

Manual da rotina MODMAC2D fonte pontual.

Luiz Alberto Santos^{*†}

**Universidade Federal Fluminense (UFF)*

Instituto de Geociências (EGG) - Sala 402

Departamento de Geologia e Geofísica (GGO)

Campus da Praia Vermelha

Av. Gen. Milton Tavares de Souza, s/n

Boa Viagem - Niterói - RJ - CEP: 24210-346

email: luizalb1@gmail.com

†Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras)

Av. República do Chile 330, Torre Leste, 12 andar

Centro - Rio de Janeiro, RJ - CEP: 20031-170

(December 24, 2018)

Running head:

ABSTRACT

INTRODUÇÃO

Este texto tem como objetivo descrever como empregar o programa *modmac2d* criado durante o curso Introdução a Modelagem sísmica ministrado pelo autor no segundo semestre de 2018 no Departamento de Geologia e Geofísica da Universidade Federal Fluminense. O programa *modmac2d* tem finalidades didáticas e acadêmicas. Ele permite calcular o sismograma na superfície - cota $z=0$ - dada a posição de uma fonte (pontual), o campo de velocidades compressionais em duas dimensões e uma série de parâmetros descritos nos tópicos a seguir.

DESCRIÇÃO

O programa *modmac2d* roda em sistema operacional Linux e é composto de duas partes principais: uma interface em Python e o executável da rotina de modelagem/simulação. A interface em Python exibe o *frontend* contendo os campos a serem preenchidos além de botões de funções. A rotina de modelagem foi desenvolvida em C++, resolve o campo de ondas numericamente pelo método das diferenças finitas (quarta ordem no espaço e segunda no tempo) para meios acústicos, de acordo com a equação 1.

Além da interface gráfica e da rotina de simulação, o *modmac2d* precisa que o pacote Seismic Un*x (SU) (Stockwell e Cohen, 1998) esteja instalado. A visualização do sismograma gerado e dos instantâneos é feita com rotinas do próprio SU.

$$\nabla^2 U - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = f \quad (1)$$

O *modmac2d* demanda uma estrutura com diretórios a saber:

Modelagem sísmica com fonte pontual

Parâmetros de modelagem:

Diretorio do modelo:	modelo
Diretorio de modelagem:	modelagem
Numero de celulas na direcao x:	416
Numero de celulas na direcao z:	160
Dimensao do grid (m):	10.
Amostragem temporal (s):	0.001
Frequencia da fonte (Hz):	10.
Numero de passos da simulacao:	1500.
Intervalo entre os instantaneos:	100.
Numero de amostras da borda de atenuacao:	100.
Parametro de atenuacao da borda (Cerjan):	0.0008
Subamostragem do sismograma:	1
Wavelet:	1
Arquivo de velocidade:	vp.bin
Posicao da fonte:	
Posicao X da fonte (amostras):	0
Posicao Z da fonte (amostras):	0
Análise de instantaneos:	
Instantaneo:	0

Figure 1: Interface para modelagem sísmica e análise.

- diretório com o executável nomeado bin;
- diretório com o modelo de velocidade com nome informado pelo usuário e;
- diretório com o resultado da modelagem com nome informado pelo usuário.

APLICAÇÃO

Neste tópico exemplifica-se o uso do *modmac2d* com uma demonstração (demo) disponível no site *faladaterra.com*, aba Especialidades. Na sessão Modelagem Sísmica, clicando no formulário da Figura 1, será acionado o procedimento de *Download* do arquivo *demo_modmac_py.tar*. Depois de baixar este arquivo, copie-o para o diretório de trabalho que desejar. Em seguida você deverá executar o comando:

```
tar -xvf demo_modmac_py.tar
```

O comando acima irá descompactar os arquivos necessários para execução. O produto da descompactação estará contido no diretório *demo_modmac.py*. Para se assegurar que os programas rodarão, dentro do diretório *demo_modmac.py* execute por linha de comando:

```
chmod +x modmac2d.py
```

e em seguida:

```
chmod +x bin/accel2d_p2
```

Os comandos acima tornam os arquivos *modmac2d.py* e *accel2d_p2* executáveis, caso eles não tenham sido reconhecidos como tal no processo de descompactação.

O diretório *demo_modmac.py* possui um sub-diretório *bin* que contém o executável de modelagem sísmica e um diretório nomeado *modelo* que contém o campo de velocidade modificado Marmousi (criado pelo Instituto Francês do Petróleo - IFP - em 1988). Os requisitos para plena execução do programa *modmac2d* são: sistema operacional Linux; ter o pacote livre Seismic Un*x (SU) (Stockwell e Cohen, 1998) instalado e; as bibliotecas básicas do Python.

Para iniciar a aplicação, dentro do diretório *demo_modmac.py*, devemos digitar o comando:

```
python modmac2d.py
```

Logo em seguida aparecerá janela exibida na Figura 1. Todos os campos já se encontram preenchidos adequadamente para uso do *demo_modmac.py* a saber:

- Diretório do modelo: diretório onde se encontra o arquivo binário com o campo de velocidade. Para este demo temos o arquivo binário *marm.bin*
- Diretório de modelagem: diretório onde ficarão armazenados o sismograma e os instantâneos salvos durante a modelagem.

- Número de células na direção x: Número de amostras em X ou traços do modelo de velocidade. Neste demo o arquivo marm.bin possui 416 amostras na direção X (horizontal).
- Número de células na direção z: Número de amostras em Z do modelo de velocidade. Neste exemplo, o arquivo marm.bin tem 160 na direção Z (vertical).
- Dimensao do grid (m): Corresponde à dimensão das células na direção X e Z. O grid é quadrado e fornecido em metros. Neste exemplo o grid tem 10 metros.
- Amostragem temporal (s): Informar o intervalo de amostragem de tempo da solução por diferenças finitas em segundos. Neste exemplo estamos utilizando 0.001s. O sismograma gerado, por simplicidade, sairá com essa amostragem.
- Frequencia da fonte (Hz): Informar a frequência dominante da fonte sísmica em Hz. Para a fonte Ricker, aqui empregada, a frequência dominante constitui 1/3 da frequência de corte (máxima). Neste exemplo estamos empregando 10 Hz.
- Numero de passos da simulacao: Número total de passos da modelagem ou simulação. Este número multiplicado pela amostragem temporal constitui o tempo total em segundos da simulação. Neste demo empregamos 1500 passos.
- Intervalo entre os instantaneos: O programa *modmac2d* permite salvar o campo de ondas em determinados instantes da simulação. Este recurso constitui ferramenta bastante útil na análise da propagação de ondas. Assim o valor colocado neste campo constitui o intervalo em que os instantâneos serão salvos. Neste exemplo estão sendo salvos instantâneos a cada 100 passos.
- Numero de amostras da borda de atenuacao: Numero de amostras que deve ser colocado em cada face do modelo para atenuar o campo de ondas. Neste exemplo aplicamos 100 amostras.
- Parametro de atenuacao da borda (Cerjan): Parametro que deve ser empregado na borda

para decaimento exponencial da amplitude. Um valor razoável para esta implementação é 0.0008.

- Subamostragem do sismograma: Se empregar 1, não haverá subamostragem do sismograma. Qualquer valor maior que 1, seja N indicará subamostragem correspondente, ou seja, de N em N amostras. Neste caso o sismograma

- Wavelet: Valor padrão e único é 1, para fonte Ricker. Mais tarde serão adicionados mais tipos de fontes.

- Arquivo de velocidade: Indicar o nome do arquivo de velocidade. Este arquivo deve ser colocado no diretório modelo/ou outro nome que esteja adequadamente informado neste campo. Para o exemplo do *demo_modmac2d.py* o arquivo marm.bin é empregado. Trata-se de uma versão modificado do modelo Marmousi.

- Posicao X da fonte (amostras): Posição da fonte referida ao eixo X em amostras. O valor padrão é 0. Neste exemplo o usuário pode empregar qualquer valor entre 0 e 415, pois temos 416 amostras no eixo horizontal.

- Posicao Z da fonte (amostras): Posição da fonte referida ao eixo Z em amostras. O valor padrão é 0. Neste exemplo o usuário pode empregar qualquer valor entre 0 e 159, pois temos 160 amostras no eixo vertical.

- Instantaneo: O usuário pode informar o número do passo ou instante que deseja ver o campo de onda. Trata-se de uma fotografia do campo de ondas no passo correspondente. Neste exemplo, empregamos 1500 passos. Os passos disponíveis são o Número de passos da simulação menos 500. Neste demo temos disponíveis os passos de 0 a 900 de 100 em 100.

Abaixo dos campos a serem preenchidos para simulação, há cinco botões de ações:

Visualiza modelo de velocidade;

Modelar;
Visualiza sismograma;
Visualiza instantâneo;
Sair.

Sugere-se que antes de rodar a simulação e, depois de preencher todos os campos, que se clique no botão Visualiza modelo de velocidade. Se os campos estiverem preenchidos adequadamente, para este *demo_modmac2d.py*, aparecerá o campo de velocidade, de acordo com a Figura 2. Esta é uma das funcionalidades que utiliza um recurso do SU.

O botão modelar executa a simulação sísmica através da rotina *acel2d.p2*. O tempo de simulação é proporcional, principalmente, às dimensões do modelo e do número de passos da simulação.

Depois de rodar a simulação numérica, com o botão Visualiza sismograma, é possível avaliar o sismograma gerado. Para uma fonte colocada na posição $X=208$ e $Z=0$, teremos o sismograma exibido na Figura 3. A ação deste botão aciona uma funcionalidade do SU.

O botão Visualiza Instantâneo permite observar uma fotografia do campo de ondas de acordo com o que foi definido no campo Instantâneo. Os instantâneos disponíveis dependem do que foi preenchido nos campos Intervalo entre instantâneos e o Número de passos da simulação. Se quisermos, por exemplo ver o instantâneo do passo 300 (que neste demo corresponde a 0.03 s), basta digitar 300 no campo Instantâneo e clicar o botão Visualiza Instantâneo. Com este procedimento veremos o que se apresenta na Figura 4. Esta é outra funcionalidade que depende do SU. Por razões didáticas todos os instantâneos são exibidos com as bordas de absorção. Neste demo o modelo é acrescido de 100 amostras em cada um

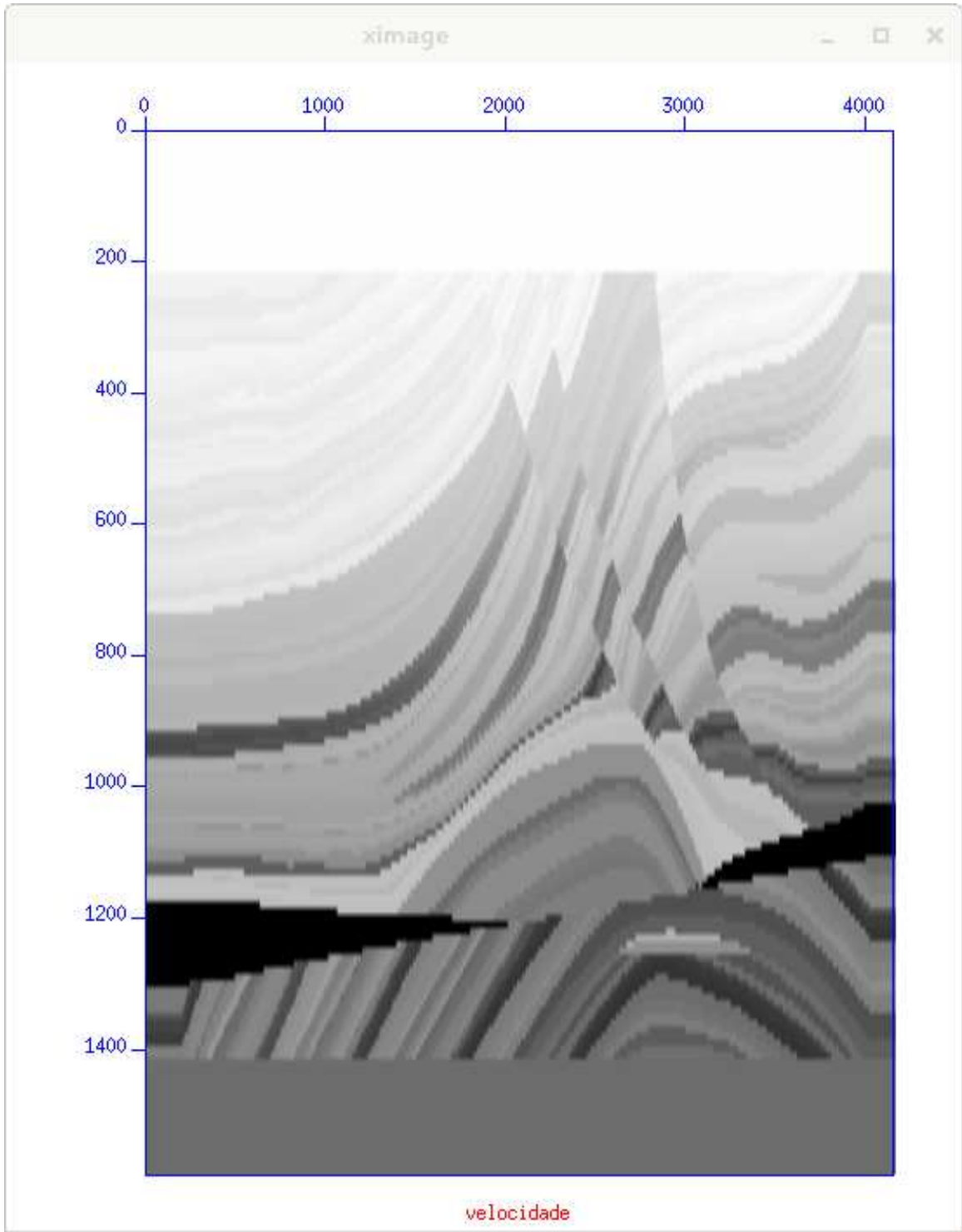


Figure 2: Campo de velocidade Marmousi modificado.

dos quatro lados do modelo.

Finalmente, o botão Sair fecha o programa.

DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

O programa *modmac2d* tem sua aplicação voltada para finalidades acadêmicas e didáticas. Espera-se que seu uso se expanda. O pacote pode ser baixado pelo site *faladaterra.com*, aba Especialidades e o passo a passo está descrito no tópico Aplicações, acima. Periodicamente estarão sendo carregadas novas versões onde serão incorporadas melhorias e sugestões dos principais usuários e motivação do *modmac2d*, os alunos.

Algumas observações e experiências de classe devem ser passadas com relação ao uso do *modmac2d*. A primeira é com relação à estabilidade numérica. O uso da rotina em outros modelos deve ser precedida por estudo de estabilidade, que não foi abordado neste manual, mas é objeto de estudo do curso de modelagem sísmica. Maiores detalhes podem ser consultados em Bulcão (2004).

O usuário também deve prestar atenção quanto ao Número de passos da simulação. Quando este parâmetro for muito alto, acima de dez mil, especial atenção deve ser dada ao parâmetro Intervalo entre instantâneos. Uma sugestão é evitar deixá-lo (Intervalo entre instantâneos) menor que 100.

CONCLUSÕES

O uso desta aplicação na disciplina Introdução a Modelagem Sísmica no Departamento de Geologia e Geofísica da Universidade Federal Fluminense mostrou ser esta ferramenta, um importante acessório didático. Juntamente com as atividades de implementação e pro-

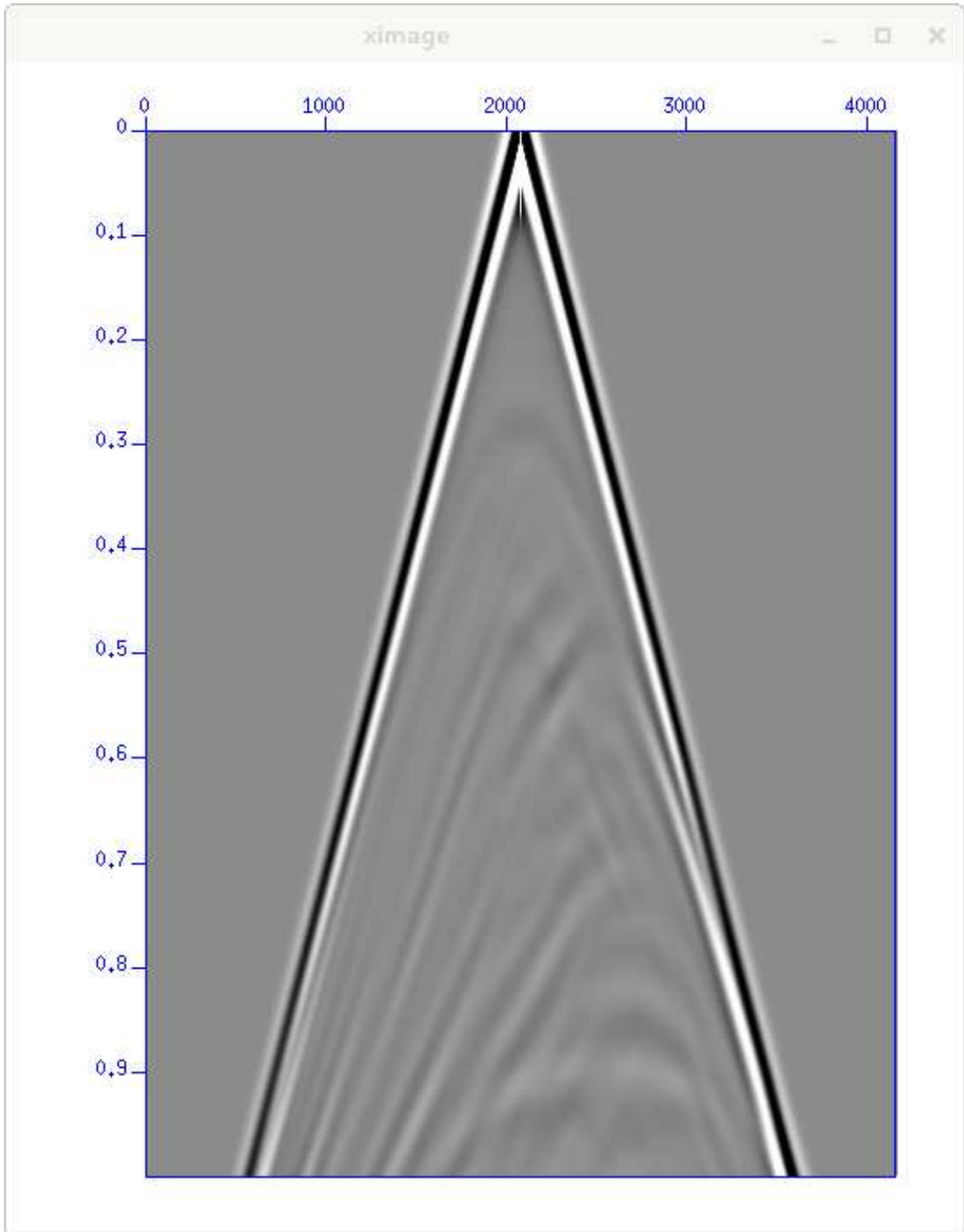


Figure 3: Sismograma gerado para fonte em $X=208$ e $Z=0$.

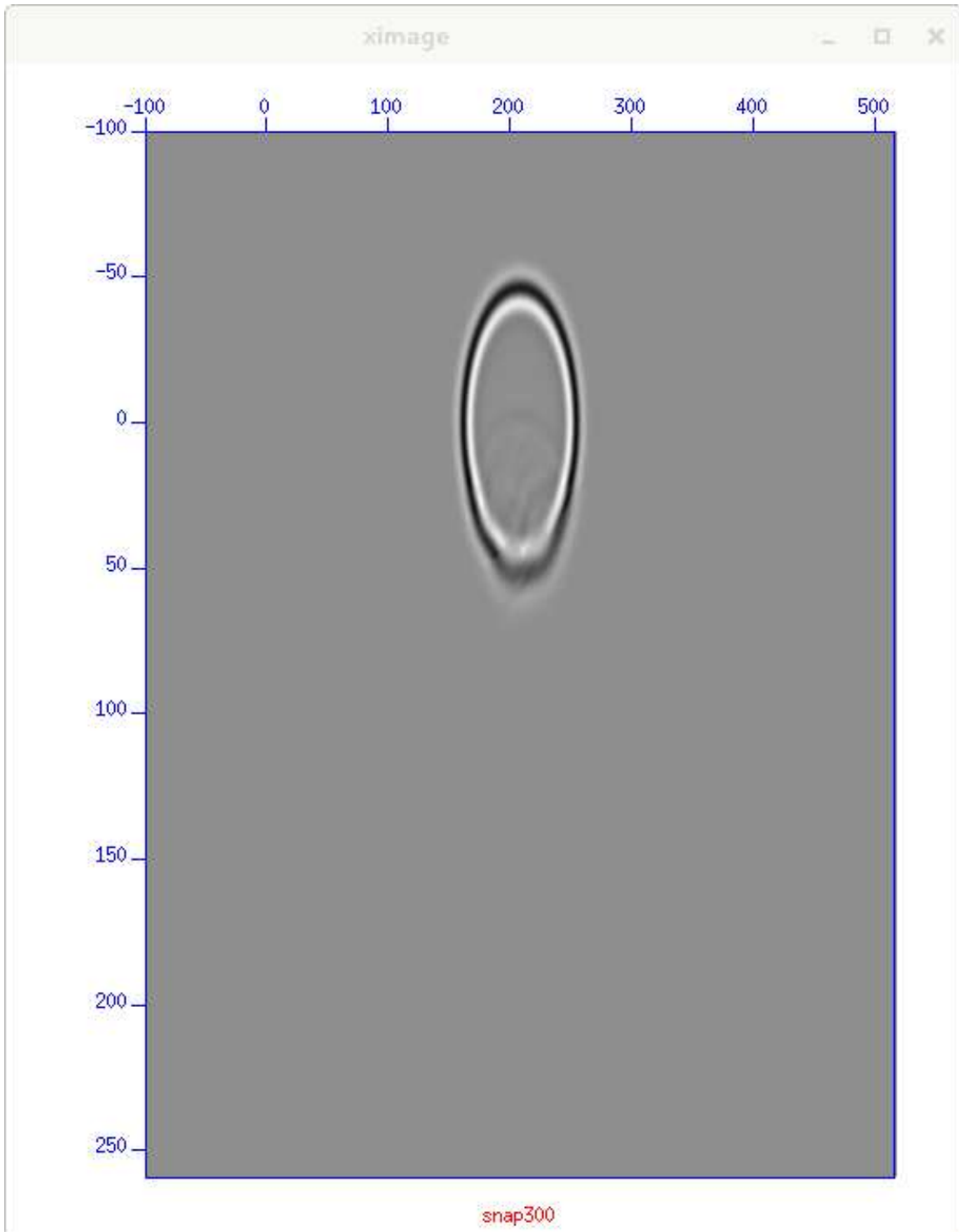


Figure 4: Instantâneo no passo 300 (0.03s).

gramação, ele acelerou o processo de aprendizagem e fixou o conhecimento dos graduandos do curso de Geofísica.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao colega geofísico Bruno Pereira Dias pelas aulas de python que possibilitaram o desenvolvimento da interface gráfica, aos colegas e mestres Djalma Manoel Soares Filho e André Bulcão pelas orientações do passado, do presente e, certamente, de projetos futuros. Aos alunos da Universidade Federal Fluminense.

REFERÊNCIAS

Bulcão, A., 2004, Modelagem e migração reversa no tempo empregando operadores elásticos e acústicos, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Stockwell, J.W., Cohen, J.K., 1998, The New SU Users Manual, Version 2.2, Seismic Unix Project, Center of Wave Phenomena Colorado School of Mines.