

MÉTODO DE NEWTON TRUNCADO APLICADO À CALIBRAÇÃO DE MODELOS *FORWARD* DE RESERVATÓRIOS

Flávia Borges Durante¹, Lindaura Maria Steffens².

¹ Acadêmico (a) do Curso de Engenharia de Petróleo – CESFI – Bolsista PIVIC, vinculada ao projeto “Calibração de modelos *Forward* de reservatórios com dados de poços”

² Orientadora, Departamento de Engenharia de Petróleo – CESFI – lindaura.steffens@udesc.br

Os campos do pré-sal, por conta da espessa camada de sal acima dos reservatórios e pela alta profundidade, fazem com que os dados sísmicos tenham uma baixa resolução que dificultam a caracterização da formação através da modelagem estratigráfica tradicional, tornando essencial a aplicação de técnicas de modelagem dinâmica na simulação de processos geológicos no preenchimento de bacias, denominada modelagem estratigráfica (*Forward*). No geral os modelos *Forward* (SFM – *Stratigraphic Forward Models*) apresentam maior acurácia em questões de distribuições de fácies, porém ainda são encontradas inconsistências quando avaliadas feições pontuais em poços em relação às espessuras e à constituição das rochas presentes. Assim, os resultados dos SFM precisam ser avaliados e calibrados. Atualmente, esse ajuste é realizado manualmente por tentativa e erro, demandando tempo e interpretação qualitativa dos profissionais envolvidos. Essa calibração pode ser realizada por meio do processo de inversão que busca os parâmetros do modelo que correspondem aos resultados mais próximos dos observados. Assim, para aprimorar este processo está sendo desenvolvida uma ferramenta automatizada que avalie a compatibilidade de um conjunto de poços ao modelo gerado. A metodologia é baseada na avaliação da semelhança entre os dados dos poços e o resultado do modelo *Forward* nas mesmas posições por meio de processo de otimização para a calibração com funções objetivos (FO’s) a fim de obter os melhores parâmetros. O método de otimização de Newton Truncado (TNC – *Truncated Newton*) é um dos métodos aplicados para este processo, conhecido como otimização livre de Hessiano, eficaz para classificação linear em larga escala e projetado para otimizar funções não lineares com um grande número de variáveis independentes. O método consiste na aplicação repetida de um algoritmo de otimização iterativa para resolver de forma aproximada as equações de Newton para determinar uma atualização dos parâmetros da função. O solucionador interno é truncado, executado apenas por um número limitado de iterações. Isso resulta em um método duplamente iterativo: uma iteração externa para o problema de otimização não linear e uma iteração interna para as equações de Newton. A iteração interna é interrompida ou “truncada” antes que a solução para as equações de Newton seja obtida (NASH, 2000).

Os testes da aplicação do método foram iniciados utilizando um modelo de referência do software *DionisosFlow*[®], do tutorial *Mixed Model* (BEICIP-FRANLAB, 2017), que descreve um modelo próximo da indústria, o qual contém os sedimentos: areia, silte, carbonato e recife. Foram analisados diferentes parâmetros para este modelo (coeficiente de difusão de areia, volume de sedimentos e 4 parâmetros inversíveis) com duas FO’s desenvolvidas para calcular a similaridade entre sucessões sedimentares: a Função Estratigráfica (SCOOF) e a Função Probabilística (PROOF). Para a aplicação do método, em Python, utilizou-se a função *fmin_tnc* da biblioteca *scipy.optimize*, que minimiza uma função com variáveis sujeitas a limites, usando informações de gradiente em um algoritmo de Newton truncado. É necessário fornecer uma estimativa inicial, a função a ser otimizada e os limites dos parâmetros. Os resultados aqui apresentados se referem ao caso em que é alterado apenas um parâmetro individualmente ‘altura para o cálculo do volume de

sedimentos da fonte 1' a cada execução do algoritmo de calibração. Este caso foi escolhido com o intuito de verificar a aplicação do método para o parâmetro que foi analisado o comportamento das FOs em relação a variação dos parâmetros incertos, onde foi avaliado a regularidade das funções, as quais apresentam um comportamento suave, convexo que admite um mínimo global. Assim, os valores testados foram definidos através de intervalos regulares dentro da faixa de valores predeterminada, determinando-se previamente o parâmetro ótimo (valor de referência) e então calcula-se os valores da FOs comparando os dados simulados com a solução referência. No caso, para essa análise, foram considerados três poços geológicos (AB3, DR8 e GF20) e o cálculo será realizado pela ponderação destes, ou seja, a FO total. Os resultados para este caso estão mostrados na Tabela 1. Os valores ótimos obtidos com a calibração foram utilizados para gerar imagens dos 3 poços analisados no *DionisosFlow*[®], quanto as sequências geológicas das fácies e suas respectivas espessuras, como mostra a Figura 1. É possível analisar visualmente o quão próximo o resultado obtido está do valor real observado, sendo que para ambas as FO's os resultados obtidos são similares aos poços observados. Analogamente, para os outros parâmetros avaliados, o método encontrou os pontos ótimos desejados para os parâmetros utilizando estimativas iniciais próximas do valor de referência; com estimativas mais distantes, o método se “prende” em mínimos locais próximos ao valor do chute que foi dado. Além disso, o TNC apresentou um tempo alto de execução, o que faz com que ele talvez não seja tão viável para este problema, considerando que outros métodos de otimização, baseados em gradiente (L-BFGS-B, SLSQP) ou meta-heurísticas (AG, PSO), apresentaram resultados mais rápidos e satisfatórios.

Tabela 1. Resultados da calibração do parâmetro inversível 'altura para o cálculo do volume de sedimentos da fonte 1' para ambas as FO's (SCOOF e PROOF) utilizando o TNC com uma estimativa inicial próxima.

Volume de Sedimentos							
FO	Valor de Referência	Limites (km)	Estimativa Inicial	Tempo de Calibração	Melhor valor	Valor da FO	Erro relativo (%)
SCOOF	2240 km	1120 a 3360	2220 km	2 h 7 min	2239,99	0,005	0,0004
PROOF	2240 km	1120 a 3360	2220 km	2 h 8 min	2239,97	0,280	0,0013

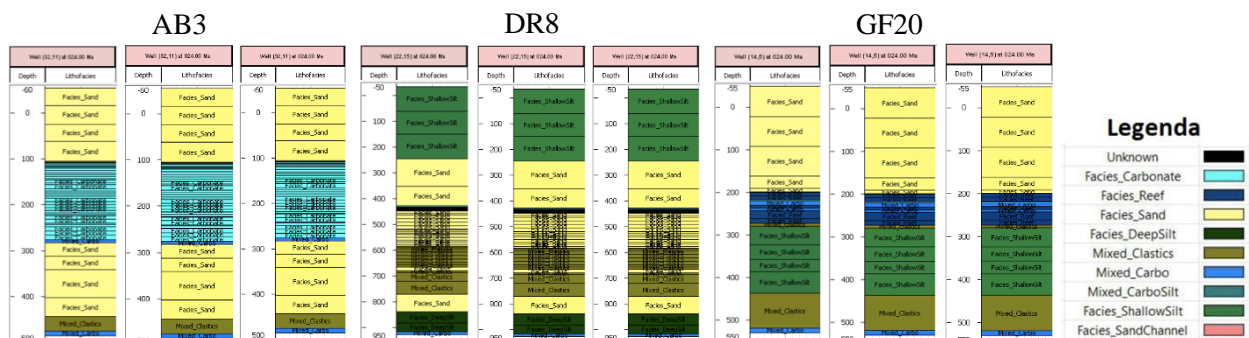


Figura 1. Sequências geológicas dos poços AB3, DR8, GF20, respectivamente, correspondentes aos valores ótimos obtidos pelo algoritmo TNC para o parâmetro incerto 'altura para o cálculo do volume de sedimentos da fonte 1'. Da esquerda à direita: poço observado, melhor valor obtido pelo TNC para a SCOOF e PROOF, respectivamente.

Palavras-chave: Modelagem Forward. Otimização. Método de Newton Truncado.