

Manual do sistema GERAMODIN 1

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

(March 9, 2020)

Running head:

ABSTRACT

INTRODUÇÃO

Este texto descreve o emprego do sistema *GERAMODIN1* 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. Este sistema *GERAMODIN1* tem finalidades didáticas e acadêmicas. Seu objetivo é permitir ao aluno em um ambiente de projeto: criar modelos de velocidade bidimensionais descritos por spline 1D variando lateralmente; modelar por traçado de raios os tempos de trânsito registrado na superfície a partir de difratores em profundidade; estimar por inversão tomográfica o campo de velocidade e; analisar os resultados.

DESCRIÇÃO

O sistema *GERAMODIN1* é composto de quatro módulos e uma série de rotinas que rodam em sistema operacional Linux. Ele é composto de:

- interfaces em Python para o programa principal;
- interfaces em Python para as rotinas específicas de geração de modelo de velocidade, modelagem e inversão tomográfica e;
- rotinas desenvolvidas em C++ dos módulos específicos.

As interfaces em Python exibem o *frontend* contendo os campos a serem preenchidos além de botões de funções.

Além da interface gráfica e das rotinas citadas, o *GERAMODIN1* precisa que o pacote Seismic Unix (SU) (Stockwell e Cohen, 1998) esteja instalado para visualização de dados, modelos e gráficos.

O *geramodin1* demanda uma estrutura com subdiretórios dentro de um projeto:

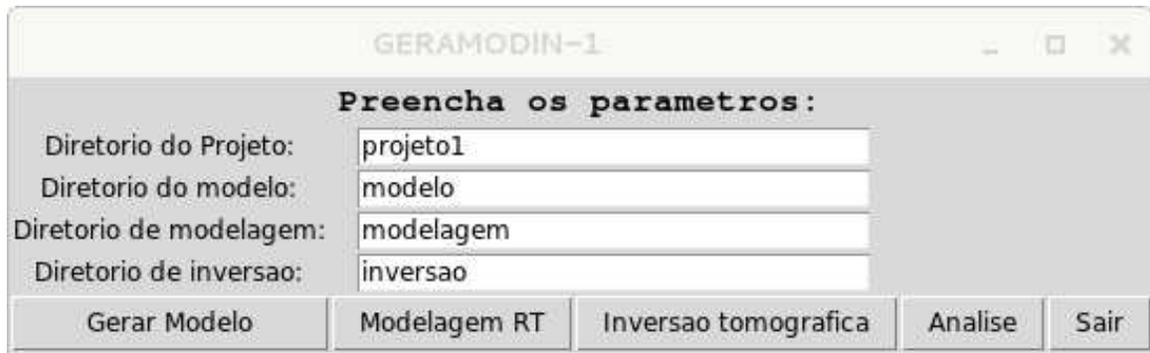


Figure 1: Interface do sistema geramodin 1.

- bin contendo os executáveis;
- modelo contendo o modelo de velocidade;
- modelagem contendo os resultados da modelagem inseridos no subdiretório DIFRAC;
- inversão com os resultados da inversão.

APLICAÇÃO

Neste tópico apresenta-se uma aplicação de uso do *geramodin1* 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_geramodin1_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_geramodin1_py.tar
```

O comando acima irá descompactar os arquivos necessários para execução. O produto da descompactação estará contido no diretório *demo_geramodin1_py*. Para se assegurar que os programas rodarão, dentro do diretório *demo_geramodin1_py* execute por linha de comando:

```
chmod +x *
```

e em seguida:

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

Os comandos acima tornam os arquivos necessários ao uso do *geramodin1* em executáveis.

O diretório *demo_geramodin1.py* possui um sub-diretório *bin* que contém os executáveis:

- *gerasplinegrid2d*: rotina para geração de modelos por splines 1D variando lateralmente.

- *rtrk4_cfpv1*: rotina para traçado de raios cinemático e geração dos temps de trânsito registrados na superfície.

- *opasc*: rotina utilitária para operações com arquivos texto.

- *interpsplinetabrox*: rotina para interpolação de linhas (x,y) por spline. - *inversao_green_gcv0*:

rotina de inversão tomográfica não linear empregando gradiente conjugado voltada para CFP (difrações). Somente inverte o campo de velocidade que deve estar descrito por spline variando lateralmente.

Os requisitos para plena execução do sistema *geramodin1* são: sistema operacional Linux; ter o pacote livre Seismic Un*x (SU) (Stockwell e Cohen, 1998) instalado e; as bibliotecas básicas do Python, sobretudo a Tkinter para uso da interface gráfica.

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

```
geramodin1.sh
```

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

Logo em seguida aparecerá a janela exibida na Figura 1. Trata-se do sistema principal que integra todas as funções envolvendo a criação de modelo, modelagem inversão e análise.

Vejamos cada uma das funções e rotinas correspondentes.

Gerar modelo

Ao clicar no botão *GerarModelo* aciona-se a interface apresentada na Figura 2. Ela tem como objetivo criar um grid 2D representado por spline 1D variando lateralmente. A seguir descrevem-se os campos a serem preenchidos na interface.

Preencha os parametros:	
Diretorio do modelo:	modelo
Numero de nos de splines:	10
Prefixo do arquivo de modelagem:	vp
Numero de amostras na direcao x:	1000
Numero de amostras na direcao z:	500
Dimensao x em metros:	4.

0	1500
100	1500
200	1500
300	1600
400	1650
500	1700
600	1650
700	1600
800	1500
900	1500

Figure 2: Interface para geração de modelo de velocidade por spline 1D.

- Diretório do modelo: diretório onde será armazenado o modelo de velocidade criado.
- Numero de nós de splines: Número de nós da função spline 1D.
- Prefixo do arquivo de modelo: Digitar somente o nome do arquivo que antecede sem extensão.
- Numero de amostras na direção x: Número de amostras do grid de velocidade na direção x, horizontal.

- Numero de amostras na direção z: Número de amostras do grid de velocidade na direção z, vertical.
- Dimensao x em metros: Dimensão do grid (supostamente quadrado) em metros.

Logo abaixo há um espaço no qual devem ser digitados pares de dados onde: a primeira coluna corresponde à posição x (horizontal) do nó da spline (em amostras) e; na segunda coluna deve ser informado o valor da velocidade em m/s. Note que o número de linhas deve ser o mesmo daquele informado no campo Numero de nos de splines.

Abaixo dos campos acima listados, há dois botões de ações:

Gerar Modelo;

Sair.

Com os parâmetros indicados, ao clicar no botão *Gerar Modelo* o arquivo de velocidade é gerado e, em seguida visualizado como na Figura 3. Esta é uma das funcionalidades que utiliza um recurso do SU. Finalmente, ao clicar em Sair, a interface de geração de modelo é encerrada e retornamos para a interface principal, Figura 1.

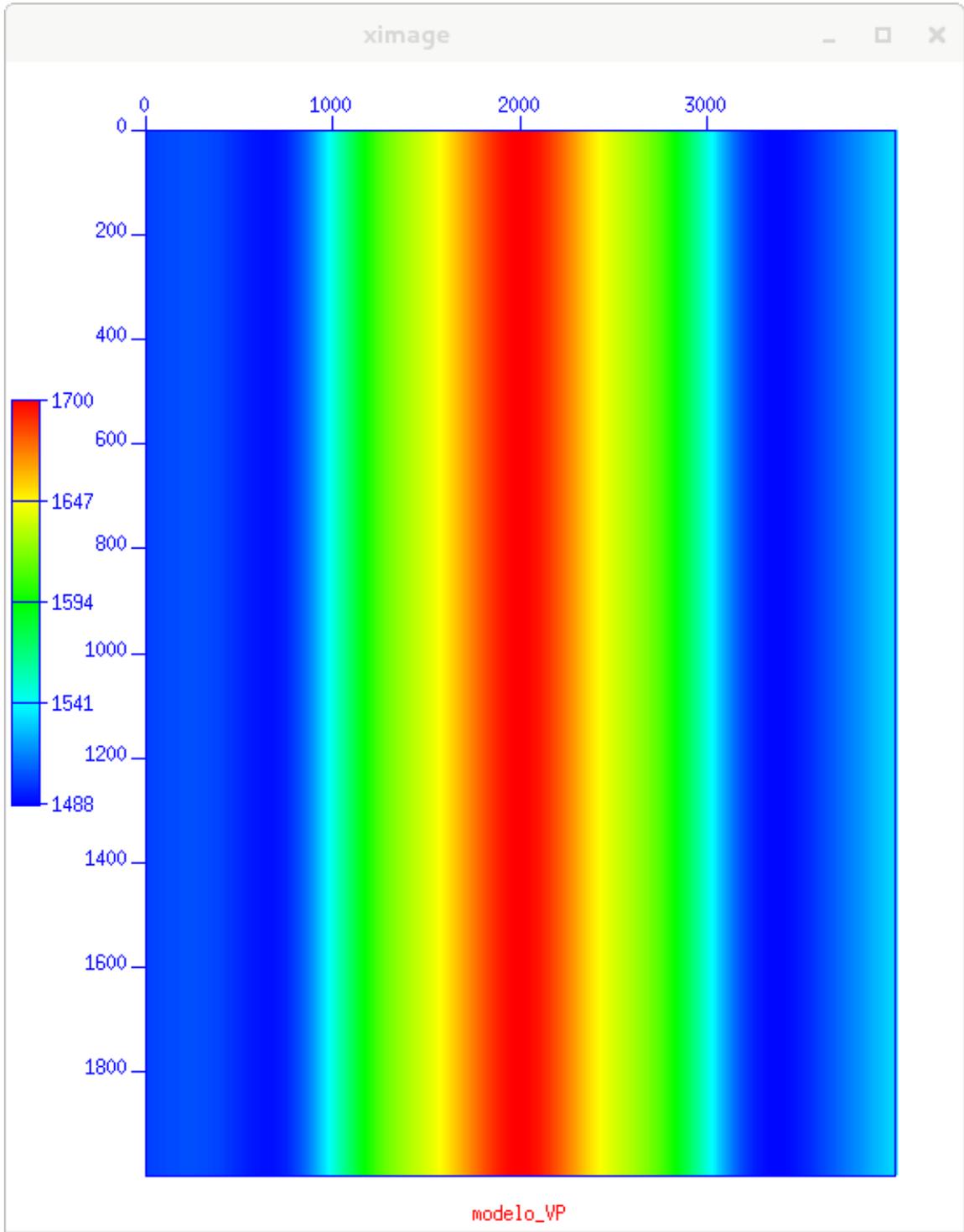
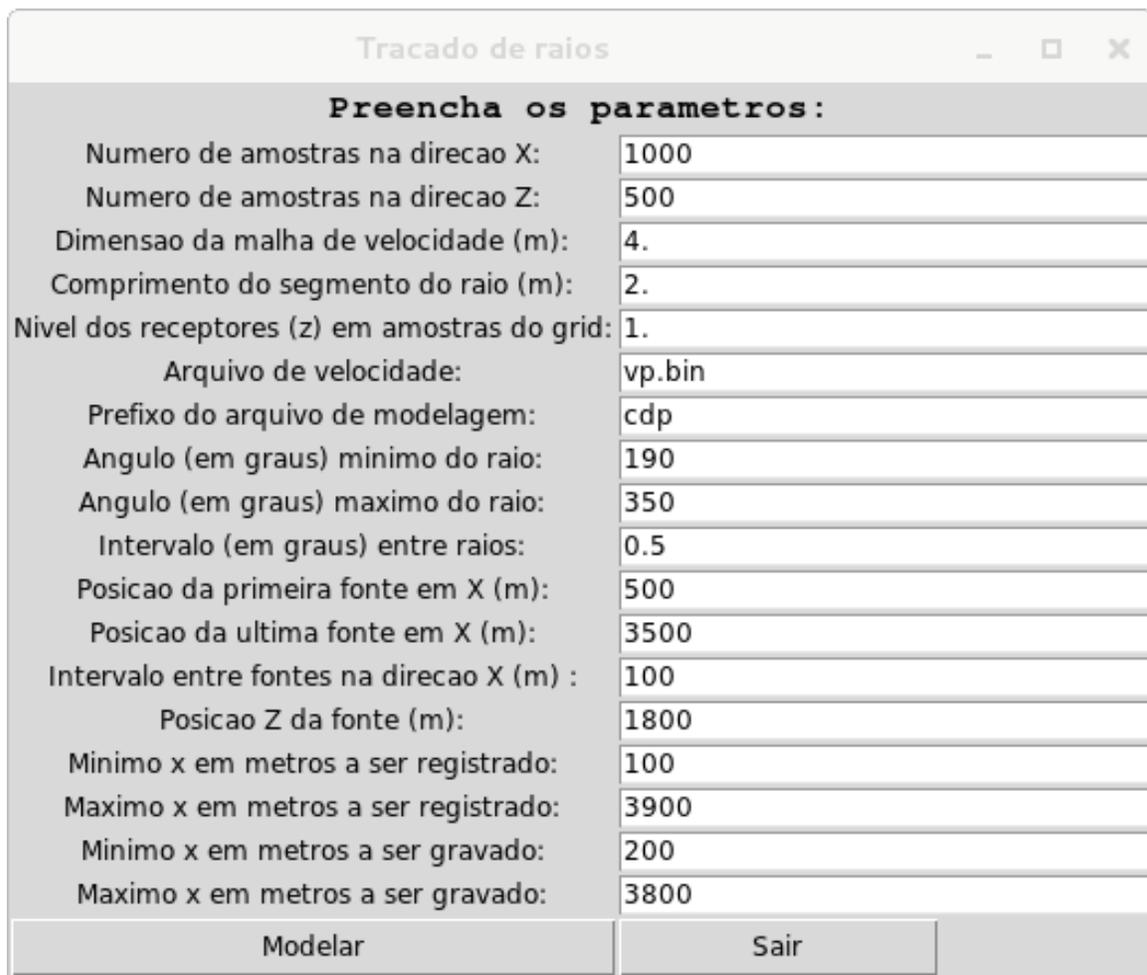


Figure 3: Modelo de velocidade gerado.

Modelagem RT

Clicando no botão *Modelagem_RT* abre-se uma nova interface, Figura ???. Esta interface destina-se a calcular os tempos de trânsito registrados na superfície para uma ou mais fontes, difratores, em profundidade. Vejamos os campos a serem preenchidos na interface Modelagem RT.



Preencha os parametros:	
Numero de amostras na direcao X:	1000
Numero de amostras na direcao Z:	500
Dimensao da malha de velocidade (m):	4.
Comprimento do segmento do raio (m):	2.
Nivel dos receptores (z) em amostras do grid:	1.
Arquivo de velocidade:	vp.bin
Prefixo do arquivo de modelagem:	cdp
Angulo (em graus) minimo do raio:	190
Angulo (em graus) maximo do raio:	350
Intervalo (em graus) entre raios:	0.5
Posicao da primeira fonte em X (m):	500
Posicao da ultima fonte em X (m):	3500
Intervalo entre fontes na direcao X (m) :	100
Posicao Z da fonte (m):	1800
Minimo x em metros a ser registrado:	100
Maximo x em metros a ser registrado:	3900
Minimo x em metros a ser gravado:	200
Maximo x em metros a ser gravado:	3800

Modelar Sair

Figure 4: Interface para modelagem por traçado de raios.

-Numero de amostras na direcao X: Número de amostras do modelo de velocidade na direção horizontal.

-Numero de amostras na direcao Z: Número de amostras do modelo de velocidade na direção

vertical.

-Dimensao da malha de velocidade (m): Dimensao da malha ou grid em metros.

-Comprimento do segmento do raio (m): Comprimento do segmento de raio em metros.

-Nivel dos receptores (z) em amostras do grid: Nivel dos receptores na vertical em amostras de grid.

-Arquivo de velocidade: Nome completo do arquivo de velocidade. O arquivo já deve estar no diretório modelo.

-Prefixo do arquivo de modelagem: Nome do arquivo sem a extensão. A extensão binária, texto, segy, SU, etc.. será fornecida pelo próprio sistema. Por ora, somente há as extensões binária (bin) e texto (txt).

-Angulo minimo do raio (em graus): Para a modelagem serão modelados vários raios compondo um leque que parte de um ponto difrator em uma coordenada (x_i, z_i) . Neste campo informa-se o ângulo mínimo de acordo com a convenção a seguir:

.....270

...180.....|.....0

.....090

-Angulo (em graus) maximo do raio: Neste campo informa-se o ângulo máximo de acordo com a convenção adotada acima.

-Intervalo (em graus) entre raios: Informa-se aqui o ângulo entre raios consecutivos para o leque entre os ângulos mínimo e máximo.

-Posicao da primeira fonte em X (m): Informa-se neste campo a posição em x, horizontal, da primeira fonte difratora.

-Posicao da ultima fonte em X (m): Informa-se neste campo a posição em x, horizontal, da

última fonte difratora.

-Intervalo entre fontes na direção X (m) : E aqui informa-se o intervalo regular entre cada um dos difratores.

-Posição Z da fonte (m): Neste campo preenchemos a profundidade dos difratores.

-Mínimo x em metros a ser registrado: Preenche-se aqui a posição mínima onde se deseja registrar as chegadas de raios na superfície. Na prática, todos os raios a esquerda desta posição não serão registrados. Recomenda-se que esta posição/valor em X seja inferior ao mínimo X a ser gravado.

-Máximo x em metros a ser registrado: Todos os raios a direita desta posição também não serão registrados. Assim, recomenda-se que esta posição/valor em X seja superior ao máximo X a ser gravado.

-Mínimo x em metros a ser gravado: A curva de tempo vs posição de cada difrator será interpolada regularmente a cada 10m entre o valor informado neste campo e o campo seguinte (Máximo x em metros a ser gravado). Assim recomenda-se que este campo tenha valor superior ao valor informado no campo Mínimo x em metros a ser registrado.

-Máximo x em metros a ser gravado: Posição máxima para o receptor. Recomenda-se que este campo tenha valor inferior ao valor informado no campo Máximo x em metros a ser registrado.

Abaixo dos campos acima listados, há dois botões de ações:

- Modelar: Ao clicar neste botão inicia-se a modelagem por traçado de raios. Com os valores informados na Figura 4 serão geradas curvas de tempos de trânsito (tempo vs posição x) registradas na superfície para 31 difratores $((3500-500)/100 + 1)$. Cada uma das curvas geradas é exibida para controle de qualidade da modelagem. Neste caso serão exibidas 31

curvas com o fundo do modelo de velocidade empregado. Não há relação entre a curva e o fundo apresentado. Se o resultado da modelagem estiver satisfatório para o usuário, sugere-se fechar todas as janelas empregando-se o comando *killall ximage* por linha de comando. Assim todas as janelas com a função SU *ximage* serão encerradas. As Figuras 5, 6 e 7 são exemplos de curvas de tempo de trânsito dos difrtores nas posições (500,1800), (2000,1800) e (3500,1800) respectivamente. Os arquivos gerados são adequadamente armazenados no diretório modelagem/DIFRAC.

- Sair: Ao clicar neste botão a janela de modelagem é encerrada.

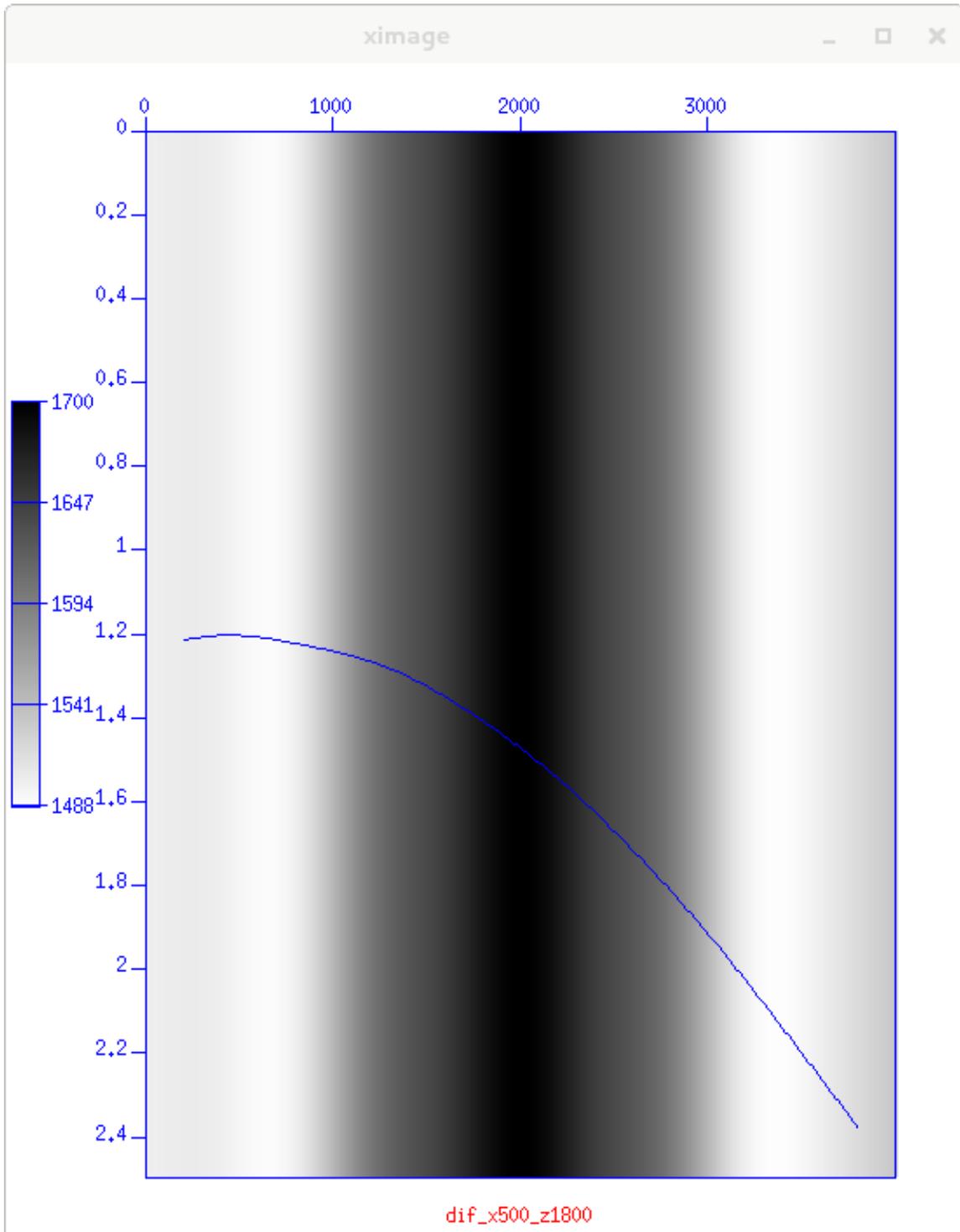


Figure 5: Curva de tempo de trânsito do difrator na posição (500,1800). Eixo horizontal em metros e o vertical em segundos.

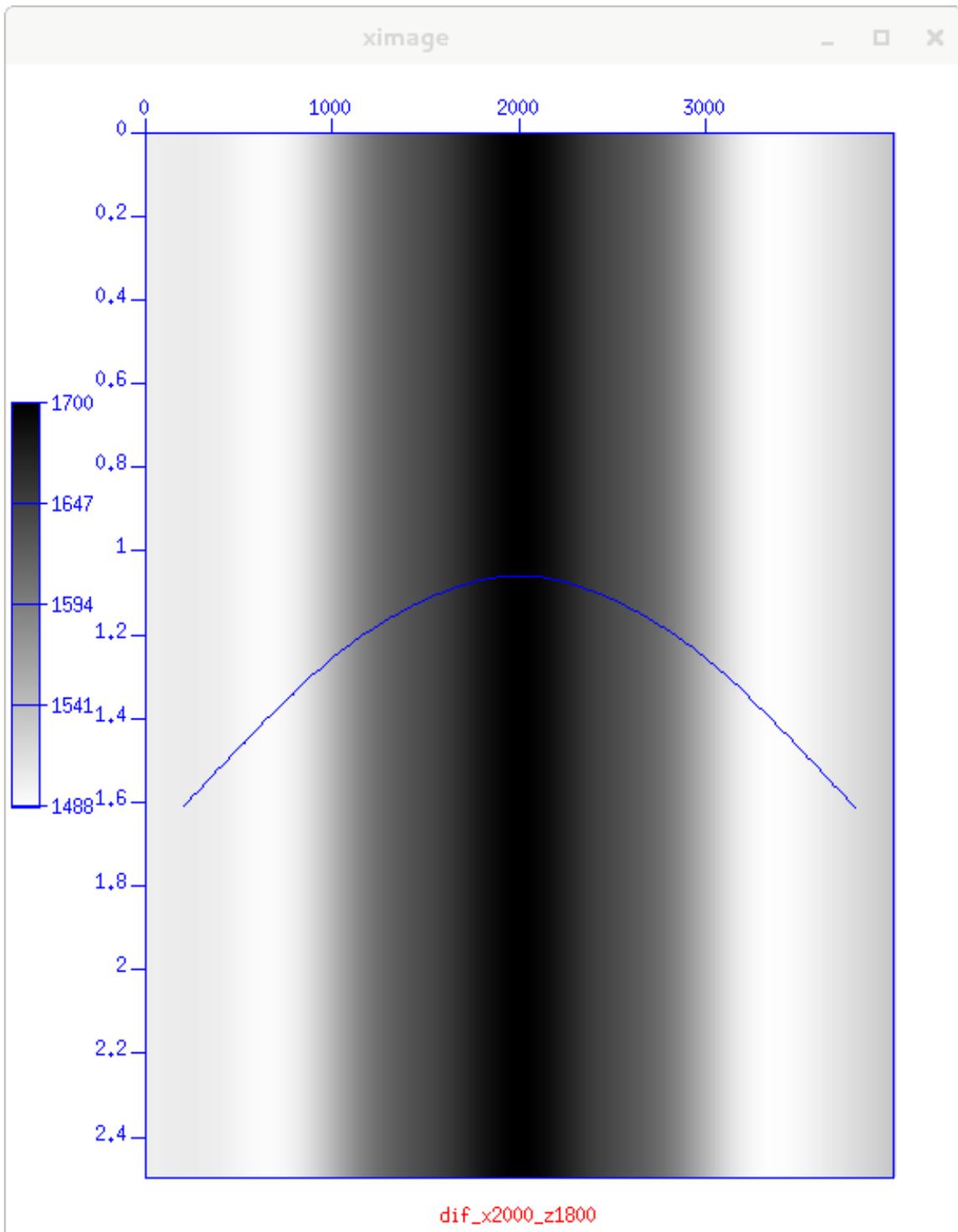


Figure 6: Curva de tempo de trânsito do difrator na posição (2000,1800). Eixo horizontal em metros e o vertical em segundos.

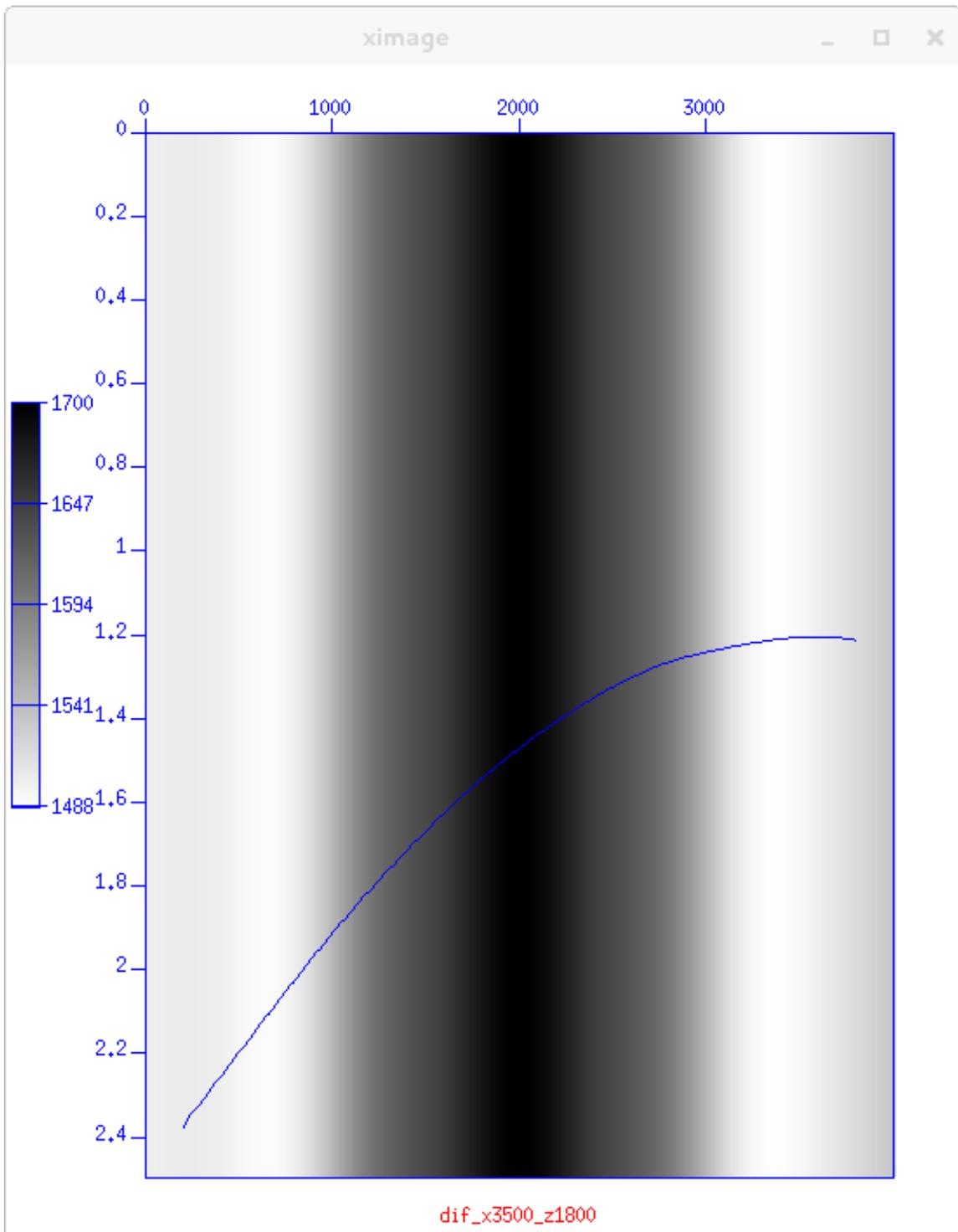


Figure 7: Curva de tempo de trânsito do difrator na posição (3500,1800). Eixo horizontal em metros e o vertical em segundos.

Inversão tomográfica de difrações

Passamos agora ao processo de inversão tomográfica no qual deseja-se estimar o campo de velocidades a partir das curvas de tempo de trânsito calculadas com a modelagem do subtópico anterior. Clicando no botão Inversão tomográfica (Figura 1) abre-se a interface exibida na Figura 8.

Preencha os parametros:	
Numero de amostras na direcao X:	1000
Numero de amostras na direcao Z:	500
Dimensao da malha de velocidade (m):	4.
Comprimento do segmento do raio (m):	2.
Arquivo de parametros de inversao:	file_dados.txt
Intervalo (em graus) entre raios:	1.0
Arquivo de residuos:	residuo.txt
Abertura angular (em graus):	40.0
Tolerancia do residuo:	0.001
Numero de NOS do modelo (spline hz):	5
Minimo X para aquisicao:	100.
Maximo X para aquisicao:	3900.
Escalar para regular o tamanho do passo:	0.04
Inverter	
Sair	

Figure 8: Interface para inversão tomográfica.

- Numero de amostras na direcao X: Número de amostras do modelo de velocidade na direção horizontal.
- Numero de amostras na direcao Z: Número de amostras do modelo de velocidade na direção vertical.
- Dimensao da malha de velocidade (m): Dimensão da malha ou grid em metros.
- Comprimento do segmento do raio (m): Comprimento do segmento de raio em metros.

- Arquivo de parametros de inversao: Arquivo contendo informações do modelo inicial discretizado por splines, as coordenadas dos nós, as velocidades nos nós, o desvio máximo, uma lista dos arquivos com os tempos de trânsito dos difratores e as coordenadas dos difratores.
- Intervalo (em graus) entre raios: Informa-se aqui o ângulo entre raios consecutivos para o leque de raios.
- Arquivo de residuos: Arquivo contendo os resíduos em segundos para cada iteração.
- Abertura angular (em graus): Abertura angular em relação a normal. O leque de raios contemplará uma abertura correspondente ao dobro do valor informado.
- Tolerancia do residuo: Valor mínimo de resíduo em segundos para limitar as iterações.
- Numero de NOS do modelo (spline hz): Número de nós de splines do modelo.
- Minimo X para aquisicao: Valor mínimo em metros para registro de tempos no eixo X.
- Maximo X para aquisicao: Valor máximo em metros para registro de tempos no eixo X.
- Arquivo com horizonte mais profundo conhecido: Não empregado no momento (deixar como está).
- Modelo de velocidade de referencia: Não empregado no momento (deixar como está).
- Janela para suavizacao: Janela de suavização em amostras. Deixar em 1, por ora.
- Escalar para regular o tamanho do passo: Escalar para calibrar os passos da inversão.

Com os parâmetros indicados na Figura 8, ao clicar no botão *Inverter* o processo de inversão é iniciado. Para esta configuração, depois de 9 iterações o resíduo de tolerância é alcançado (0.001s). Assim, a partir de um modelo homogêneo, o processo de inversão tomográfica alcançou o modelo apresentado na Figura 9.

Ao clicar no botão *Sair* a interface se encerra.

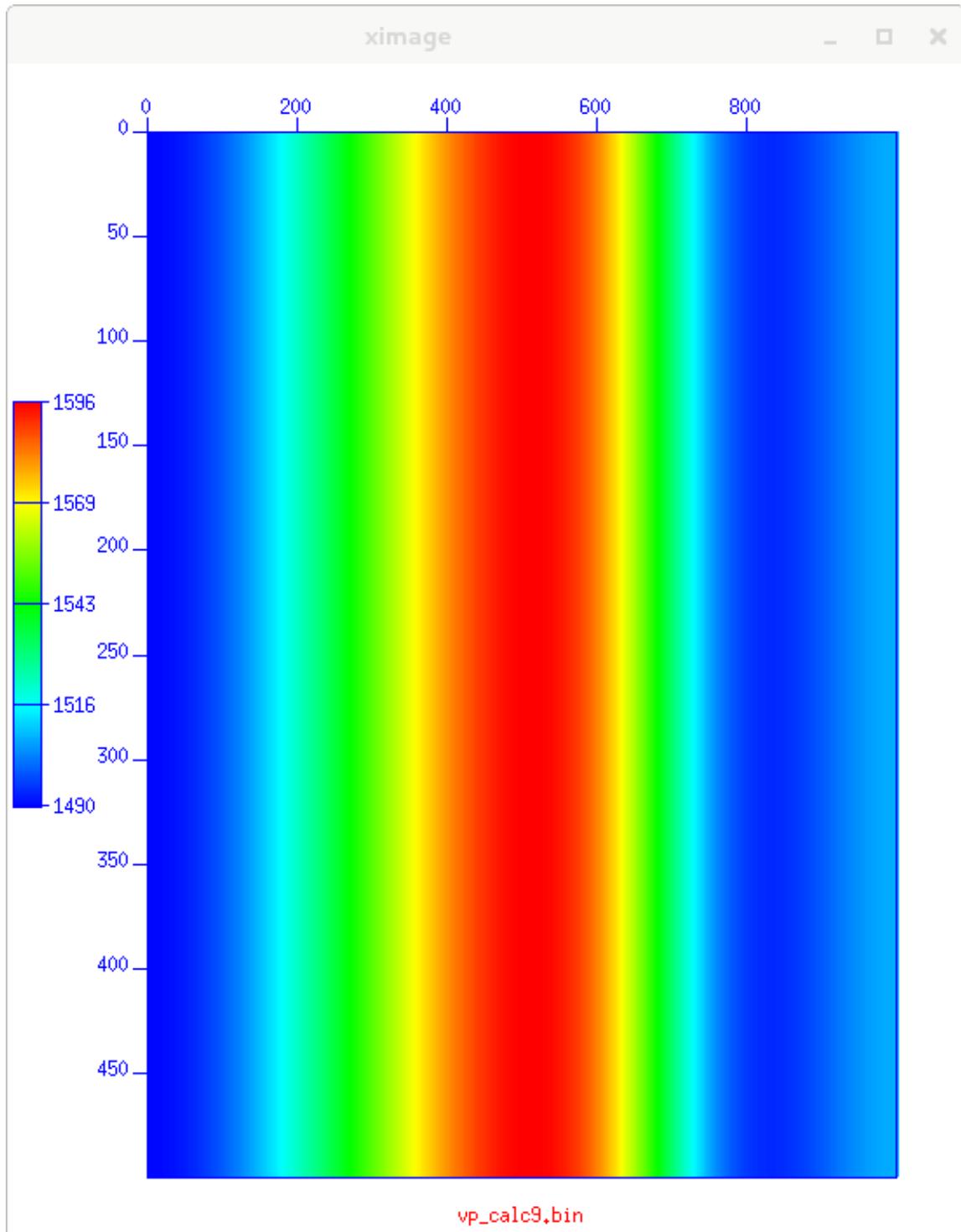
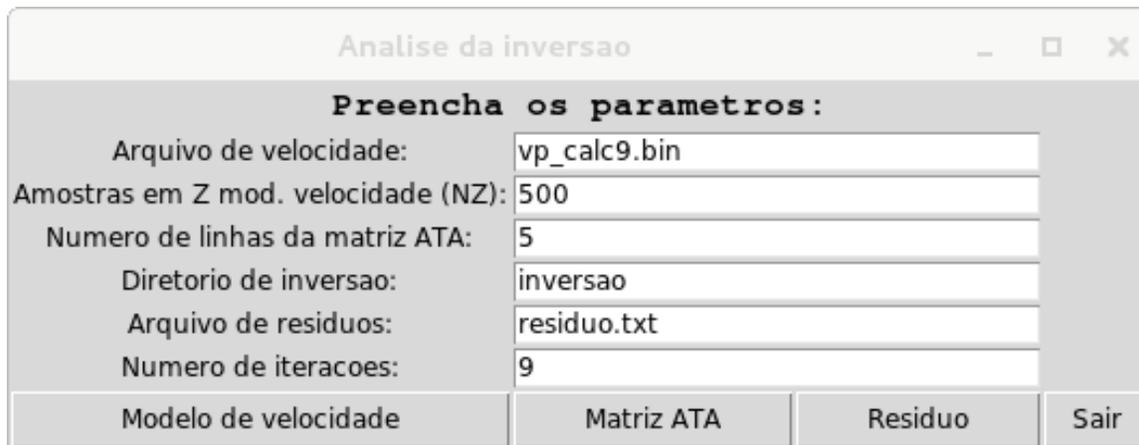


Figure 9: Modelo de velocidade calculado com inversão tomográfica não linear.

Análise

Ao clicar no botão análise a interface observada na Figura 10 é exibida.



Preencha os parametros:			
Arquivo de velocidade:	vp_calc9.bin		
Amostras em Z mod. velocidade (NZ):	500		
Numero de linhas da matriz ATA:	5		
Diretorio de inversao:	inversao		
Arquivo de residuos:	residuo.txt		
Numero de iteracoes:	9		
Modelo de velocidade	Matriz ATA	Residuo	Sair

Figure 10: Interface de análise.

- Arquivo de velocidade: Arquivo de velocidade para observação. Qualquer um dos modelos de velocidade gerados nas iterações pode ser selecionado.
- Amostras em Z mod. velocidade (NZ): Número de amostras na vertical do modelo de velocidade.
- Numero de linhas da matriz ATA: Número de linhas da matriz ATA corresponde ao número de incógnitas do problema inverso. Neste exemplo ele corresponde ao número de nós de splines para caracterização do modelo de velocidade.
- Diretorio de inversao: Diretório onde se gravam os arquivos de inversão.
- Arquivo de residuos: Nome do arquivo onde se gravou os resíduos por iterações.
- Numero de iteracoes: Número de iterações total.

Com os parâmetros preenchidos na na Figura 10 e clicando-se no botão *Modelo de Velocidade*, aparecerá o modelo de velocidade da iteração 9, Figura 9. O modelo invertido

na nona iteração se assemelha ao modelo original, Figura 3.

Ao clicar no botão *Matriz ATA* aparecerá a matriz quadrada ATA exibida na Figura 11. Trata-se de uma matriz 5x5 pois temos 5 graus de liberdade correspondentes ao número de nós de splines que empregamos para descrever o modelo de velocidade.

Clicando no botão *Residuo* aparecerá a curva de resíduos a cada iteração, Figura 12. Note que havia espaço para mais iterações pois na nona iteração a curva não "pousou" ou atingiu um ponto de estabilidade.

Notando espaço para obtenção de melhor resultado na inversão tomográfica reduzimos a tolerância e rodamos nova inversão. Depois de 11 iterações observa-se que a convergência foi alcançada na curva resíduo por iteração - Figura 13. E por conta deste número adicional de passos, obtemos um modelo de velocidade mais próximo do original - Figura 14.

Finalmente, ao clicar no botão *Sair* a interface se encerra.

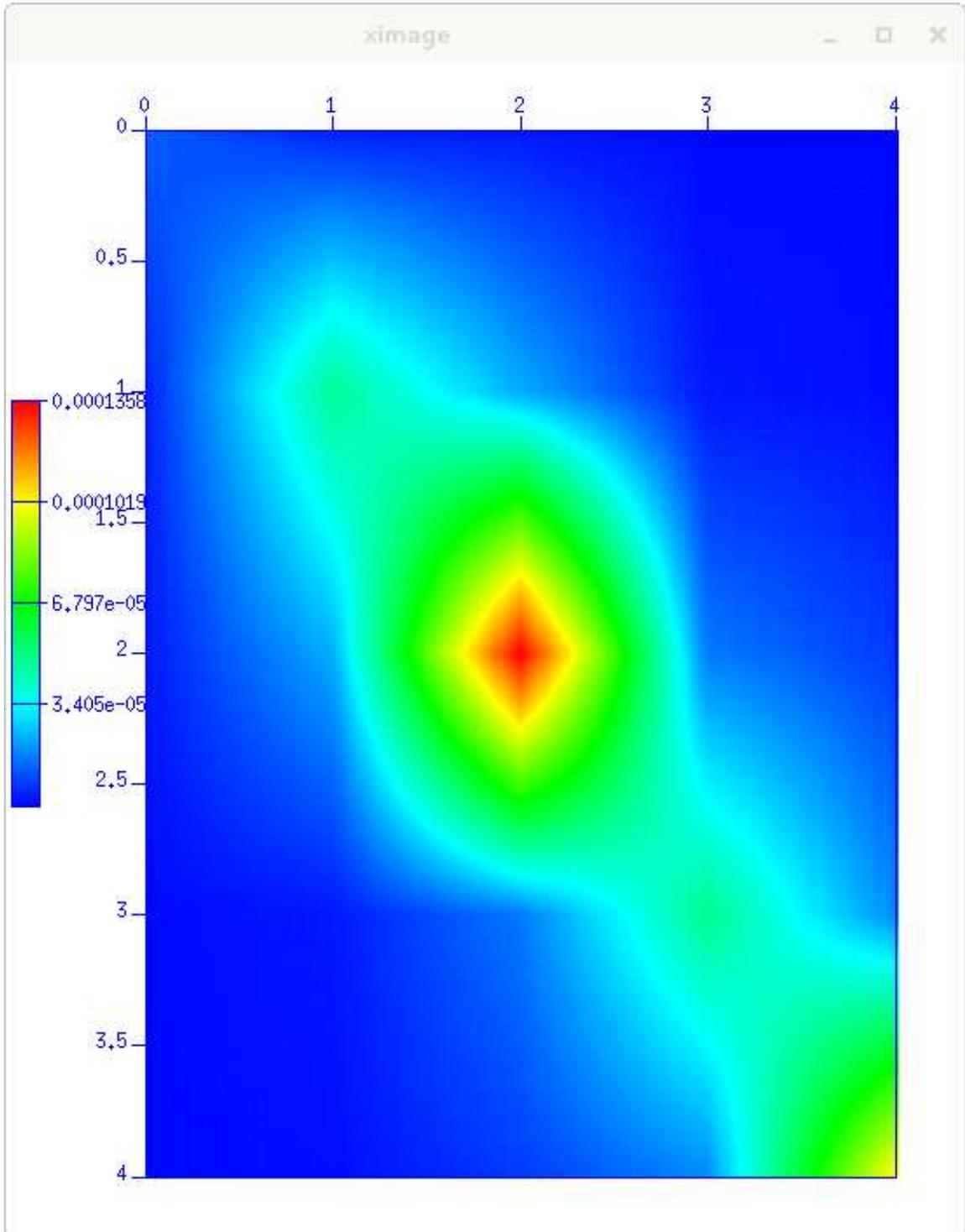


Figure 11: Matriz ATA .

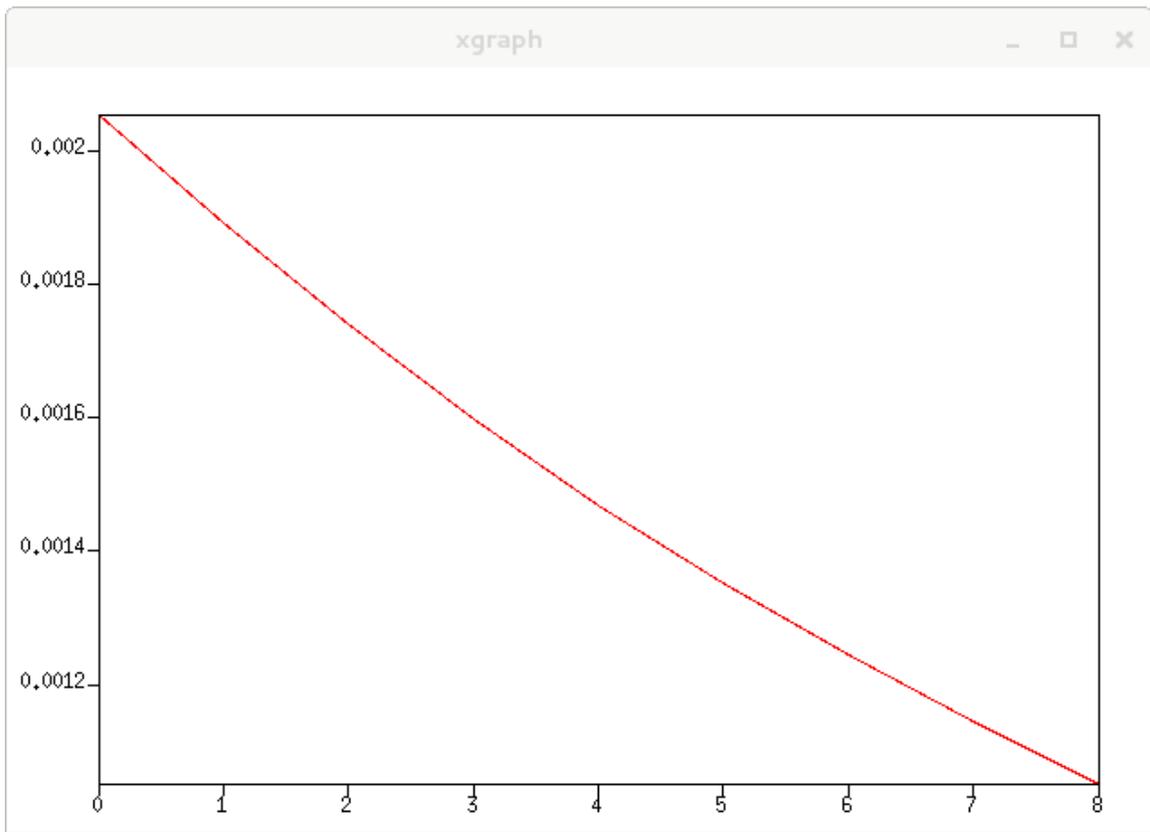


Figure 12: Curva de resíduo até a iteração 9.

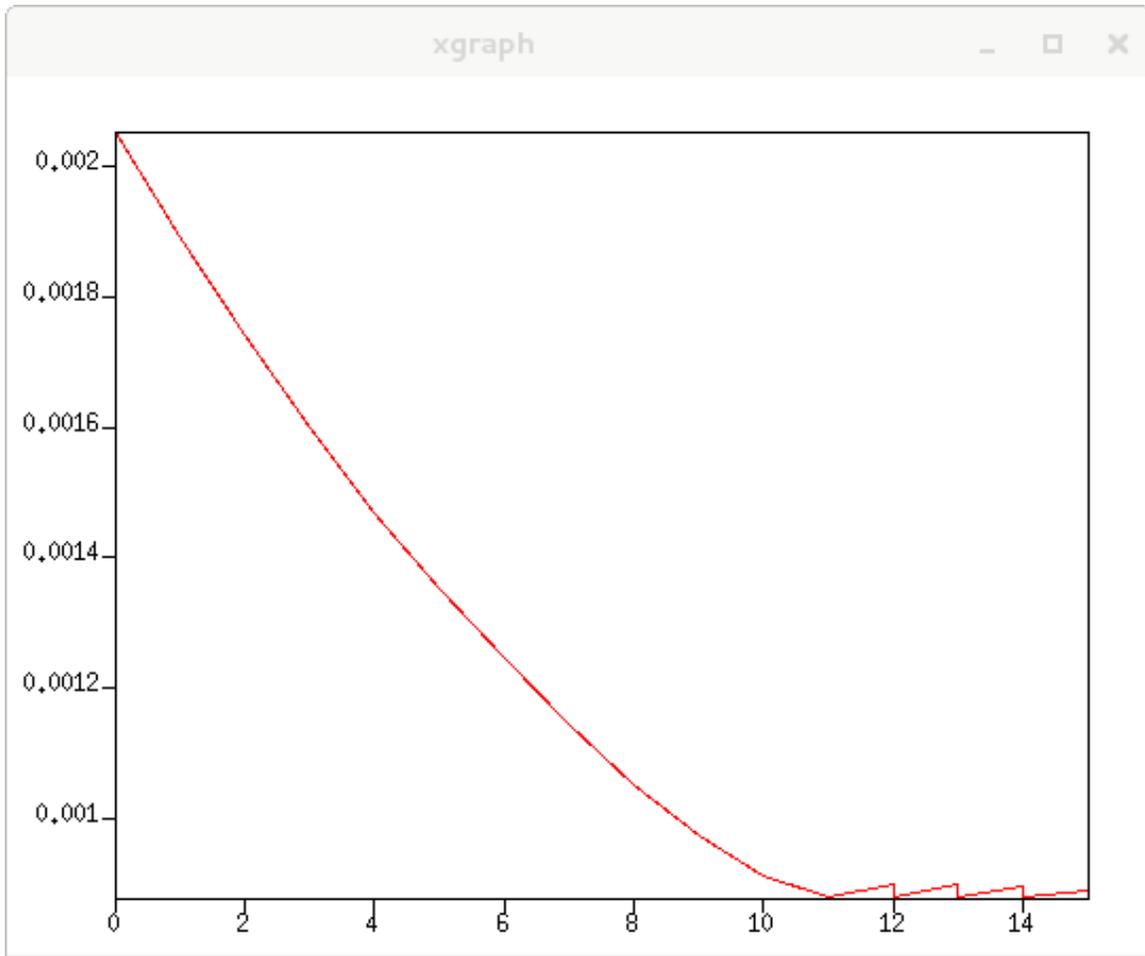


Figure 13: Curva de resíduo até a iteração 15.

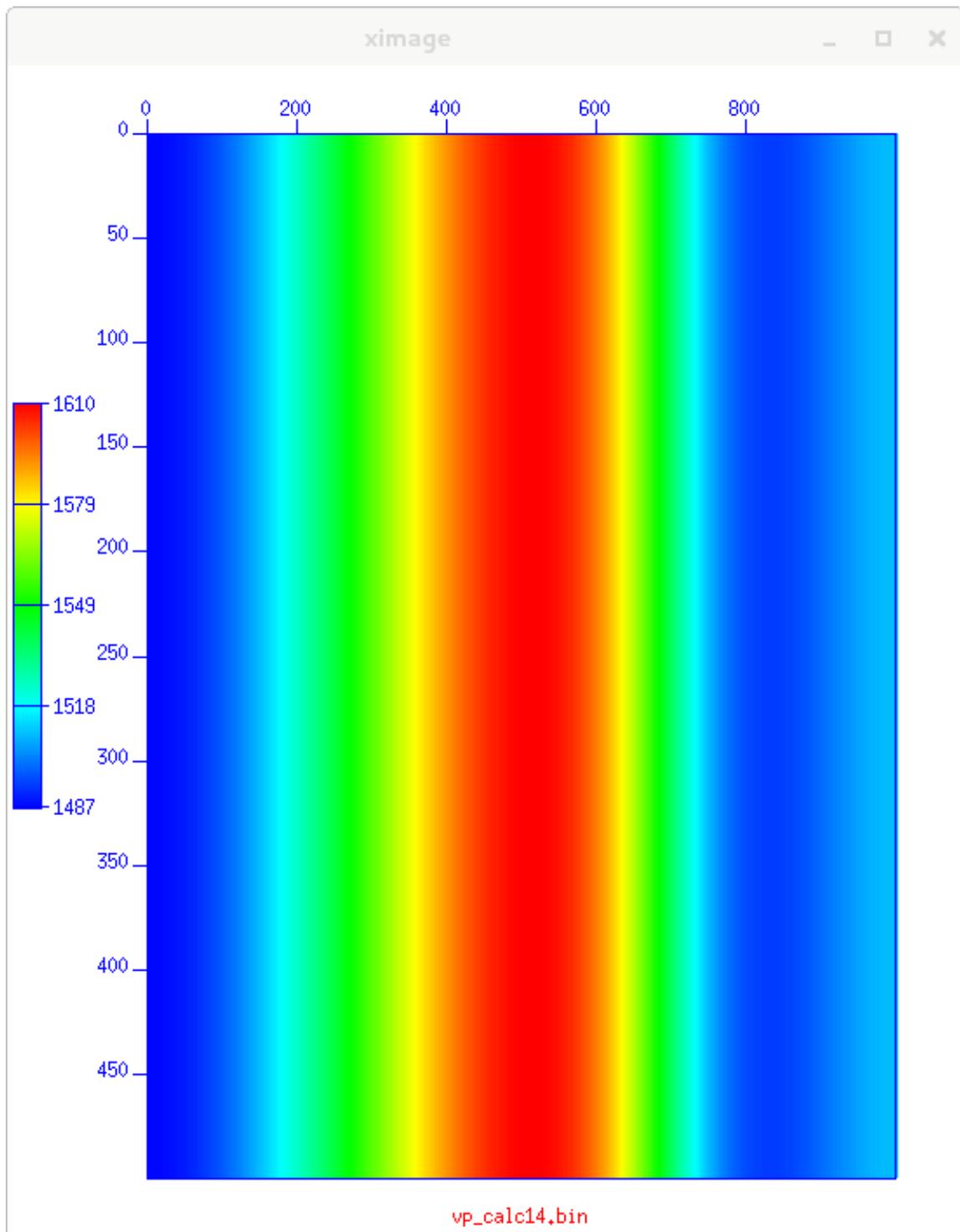


Figure 14: Modelo de velocidade calculado com inversão tomográfica não linear no passo

14.

DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

O programa *geramodin1* tem sua aplicação voltada para finalidades acadêmicas e didáticas. O pacote pode ser baixado pelo site faladaterra.com, aba Especialidades e o passo a passo está descrito no tópico Aplicações. Periodicamente estarão sendo carregadas novas versões onde serão incorporadas melhorias e sugestões dos usuários.

O sistema ora apresentado está sujeito às variações de distribuição do Linux, às versões do Python e dependente da biblioteca Tkinter. Temos rodado o *geramodin1* em distribuições Linux CENTOS, Fedora e Ubuntu e com versão Python 3.0. Eventualmente temos que adicionar manualmente a citada biblioteca Tkinter.

CONCLUSÕES

O uso do *geramodin1* na disciplina Fundamentos de tomografia sísmica e em cursos da Pós Graduação no Departamento de Geologia e Geofísica da Universidade Federal Fluminense têm se mostrado como importante ferramenta didática e de desenvolvimento do corpo discente. Ferramentas práticas como esta coloca os alunos mais próximos do dia a dia de suas vidas profissionais acelera a absorção do conhecimento e promove o pensamento analítico e crítico necessário na resolução de problemas inversos nas geociências.

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 Users Manual, Version 2.2, Seismic Unix Project, Center of Wave Phenomena Colorado School of Mines.