

Manual da rotina TOMOGLIN

Luiz Alberto Santos*[†], Bruno Pereira Dias[†]

**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 - Niteroi - RJ - CEP: 24210-346

email: luizalb1@gmail.com

[†]Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras)

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

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

(June 4, 2019)

Running head:

ABSTRACT

INTRODUÇÃO

Este texto descreve o emprego do programa *tomoglin* criado para auxiliar as práticas de aula do curso Fundamentos de tomografia sísmica ministrado a partir do primeiro semestre de 2018 no Departamento de Geologia e Geofísica da Universidade Federal Fluminense. O programa *tomoglin*, portanto, tem finalidades didáticas e acadêmicas. Seu objetivo primeiro é rodar uma inversão tomográfica linear poço a poço e análise expedita da matriz de resolução.

DESCRIÇÃO

O programa *tomoglin* roda em sistema operacional Linux e é composto de duas partes: uma interface em Python e o executável que realiza a inversão tomográfica linear. A interface em Python exibe o *frontend* contendo os campos a serem preenchidos além de botões de funções. A rotina de inversão foi desenvolvida em C++, gera o modelo de velocidade, gera os caminhos de raios e a matriz de sensibilidade além de inverter o sistema gerando a solução em problemas bem postos.

Além da interface gráfica e da rotina de inversão, o *tomoglin* precisa que o pacote Seismic Un*x (SU) (Stockwell e Cohen, 1998) esteja instalado. A visualização do modelo gerado, modelo invertido com raios e a matriz de sensibilidade é feita com rotinas do próprio SU.

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

- diretório com os executáveis nomeado bin;
- diretório com o dado cujo nome deve ser informado pelo usuário;
- diretório com a modelagem cujo nome deve ser informado pelo usuário;
- diretório com o modelo cujo nome deve ser informado pelo usuário e;

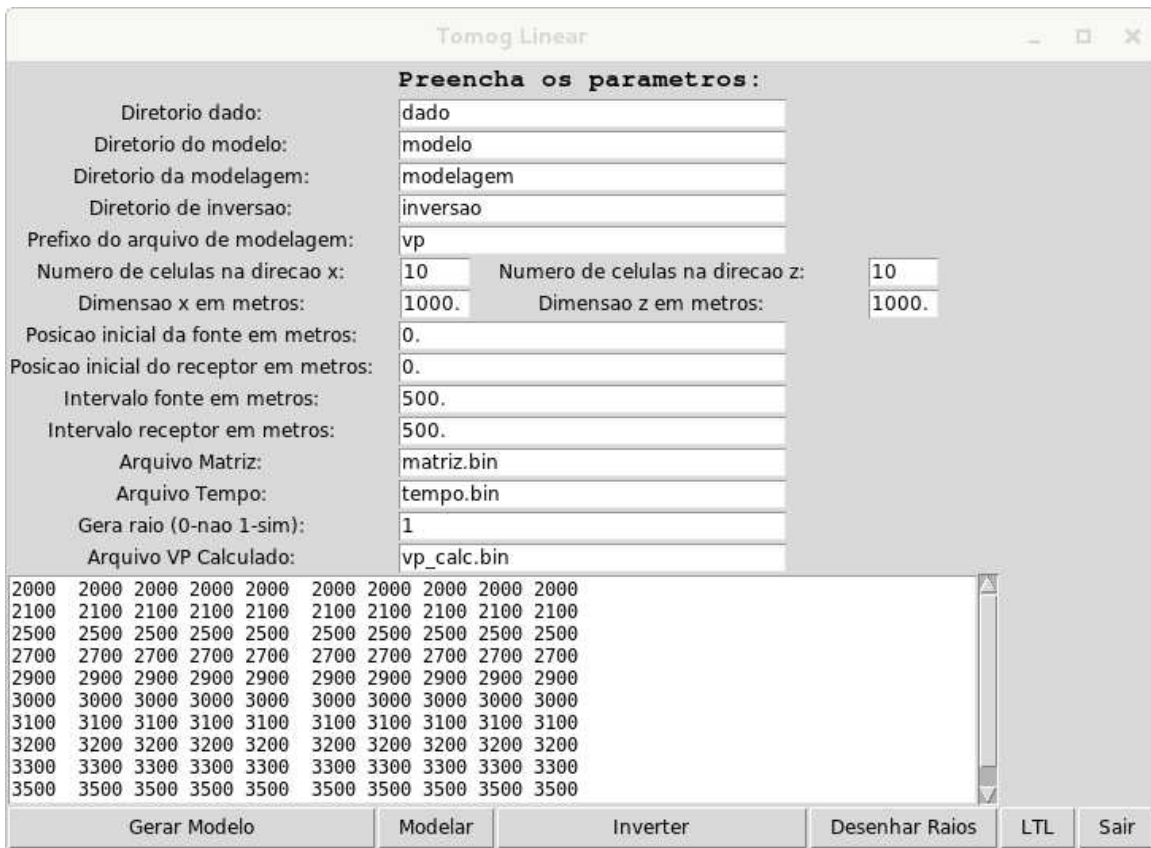


Figure 1: Interface do programa tomoglin.

- diretório com o resultado da inversão com nome informado pelo usuário.

APLICAÇÃO

Neste tópico apresenta-se uma aplicação de uso do *tomoglin* cujo demo está disponível no site *faladaterra.com*, abas *Home* e *Especialidades*. Na sessão Linha de Pesquisa Tomografia, clicando no formulário da Figura 1, será acionado o procedimento de *Download* do arquivo *demo_tomoglin_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_tomoglin_py.tar
```

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

```
chmod +x tomoglin.*
```

e em seguida:

```
chmod +x bin/*
```

Os comandos acima tornam os arquivos necessários ao uso do do *tomoglin* em executáveis.

O diretório *demo_tomoglin_py* possui um sub-diretório *bin* que contém os executáveis *gcv1* (inversão por gradiente conjugado), *modela_raio_reto_v1* (programa que traça os raios lineares de uma fonte para o receptor) e *produtomatriz* (programa para efetuar produto entre matrizes).

Os requisitos para plena execução do programa *tomoglin* 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_tomoglin.py*, devemos digitar o comando:

tomoglin.sh

Trata-se de uma *shellscript* que chama a interface em Python.

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

- Diretório dado: diretório onde ficariam os dados externos para inversão. Por ora desativado. O nome padrão do diretório é dado.
- Diretório modelo: diretório onde se encontram os arquivo binário e ASCII com o campo de velocidade criado na própria interface. O nome padrão do diretório, que pode ser alterado pelo usuário, é modelo.
- Diretório modelagem: diretório onde ficamos armazenados os raios modelados, a matriz de sensibilidade e os tempos modelados. O nome padrão do diretório, que pode ser alterado pelo usuário, é modelagem.
- Diretório inversão: diretório onde fica armazenado o modelo de velocidade invertido pela tomografia linear. O nome padrão do diretório, que pode ser alterado pelo usuário, é inversao.
- Prefixo do arquivo de velocidade: Adicionar um prefixo para o nome do arquivo que é composto por extensões .bin e .txt. Lembrando que estes arquivos ficam armazenados no

diretório modelo. O nome padrão é vp, mas também pode ser alterado pelo usuário.

- Número de células na direção x: Número de células na direção horizontal. O número padrão é um modelo com 10 células na horizontal.

- Dimensão x em metros: Dimensão ou tamanho das células na horizontal dadas em metros.

A dimensão padrão é 1000m e pode ser alterada pelo usuário.

- Número de células na direção z: Número de células na direção vertical. O número padrão, assim como na direção horizontal, são 10 células na vertical.

- Dimensão z em metros: Dimensão ou tamanho das células na vertical dadas em metros.

A dimensão padrão é igual a horizontal, 1000m, portanto, e pode ser alterada pelo usuário.

- Posicao inicial da fonte em metros: Posição em Z, ou profundidade da primeira fonte sísmica no poço a esquerda. O valor padrão é zero, que também pode ser alterado pelo usuário.

- Posicao inicial do receptor em metros: Posição em Z, ou profundidade do primeiro receptor no poço a direita. O valor padrão é zero, que também pode ser alterado pelo usuário.

- Intervalo fonte em metros: Intervalo entre as fontes no poço a esquerda. O intervalo padrão é de 500m.

- Intervalo receptor em metros: Intervalo entre receptores no poço a direita. O intervalo padrão também é de 500m.

- Arquivo matriz: Nome do arquivo com a matriz de sensibilidade. O nome padrão é matriz.bin, mas também pode ser alterado de acordo com a conveniência do usuário.

- Arquivo tempo: Arquivo com os dados dos tempos registrados no poço a direita. O nome padrão

é tempo.bin. Também pode ser alterado a qualquer momento.

- Gera raio (0-não 1-sim): 0 para não gerar os arquivos com os raios. 1 para geração dos

arquivos com os raios que ficam armazenados no diretório modelagem. O número padrão é 1, permitindo a geração de raios.

- Arquivo VP calculado: Nome do arquivo obtido com o processo de inversão tomográfica linear. Ele fica armazenado no diretório de inversão. O nome padrão é *vp_calc.bin*, mas também pode ser alterado pelo usuário a qualquer momento.

Logo abaixo há um espaço com os valores de velocidade digitados de acordo com o número de células informado nas direções horizontal e vertical. Assim, observamos no espaço em escopo, as velocidades das 100 células dispostas em 10 colunas e 10 linhas. É justamente neste espaço, que deve estar em acordo com o número de células nas direções horizontal e vertical, que é criado o modelo de velocidade. Os valores padrão informados indicam um modelo de velocidade invariante horizontalmente e crescente em profundidade.

Abaixo dos campos a acima listados, há seis botões de ações:

Gerar Modelo;

Modelar;

Inverter;

Desenhar Raios;

LTL;

Sair.

Com os parâmetros indicados, ao clicar no botão *Gerar Modelo* o arquivo de velocidade é gerado e, em seguida visualizado como na Figura 2. Esta é uma das funcionalidades que

utiliza um recurso do SU.

Em seguida, ao clicar no botão *Modelar* a modelagem dos tempos de trânsito é realizada. Assim, são gerados os arquivos *tempo.bin*, *matriz.bin* e os raios (caso a opção 1 esteja selecionada), todos armazenados no diretório *modelagem*.

Depois de gerados os tempos de trânsito e conhecidas as trajetórias dos raios, é possível realizar a inversão. Assim, clicando no botão *Inverter*, a inversão tomográfica linear é realizada disponibilizando o arquivo *vp_calc.bin*, o modelo invertido. Como os parâmetros empregados geraram um sistema bem condicionado, a inversão recuperou muito bem o modelo original, Figura 3.

O botão *Desenhar Raios* permite a visualização dos raios traçados no modelo calculado. Neste exemplo observa-se uma grande densidade de raios. Isso explica, porque há a recuperação do modelo original, quase integralmente, Figura 4.

Uma análise expedita da inversão é alcançada avaliando-se a matriz de resolução. Consideremos a matriz de sensibilidade L . Neste exemplo ela é representada pelo arquivo *matriz.bin* e tendo dimensão 400x100 (linhas x colunas). A matriz de resolução é calculada por LTL com dimensão 100x100. Clicando no botão LTL essa matriz é gerada e visualizada, Figura 5. Note que a matriz de resolução do problema em escopo não possui elementos da diagonal principal nulos. Um indicativo de que o problema é passível de inversão, fato também já observado com a alta densidade de raios. Ou seja, todas as células do modelo

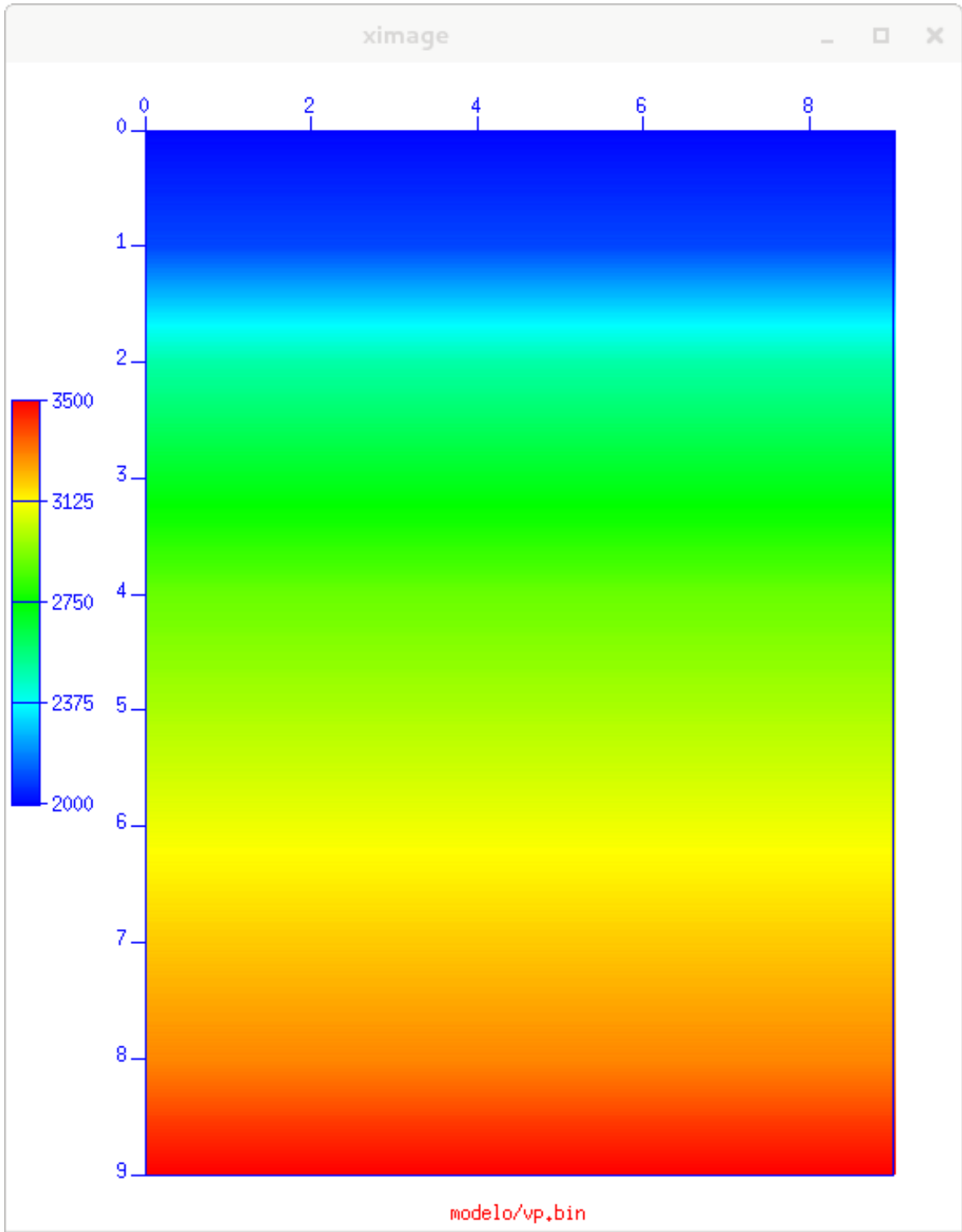


Figure 2: Modelo de velocidade.

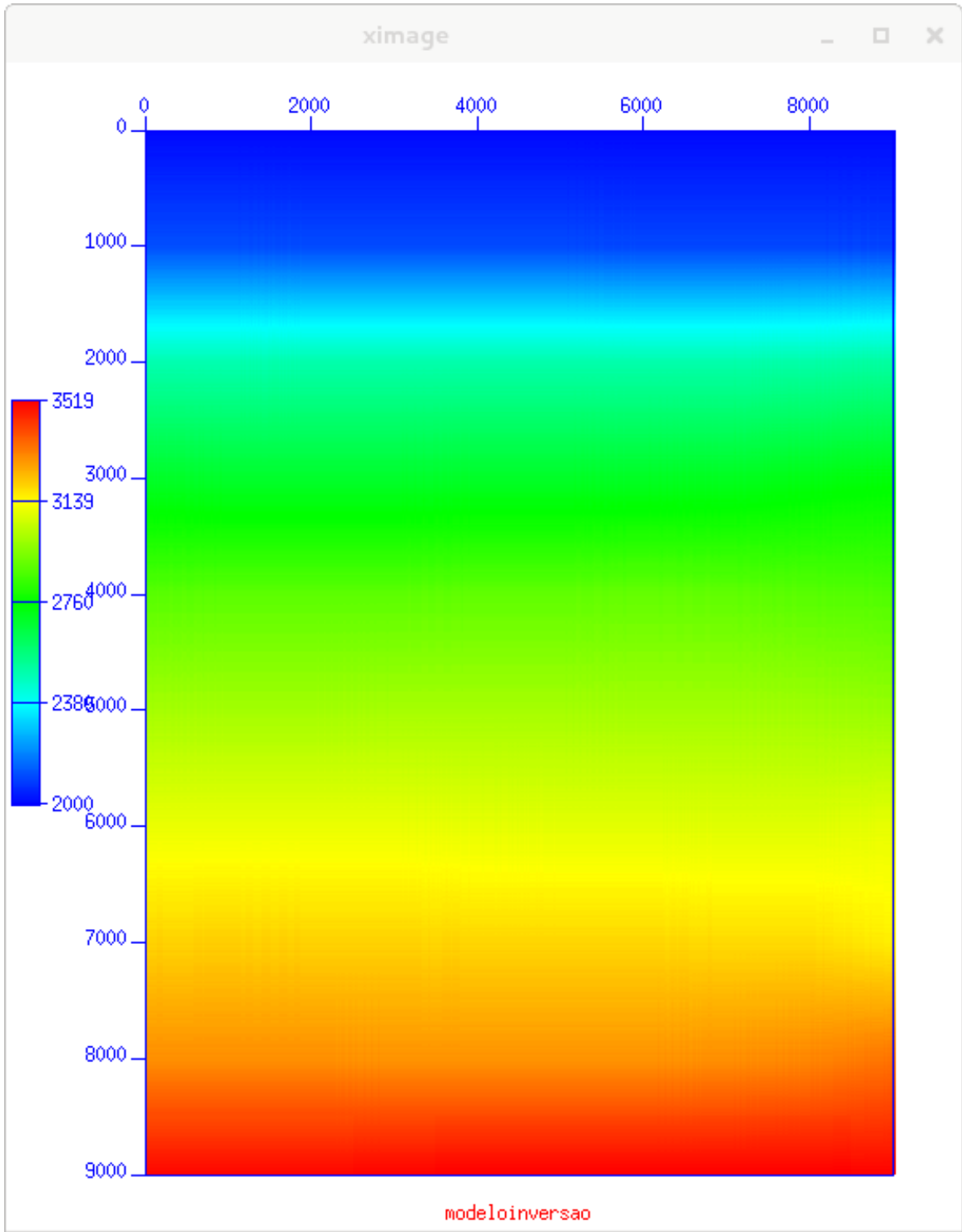


Figure 3: Modelo de velocidade calculado com inversão tomográfica linear.

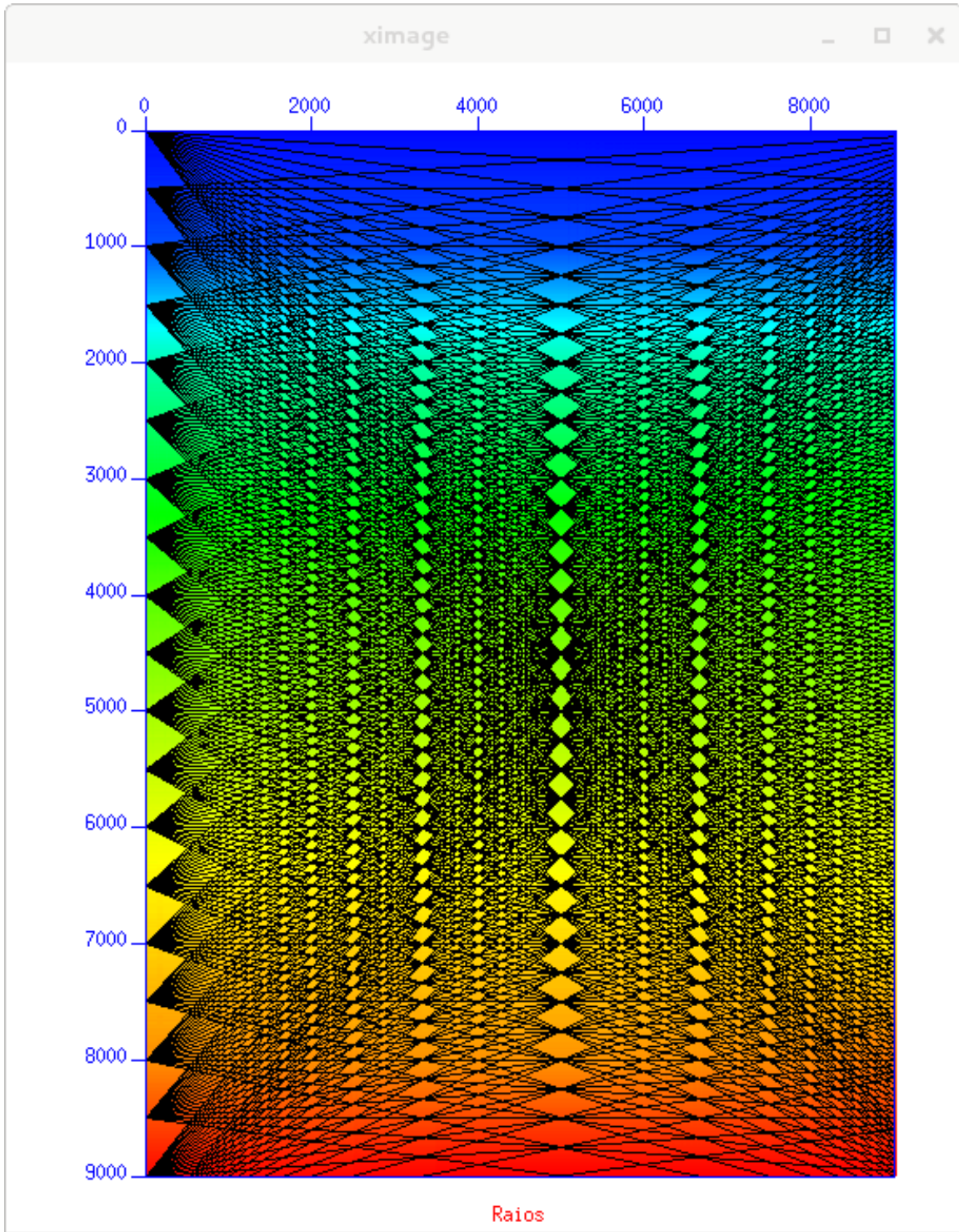


Figure 4: Modelo de velocidade calculado e os raios.

foram bem amostradas pelos raios deste sistema de aquisição.

Finalmente, o botão Sair fecha o programa.

DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

O programa *tomoglin* 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 *tomoglin*, os alunos.

Em função da geometria de aquisição é possível que o problema fique mal condicionado. Como inexitem esquemas de regularização nesta versão do *tomoglin*, algumas parametrizações não vão permitir a inversão. Um exemplo deste tipo de situação é o emprego de intervalo de fontes e receptores iguais a 800m. Neste caso, não se assuste, mas o resultado da sua inversão está apresentado na Figura 6

CONCLUSÕES

O uso do *tomoglin* na disciplina Fundamentos de tomografia sísmica no Departamento de Geologia e Geofísica da Universidade Federal Fluminense foi uma importante ferramenta didática. Comparando-se as edições da disciplina com e sem a ferramenta, aferimos maior aproveitamento dos discentes quando usando o *tomoglin*. Além de nossa percepção, os alunos são unânimes em demandar ferramentas práticas como essa na feitura de exercícios,

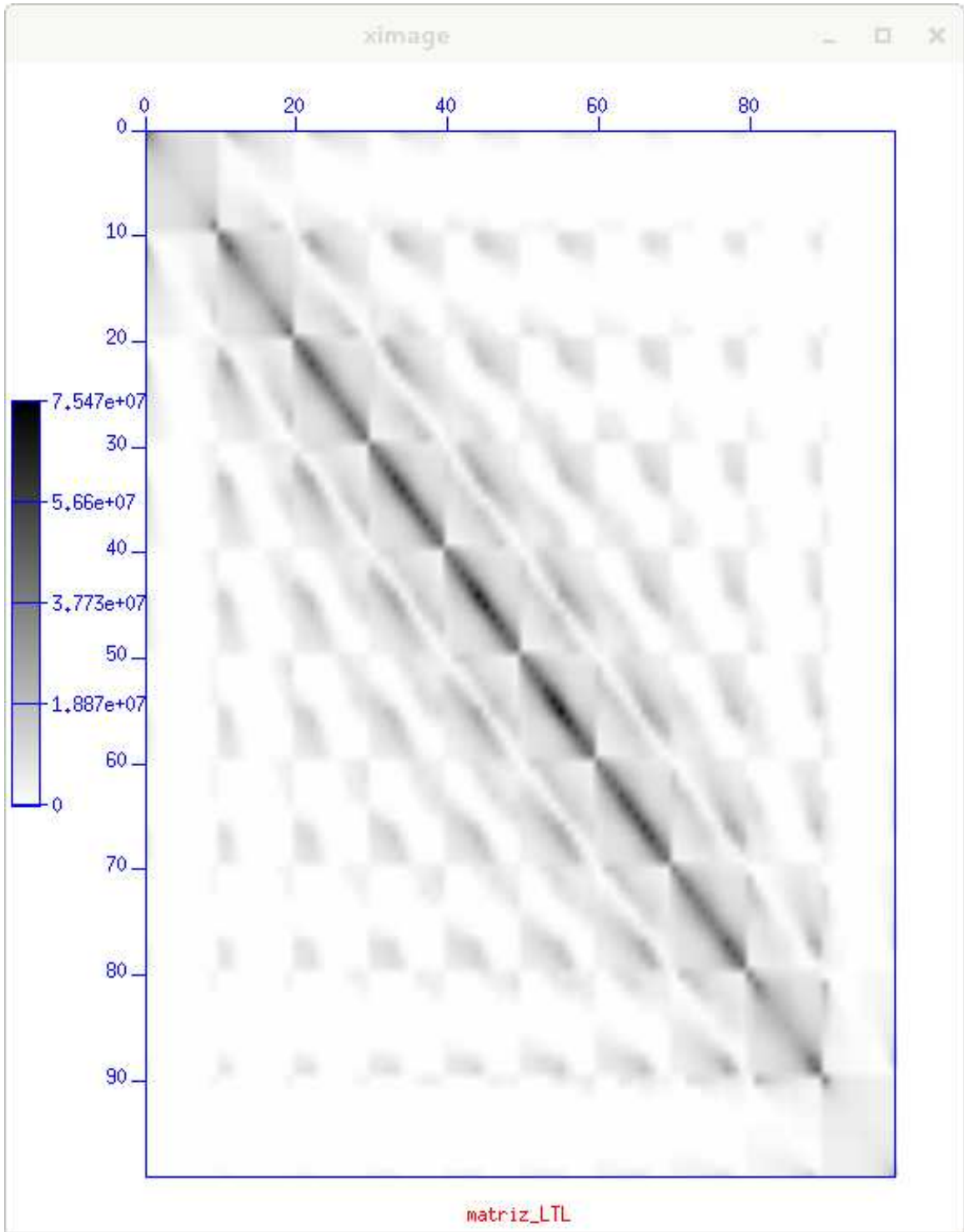


Figure 5: Matriz de resolução.

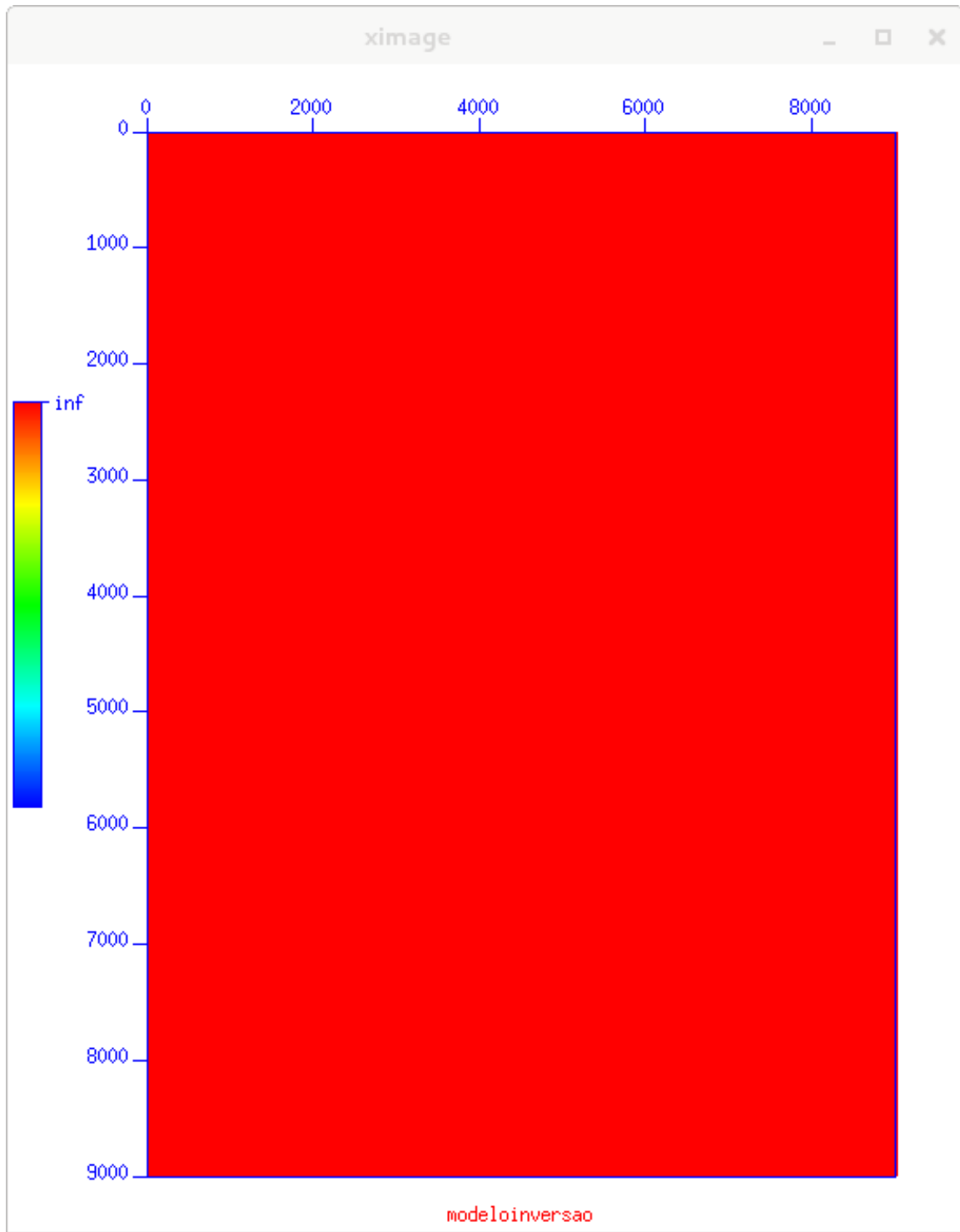


Figure 6: Resultado da inversão de um problema mal condicionado.

algo que os coloca mais próximos do dia a dia de suas vidas profissionais.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos colegas Eduardo Filpo pelas discussões e sugestões na seara tomográfica. E também, aos alunos da Universidade Federal Fluminense, motivadores deste projeto.

REFERÊNCIAS

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