliando a equação de transporte da radiância ao longo de cada raio.

Um requisito crucial em visualização volumétrica é se ter uma visualização interativa, sendo essencial ao intérprete que estiver analisando e manipulando o dado sísmico. Para isso, foi utilizada a arquitetura CUDA, voltada a programação paralela em placa gráfica.

São visualizados volumes sísmicos que possuem uma grade regular associada, com os valores da amplitude sísmica representados tanto por 8 bits, quanto volumes que possuem 32 bits de informação por voxel. No caso de uma representação de 8 bits, existem 256 valores inteiros possíveis, para se

atribuir a cada voxel, mapeando-os segundo uma função de transferência com 256 quádruplas de cor e opacidade. Já para a representação de 32 bits, é adotada precisão de ponto flutuante, permitindo-se uma representação mais fiel do dado, possibilitando se trabalhar com uma escala de valores muito maior para realizar o mapeamento tanto da cor quanto da opacidade.

É possível manipular de forma interativa os parâmetros de visualização, tais como a função de transferência relativa à cor emitida pela amostra e o coeficiente de absorção de luz. Uma restrição do método é a direção da iluminação, definida como sendo oriunda do observador.

Na próxima seção é apresentado o algoritmo proposto. Detalhes relacionados à implementação são discutidos na Seção 4.2, sendo o controle dos parâmetros do método proposto abordados na Seção 4.3.

4.1

Algoritmo

O método proposto para visualização dos volumes sísmicos foi a visualização volumétrica baseada no algoritmo de traçado de raio. Esse método é bastante flexível, uma vez que simula a energia radiante de acordo com seus raios de luz. Para cada raio é avaliado o modelo de iluminação por oclusão direcional proposto por Schott [4], capturando-se a cor emitida por cada amostra de acordo com a absorção da luz, e levando-se em conta a contribuição de luz ambiente no meio à iluminação da partícula.

Partindo da posição do observador, para cada pixel da tela é lançado um raio. Esse raio é definido de acordo com a interseção do raio com os planos de projeção da tela, plano anterior do volume de visão (near plane) e plano posterior (far plane), como pode ser visto na Figura 4.1, sendo o raio (\vec{r}), definido por $\vec{r}(t) = \vec{n} + t(\vec{f} - \vec{n})$.

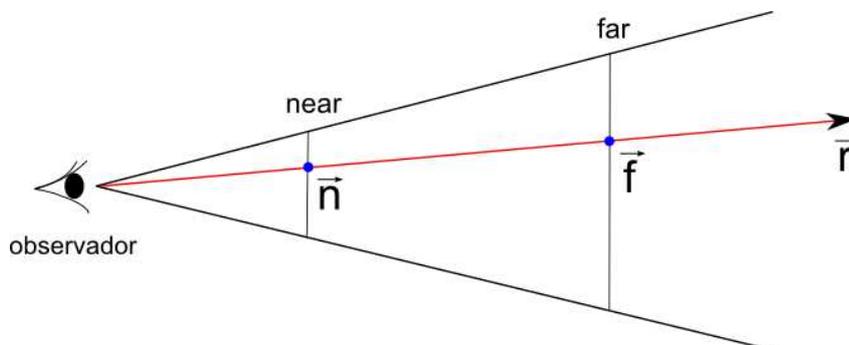


Figura 4.1: Interseção do raio com os planos que definem o volume de visão da cena.

No método proposto, foi utilizado o modelo de iluminação por oclusão direcional, avaliando a equação (3-10), para cada raio, através de amostras

do volume extraídas a intervalos regulares (Δt) na trajetória do raio. Essas amostras são utilizadas para se consultar uma função de transferência, a qual realiza o mapeamento do valor da amostra na cor emitida pelo material, bem como na informação de sua opacidade. Segundo esse modelo, assume-se que a energia radiante ambiente em um raio vai diminuindo, devido a perda de energia causada pelo grau de opacidade nas amostras em sua trajetória.

Analisando-se a Equação (3-10), retirando-se a componente que representa a radiância segundo a dispersão de entrada da luz, tem-se $L_i(\vec{x}', \vec{w}) = L_a V(\vec{x}', \vec{w}) = 1$, que seria responsável pelo efeito de iluminação global do modelo. Adotando-se apenas a opacidade da amostra para representar a absorção de energia radiante, e sendo a cor emitida o coeficiente de cromaticidade (σ_s), tem-se o modelo clássico de visualização volumétrica, o de emissão e absorção proposto por Wilson e Max [7].

Dessa forma, a avaliação da equação do modelo de iluminação por oclusão se resume a realizar a visualização volumétrica segundo o modelo de emissão e absorção, considerando a luz ambiente atenuada pelo fator de visibilidade $V(\vec{x}', \vec{w})$. A computação do fator de visibilidade é baseada na opacidade das amostras do volume e será abordada na próxima subseção.

Logo, para cada pixel da imagem correspondente a um raio, são capturadas amostras na trajetória do raio, que fornecem os valores da cor emitida pela amostra e a opacidade da mesma. A contribuição dessa amostra à cor final do pixel é dada pelo produto da cor emitida, opacidade, luz ambiente e fator de visibilidade. Essa amostra é acumulada em um buffer, fazendo a composição do valor existente no buffer segundo o operador *over* [24].

4.1.1

Atualização do fator de visibilidade

Para cada amostra do volume na trajetória do raio, é calculado o fator de visibilidade, que pondera o quanto da luz presente no ambiente chega à partícula e representa a radiação dispersada no meio que entra na amostra do volume. No modelo de iluminação por oclusão direcional [4], é realizada a integração da radiância dissipada pelos raios de luz em torno do ponto a ter seu fator de visibilidade definido, de acordo com a equação:

$$V(\vec{x}', \vec{w}) = \int_{S^2} T(\vec{x}', x'_{0,i}) \Phi(\vec{w}, \vec{w}') d\vec{w}_i \quad (4-1)$$

para tanto, é utilizada a função de fase cônica $\Phi(\vec{w}, \vec{w}')$, definida pela Equação (3-6), para simular a dispersão em torno de um ponto \vec{x}' , restringindo a região de incidência dos raios de luz.

A fim de se obter esse fator de visibilidade, sem a necessidade de se recalculer o decaimento ótico ao longo de toda a trajetória da luz, é utilizado um buffer bidimensional para guardar a informação do fator de visibilidade para cada raio. Pode-se referenciar esse buffer como sendo o buffer de oclusão, que acumula o fator de visibilidade que irá atenuar a luz ambiente que chega a uma amostra do volume.

A medida que os raios avançam, do observador até o volume, o buffer de oclusão é atualizado, de forma a acumular a oclusão que a amostra na trajetória do raio exerce ao transporte de luz. A Figura 4.2 ilustra a acumulação da oclusão, atualizando o buffer de oclusão baseando-se nos valores presentes no buffer anterior.

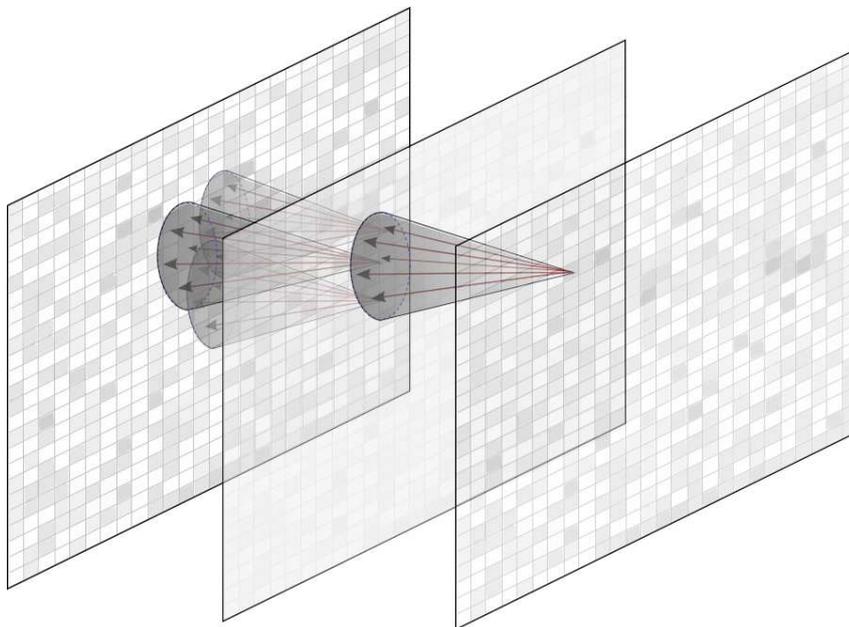


Figura 4.2: Propagação do buffer de oclusão.

Para aumentar a eficiência, pode-se definir o intervalo em que o buffer de oclusão será atualizado (Δb). A Figura 4.3 mostra o intervalo de amostragem do raio (a), e o intervalo de atualização do buffer de oclusão, sendo em (b) um intervalo similar a amostragem do raio, igual a 1, e em (c) um intervalo de oclusão três vezes maior que o intervalo de amostragem do raio. Considera-se que o valor de oclusão é constante dentro do intervalo. Dessa forma, quanto maior for o intervalo de oclusão, menos precisa será a estimativa do fator de visibilidade.

A atualização do buffer de oclusão é realizada utilizando um buffer de oclusão auxiliar. São integrados elementos em uma vizinhança de interesse no buffer de oclusão corrente, definido o fator de visibilidade atualizado e atribuindo-o ao buffer auxiliar. Após o buffer de oclusão auxiliar estar

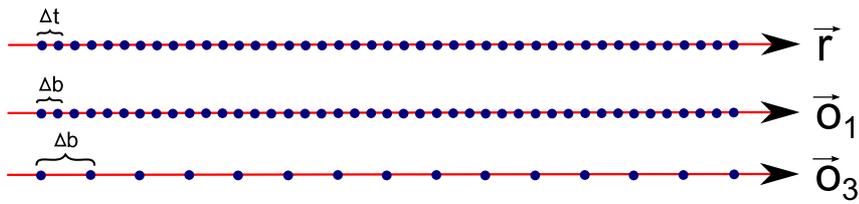


Figura 4.3: (a) Intervalo de amostragem do raio traçado (Δt); (b) intervalo de atualização do buffer de oclusão, com a mesma dimensão do intervalo de amostragem do raio, $\Delta b = 1$; (c) intervalo de atualização do buffer de oclusão, 3 vezes maior que o intervalo de amostragem do raio, $\Delta t = 3$.

completamente preenchido, é realizada uma permutação entre o buffer auxiliar e o corrente. Com isso, os fatores de visibilidade atualizados são utilizados durante todo o intervalo de oclusão seguinte.

A vizinhança que terá influência na atualização do fator de visibilidade é definida pela função de fase cônica de dispersão da luz, bem como pelo intervalo de oclusão. A vizinhança de interesse é representada pela base do cone de raio (r), definido pelo produto entre o intervalo de oclusão e pela tangente do ângulo de abertura da função de fase cônica ($r = \Delta b \cos \theta$). A Figura 4.4 mostra a determinação do fator de visibilidade baseando-se na vizinhança de influência.

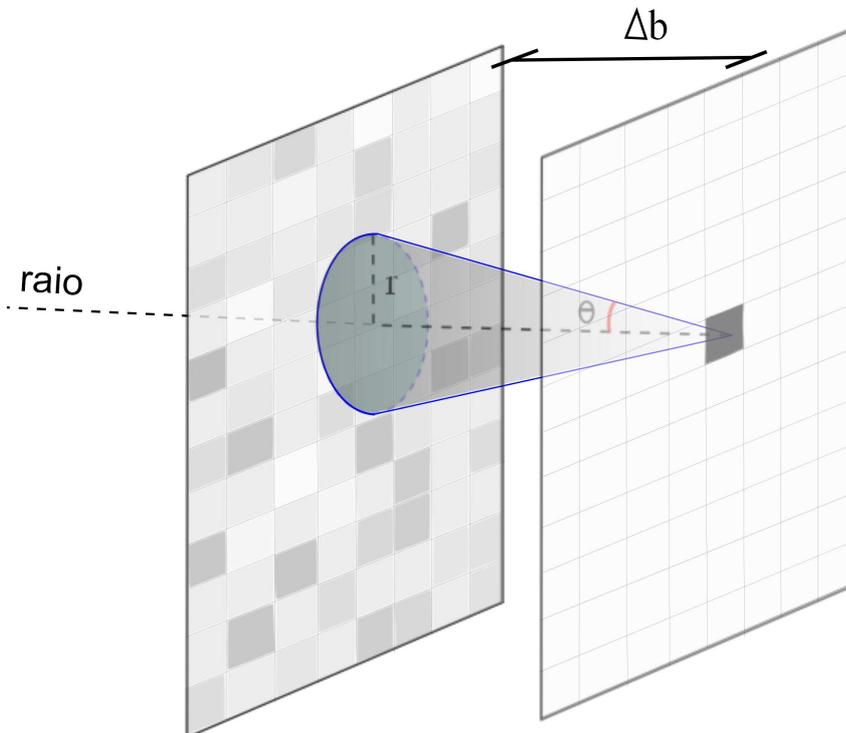


Figura 4.4: Vizinhança de influência da oclusão.

É realizada uma amostragem no buffer de oclusão dentro dessa vizinhança, ponderando-as pela transparência da amostra do volume. A utilização de uma amostragem regular, com 8 amostras do buffer, permitiu que a oclusão

fosse bem capturada. Além disso, considerou-se que as amostras do volume nessa vizinhança de influência, estavam situadas a uma mesma distância em relação a amostra do volume a ter o fator de visibilidade definido, possuindo dessa forma a mesma influência à transmissão da luz. Com isso, utilizou-se uma média aritmética dos 8 valores no buffer de oclusão, atenuando essa oclusão na trajetória do raio pelo grau de transparência (1-opacidade) da amostra do volume.

Os elementos mais opacos nessa vizinhança vão permitir que uma quantidade reduzida de luz chegue até a amostra, ocorrendo o inverso com elementos mais transparentes. A oclusão de um elemento vai influenciar as amostras subsequentes a ele, acumulando assim a oclusão para todos os elementos no volume.

A utilização desse buffer de oclusão permite que seja simulado o efeito de uma iluminação global para o ponto, mantendo a interatividade da visualização. Uma vez que a oclusão que já foi computada é acumulada, não há necessidade de se reprocessar a transmissão da luz ambiente em todo seu caminhoamento, apenas na nova vizinhança em que o raio avançou.

4.2

Detalhes da implementação

A fim de se garantir uma visualização interativa, foi utilizada a arquitetura CUDA, obtendo a paralelização através de um Kernel que para cada pixel da tela, utiliza uma thread responsável pela travessia do raio ao longo de um intervalo de oclusão, bem como a computação relativa à acumulação da oclusão. Como essa travessia foi realizada no espaço do objeto, os voxels na trajetória do raio puderam ser acessados diretamente pela coordenada do ponto do raio.

O espaço de caminhoamento do raio é restringido através do cálculo da interseção do raio com o volume. Em razão da natureza regular do dado 3D esse cálculo é trivial, bem como a determinação dos pontos de entrada e saída do raio no volume, respectivamente o t mínimo e o t máximo.

Para cada raio, é computado o modelo de iluminação por oclusão direcional [4] nas amostras do volume ao longo da trajetória do raio. É utilizada uma função de transferência definida por uma textura 1D, onde cada elemento RGBA representa as propriedades físicas de cor e opacidade, para um dado valor do volume. O valor da amostra do dado sísmico é quantizado (de zero até um), realizando-se o acesso na textura. É ainda acessado o fator de visibilidade acumulado até o ponto do raio, presente no buffer de oclusão. Sendo posteriormente calculado o novo fator de visibilidade a partir da amostragem

no buffer de oclusão, ponderada pela opacidade da amostra do volume.

Logo a contribuição desse ponto do raio para a cor do pixel da tela será dado pela combinação da cor, opacidade, luz ambiente e fator de visibilidade propagado (atenuando a luz ambiente). Essa contribuição é adicionada ao buffer que acumula a cor final de cada pixel na tela, segundo uma composição linear dos canais alpha. As particularidades da atualização do buffer de oclusão serão abordadas na próxima subseção.

No final do processo, a cor resultante de cada pixel estará armazenada em um buffer, o qual será copiado para uma textura e exibido com o OpenGL [25].

4.2.1

Atualização do buffer de oclusão

Para atualizar o valor de um elemento do buffer de oclusão, é necessário se ter previamente a informação da oclusão propagada na vizinhança desse elemento. Dessa forma, deve-se garantir que no momento anterior à atualização do buffer, a oclusão já foi propagada em todos os raios percorrendo o volume em paralelo.

Para isso é necessário um mecanismo de barreira, sincronizando os raios antes da atualização. Para garantir que toda a vizinhança de um ponto já foi propagada, utilizou-se a interrupção do Kernel no ponto em que a informação da oclusão deve ser atualizada. Uma vez computados os novos fatores de visibilidade para o buffer de oclusão nesse ponto, é lançado novamente o kernel até encontrar o próximo ponto de atualização da oclusão (próxima barreira, definida pelo intervalo de oclusão). A Figura 4.5 exemplifica a interrupção e relançamento do kernel de threads, em um mesmo kernel, cada amostra utiliza o mesmo fator de visibilidade, sendo esse fator alterado (ou não), no próximo ponto de atualização do buffer de oclusão.

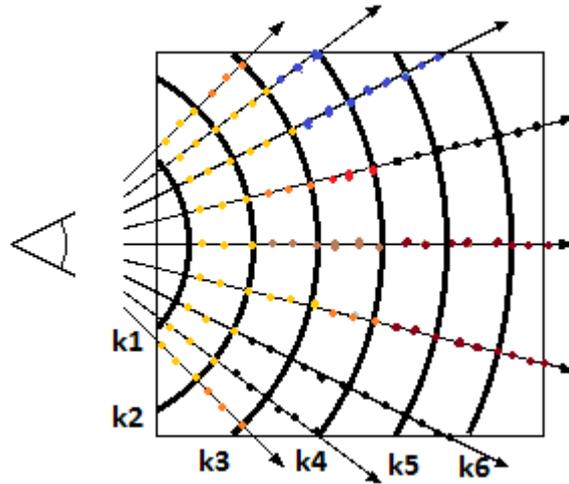


Figura 4.5: Pontos de sincronização para atualização do buffer de oclusão. Cada novo lançamento do kernel é enumerado como k1, k2, k3, etc.

O acesso às amostras do buffer de oclusão corrente para a atualização do fator de visibilidade no buffer de oclusão auxiliar é realizado da seguinte forma: São amostrados elementos na vizinhança de influência definida pela base do cone (ao redor da amostra do volume). Como o percorrimento do raio é feito no espaço do objeto (volume sísmico), é necessário converter os pontos para o espaço do buffer de oclusão (espaço de textura). Deve-se utilizar um fator de correção na projeção perspectiva relativo à distância do ponto a propagado. Dessa forma pode-se compensar o tamanho diferente da base dos cones na tela.

O fator de correção da projeção, \vec{c} é computado pela Equação (4-2), onde P é a matriz de projeção e z a coordenada do ponto de interesse no espaço do olho.

$$\vec{c} = \begin{pmatrix} \frac{\vec{x}_d}{\vec{w}_d} \\ \frac{\vec{y}_d}{\vec{w}_d} \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \vec{x}_d \\ \vec{y}_d \\ \vec{z}_d \\ \vec{w}_d \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4-2)$$

As coordenadas são geradas de acordo com as equações (4-3) a (4-5), obtidas no disco que define a vizinhança de influência da oclusão, onde a posição de cada amostra é dada por \vec{p} , no espaço normalizado do buffer, e \vec{xy}'_d é a coordenada do ponto projetada no espaço normalizado, obtida pela projeção da posição \vec{xy}'_c no espaço de clipping. O fator de correção \vec{c} e a posição do ponto \vec{p} são multiplicados componente a componente, sendo adicionados a \vec{xy}'_d , como pode ser visto na Equação (4-4).

$$\vec{xy}'_d = \frac{\vec{xy}'_c}{\vec{w}_c} \quad (4-3)$$

$$\vec{p}_d = xy'_d + \vec{c} \otimes \vec{p} \quad (4-4)$$

$$\vec{p}_t = 0.5\vec{p}_d + \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \end{pmatrix} \quad (4-5)$$

Para acessar os valores no buffer de oclusão, a posição da amostra normalizada \vec{p}_d é transformada para o espaço de textura, Equação (4-5). Por fim, para se computar a aproximação do termo de visibilidade, é feita a média de todas as amostras lidas no buffer de oclusão, utilizando suas coordenadas calculadas \vec{p}_t e atenuando a oclusão pela radiância dissipada (1-opacidade).

4.3

Parâmetros do método

Os parâmetros que controlam a visualização podem ser alterados interativamente. São utilizados parâmetros para se visualizar diferentes elementos no volume, controlar a região de dispersão da luz ambiente no meio, bem como controlar os efeitos causados por essa luz.

Através da parametrização é possível se balancear a qualidade visual com o custo computacional. Pode-se, por exemplo, utilizar uma visualização de menor qualidade ao se manipular o modelo, e ao encerrar a manipulação utilizar o máximo da qualidade e, conseqüentemente, o máximo de processamento.

Os parâmetros envolvidos na visualização dos dados são:

Função de transferência: Mapeia os valores presentes nos voxels do volume em uma cor e opacidade, permitindo que sejam visualizadas partes diferentes do volume, através da manipulação da opacidade associada a determinados valores, além de permitir a alteração da cor RGB que representa esses valores.

Intervalo de atualização da oclusão: Indica o tamanho do intervalo (de amostras no raio) em que o buffer de oclusão deve ser atualizado. Permite que a visualização seja realizada de forma mais eficiente, apesar de estimar de forma menos correta a oclusão para os pontos no intervalo, uma vez que a oclusão relativa a primeira amostra será utilizada para todas as amostras nesse intervalo de oclusão.

Região de dispersão da luz: A região de dispersão da luz é dada pela função de fase cônica, alterando-se o ângulo de abertura dessa função pode-se permitir uma maior ou menor dispersão da luz ambiente.

Número de amostra por raio: É responsável pela discretização da integral que avalia os efeitos da luz nas amostras do volume. Permite se balancear

a eficiência e a qualidade visual alterando-se a quantidade de amostras por raio.

Os efeitos causados a visualização devido a manipulação dos parâmetros serão apresentados e discutidos no próximo capítulo.