

6

Estudo de Casos

O estudo de casos é realizado com perfis de poço do Campo de Namorado e dividido, basicamente, em quatro seções: uma para a descrição do campo, duas seções para a previsão de perfis com vários arranjos de poço e uma para um caso especial. A segunda e a terceira seção são dedicadas à aplicação do método de previsão proposto de acordo com o número de poços utilizados como fonte de dados. A última seção é dedicada ao estudo de um caso de comparação do método de correlação lateral de poços com Algoritmos Genéticos e a correlação realizada por um especialista.

6.1. Descrição do Campo para os Testes

Algumas condições foram mencionadas anteriormente, para os poços sobre uma área de exploração com estudos geológicos e / ou geofísicos prévios como o Campo de Namorado, localizado na porção centro-norte na direção das acumulações de petróleo da Bacia de Campos (Rio de Janeiro). Na Figura 6.1 é mostrada a localização do campo do Namorado com uma seta horizontal.

O Campo de Namorado foi descoberto em novembro de 1975 e, segundo uma divisão da Bacia de Campos, baseada em conceitos geológicos e petrofísicos, este campo se situa no compartimento exploratório intermediário (Rangel & Martins, 1998) entre a plataforma rasa e a região de águas profundas.

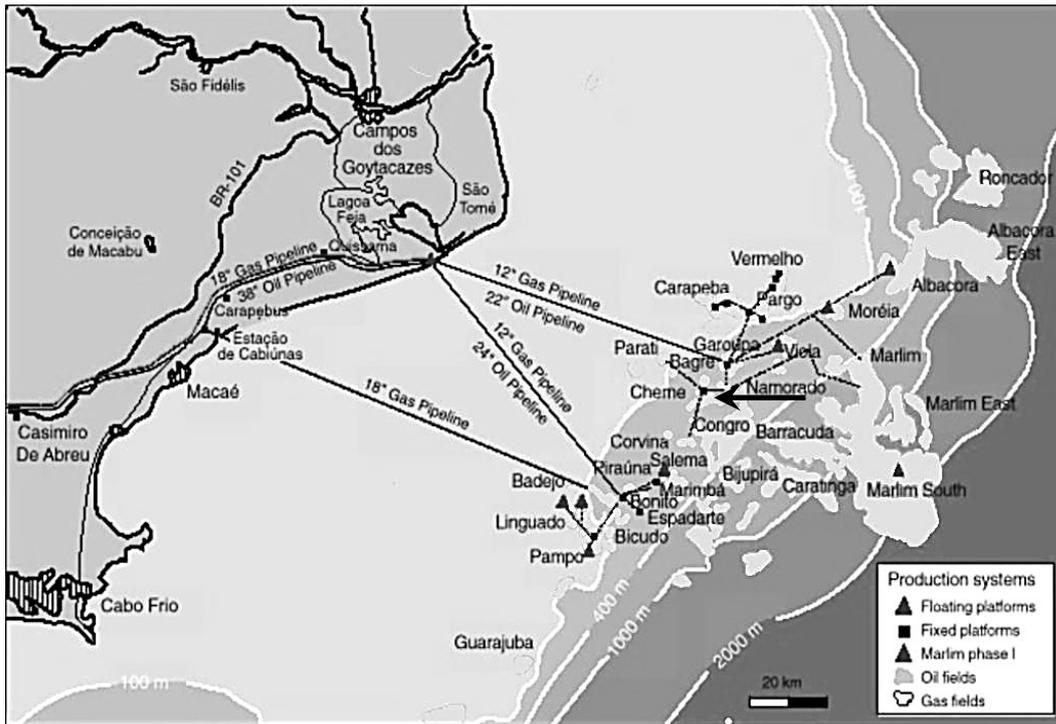


Figura 6.1 – Localização reservatório do Campo de Namorado (indicado pela seta) na Bacia de Campos (Dutra et al. 2012).

O reservatório produtor consiste em depósitos intercalados de areias turbidíticas depositadas durante o Albiano-Cenomaniano, (Guardado et al. 1990), e margas e folhelhos da sequência hemipelágica. Essa unidade sedimentar compõe a porção superior da Formação Macaé (Membro Outeiro). Na Figura 6.2 são identificados esses depósitos de areias sobre um perfil sísmico 2D.

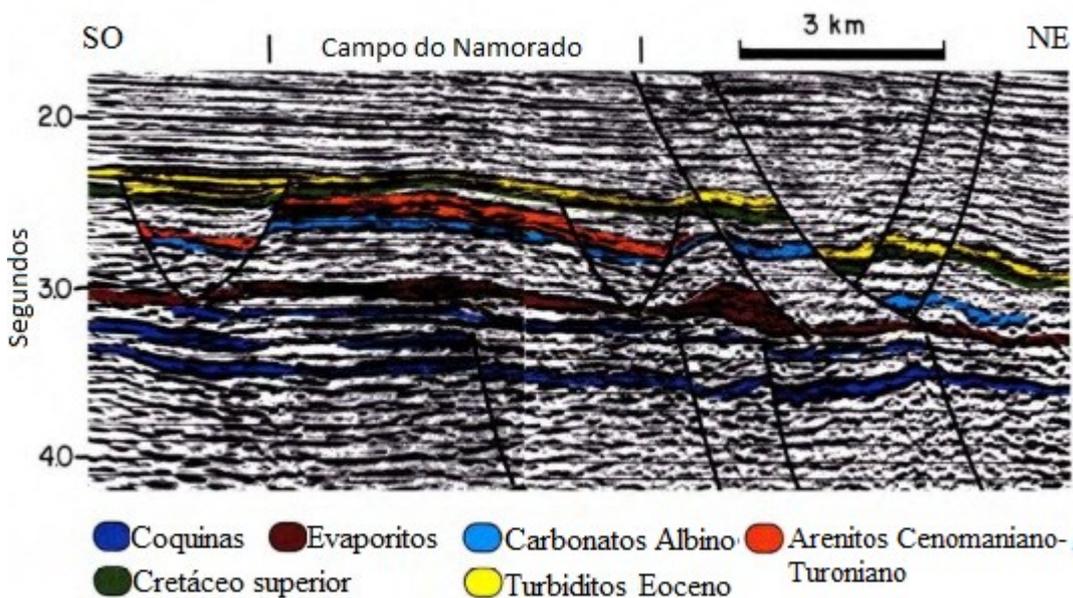


Figura 6.2 – Perfil sísmico do Campo de Namorado e identificação litológica dos reservatórios produtores. (Guardado et al. 1990).

Os limites norte e sul do reservatório estão formados por acunhamentos; pelo sudeste, noroeste e sudoeste esta limitado por falhas. Com espessuras que variam de 5 até 130 m e média de 60 m (Menezes & Adams, 1990). Na Figura 6.3 são mostradas as curvas de nível dos reservatórios, divididos em quatro blocos delimitados por falhas normais (Guardado et al. 1990). O bloco principal de produção de óleo está localizado na parte central do campo.

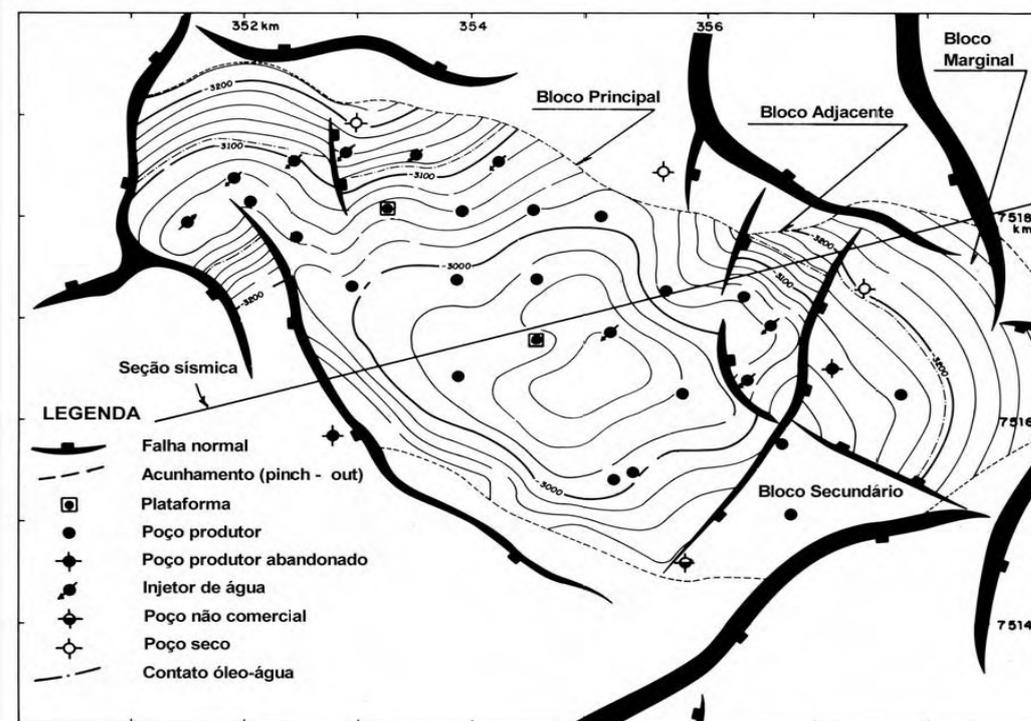


Figura 6.3 – Arcabouço estrutural e os limites dos reservatórios do Campo de Namorado (Guardado et al. 1990).

Os casos estudados neste capítulo estão situados na região onde existem dados de poço e de sísmica 3D mostrados na Figura 6.4 (disponibilizados pela ANP para fins acadêmicos).

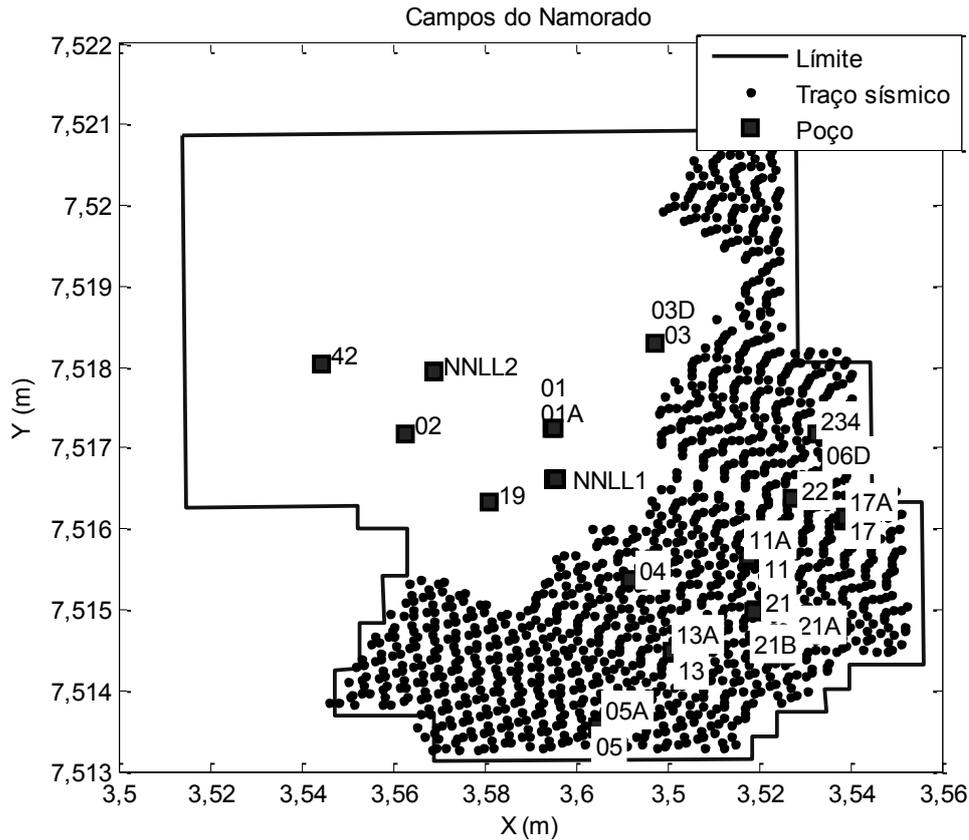


Figura 6.4 – Localização dos poços (com quadrados e números) e do levantamento sísmico 3D (pontos) do Campo de Namorado para fins acadêmicos. As coordenadas estão no sistema de coordenadas UTM, fuso 24 e zona K (hemisfério sul). Com *Datum* SAD 69 e elipsoide UGGI (1967) ou *International* (1924).

Os poços do conjunto NNLL1, representado na Figura 6.4 são: 52D, 43D, 45D, 29D, 42D, 49D, 35D, 41D, 48D, 26D, 39D, 44D, 12, 27D, 53D, 37D, 15D, 46D, 47D, 19DA, 19D, 50D, 31D, 16D, 33D, 51D. E os poços do conjunto NNLL2 são: 24D, 36D, 28D, 34D, 20D, 08D, 10D, 09D, 07, 40D, 18D, 14D, 23D, 24D, 32D, 30D, 38D. Do conjunto de pastas de poços no campo de Namorado, alguns não dispõem do perfil sônico necessário para criar os traços sísmicos sintéticos. Então, os poços que podem ser utilizados como dados ou para teste (a comparação com os dados previstos dos pseudo-poços) são: 11A, 13A, 17A, 21A e 23A; os poços que podem ser utilizados unicamente para teste são: 04, 22 e 06D. O poço 05A não é considerado porque fica fora dos blocos dos reservatórios, como pode ser observado na Figura 6.3 e na Figura 6.4. De agora em diante os poços do Campo de Namorado serão renomeados com as letras “NA” antes do número de poço.

Os dados sísmicos 3D do Campo de Namorado foram obtidos em 1988, quase dez anos depois dos primeiros poços. O levantamento sísmico, na área denominada Campo Sul 3D, foi com arranjos de fontes de tipo *airgun* e dois cabos de 240 hidrofones. Esses dados são disponibilizados pela ANP em dois conjuntos de dados: dados antes do empilhamento (*pre-stack*) e dados migrados. Para este trabalho se utilizam os dados migrados, representados na Figura 6.5, divididos em conjuntos de traços sísmicos sobre linhas numeradas. Cada traço sísmico vem com a informação básica, com as coordenadas UTM (X , Y , fuso 24 e zona K) da fonte e do ponto meio entre a fonte e o receptor. Além disso, vem também com as distâncias entre receptores (26 m aproximadamente) e os tempos de amostragem (4 ms).

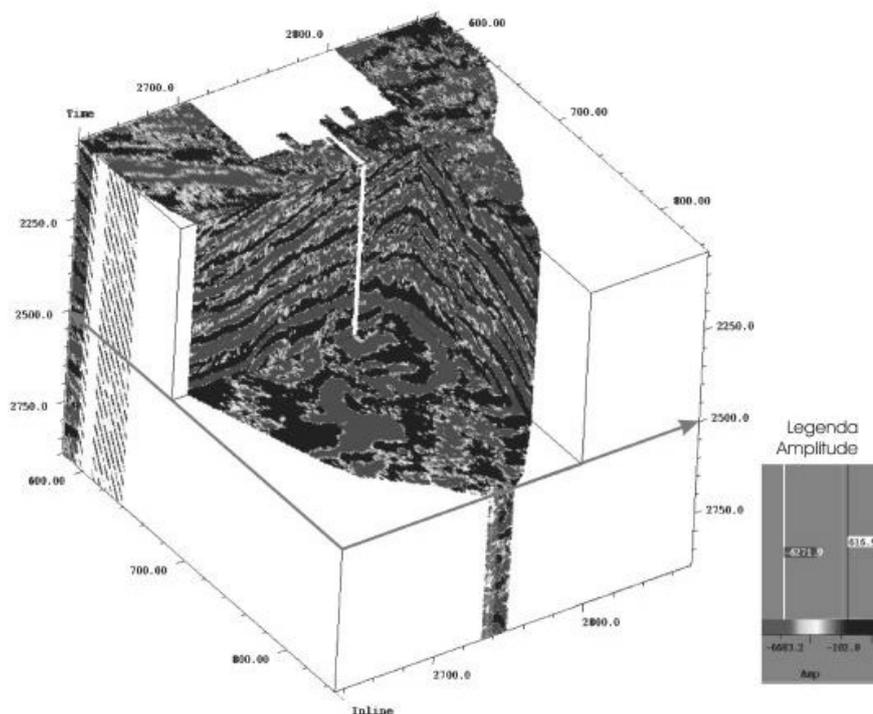


Figura 6.5 – Imagem gerada com dados sísmicos 3D do Campo de Namorado, Bacia de Campos, RJ (Da Cruz, 2003).

6.2. Arranjo de Dois Poços

Nesta secção são estudados três casos (A1, A2, e A3), com arranjos de dois poços. Cada par de poços é escolhido de um conjunto de três poços (NA11A, NA13A e NA21A); dois poços para os dados e um poço como padrão para avaliar a previsão. O número de poços mínimo, como foi explicado no

Capítulo 5, é de dois porque a correlação lateral de poço precisa de pelo menos dois poços para identificar as sequências de estratos semelhantes. Além disso, o coeficiente de combinação u_i é diferente de um valor constante a partir de um número de poços igual a dois. Porém, pode ser utilizado ou desenvolvido outro método de previsão de medições (Buland et al., 2003; Mallick et al., 2007, Li et al., 2010) para zonas próximas ao poço utilizando dados de um poço e os dados sísmicos.

6.2.1. Caso A1

Para iniciar, são escolhidos os poços NA11A e NA13A. Os perfis previstos fazem parte do pseudo-poço PS21 localizado na mesma posição do poço NA21A utilizado como padrão. Os poços estão localizados sobre o bloco Secundário mostrado na Figura 6.3 e na Figura 6.6. Posteriormente, será incluído o poço NA17A para a previsão com um arranjo de três poços.

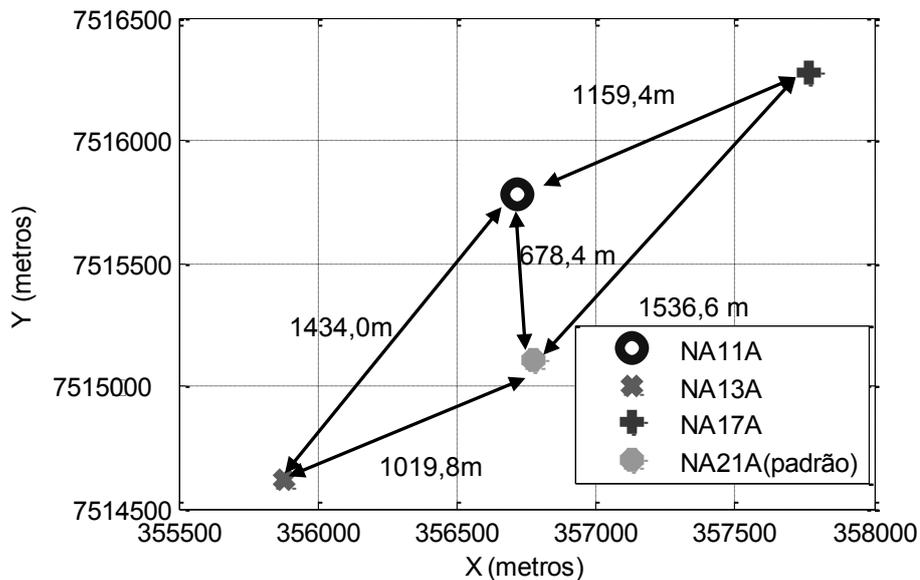


Figura 6.6 – Distribuição dos poços NA11A, NA13A, NA17A e NA21A. Os arranjos de dois poços são formados com os poços NA11A, NA13A e NA21A. Os arranjos com três poços são formados a partir dos quatro poços. O sistema de coordenadas é UTM, fuso 24 e zona K (hemisfério sul).

De maneira breve, os passos seguidos para aplicar o método de previsão proposto são: a filtragem e a estratificação dos perfis de raio gama, a correlação lateral dos perfis de poço, a correlação lateral sísmica, a interpolação dos perfis

com os resultados das etapas anteriores e o cálculo das métricas de comparação com os perfis considerados como padrões (do poço NA21A).

Como primeiro passo, realiza-se a filtragem (ondeleta $db4$ e $J = 3$) e a estratificação de cada perfil de poço. A função de avaliação utilizada foi a F_A da eq. (5.25) com os perfis de raios gama (GR) e de indução (ILD). Os parâmetros dos Algoritmos Genéticos, discutidos e determinados na Seção 5.3.2 e Seção 5.4.1, são mostrados na Tabela 6.1. Esses parâmetros são utilizados para todos os casos.

Tabela 6.1 – Parâmetros e características dos Algoritmos Genéticos para a correlação lateral de poços e correlação lateral sísmica para todos os casos.

	Correlação Lateral de 2 Poços	Correlação Lateral de 3 Poços	Correlação Lateral Sísmica 3D
População	34	34	32
Gerações	200	300	3500
Seleção Estocástica uniforme	Sim	Sim	Sim
Cruzamento heurístico	0,77	0,77	0,77
Mutação Uniforme	0,05	0,05	0,03
Elitismo – Steady State	1	1	1
Experimentos	10	10	40
Recursos Computacionais	Processador de 64 bits, 1,81 GHz e 1 GB de RAM		
Tempo de execução	170 – 750 s.	300 - 900s.	5,3 – 6,7h

A correlação lateral de poço com os Algoritmos Genéticos, os perfis de raio gama e os de indução produziram resultados coerentes e convergentes aos mesmos agrupamentos de estratos, mostrados nas Figuras 6.7 e 6.8. Por outro lado, na Tabela 6.2 são mostrados os resultados dos índices de início, i_{si} , do vetor estratificado (S_i), k_i é o índice no perfil de raio gama, Z_i é a profundidade e n é o número de estratos correlacionados.

Tabela 6.2 – Resultados numéricos da correlação lateral de dois poços com Algoritmos Genéticos entre os poços NA11A e NA13A.

	NA11A			NA13A		
	i_{si}	k_i	z_i (m)	i_{si}	k_i	z_i
Agrupamento 1 n = 357 estratos	5	48	1593,2	2	8	1585,6
Agrupamento 2 n = 338 estratos	539	5324	2397,3	528	5372	2403,1

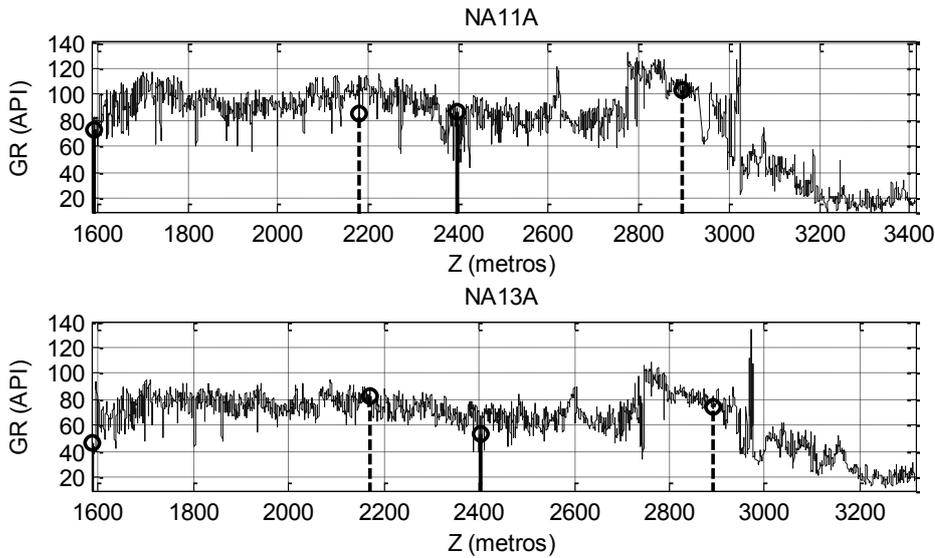


Figura 6.7 – Dois agrupamentos de estratos semelhantes encontrados nos perfis de raios gama dos poços NA11A e NA13A. Os agrupamentos começam com um traço contínuo e finalizam com um traço descontínuo.

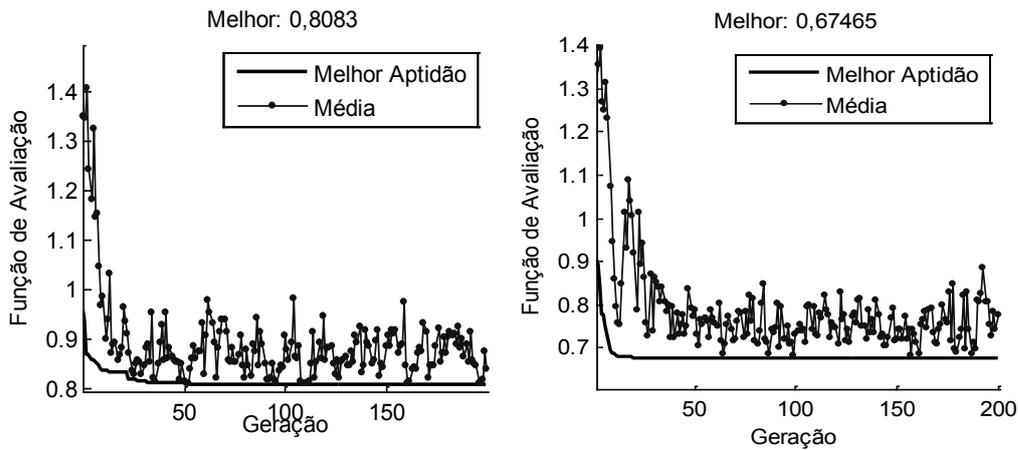


Figura 6.8 – Curvas de desempenho dos Algoritmos Genéticos para a correlação lateral. Da esquerda para a direita, curvas dos melhores experimentos para o primeiro e do segundo agrupamento.

Antes da interpolação de Shepard e a estimação da profundidade do início Z_{ef} , das medições previstas, são necessários os deslocamentos em profundidade de alguns eventos sísmicos no pseudo-poço em relação aos dos poços. Para isso, utiliza-se a correlação lateral sísmica 3D com Algoritmos Genéticos. Os traços sísmicos utilizados são o traço número 70 próximo ao pseudo-poço PS21 (e do poço padrão NA21A), na linha 2735 (S70-NA21A); o traço 41 próximo ao

poço NA11A, na linha 2745; e o traço 54 próximo ao poço NA13A, na linha 2718. Em geral, os afastamentos dos traços sísmicos aos poços estão entre 8 e 21 m.

Dos trinta ($e_{max} = 30$) deslocamentos (ΔI), entre o traço sísmico 70 e os traços sísmicos 41 e 54, são mostrados apenas aqueles que caem em ambos os traços sísmicos sintéticos dos poços próximos. Na Tabela 6.3 são mostrados os índices e seus deslocamentos e, na Figura 6.9, as curvas de desempenho dos Algoritmos Genéticos para os melhores experimentos.

Tabela 6.3 – Índices dos eventos padrão do traço sísmico 70 (próximo de PS21) e os deslocamentos nos traços sísmicos 41 e 54. Esses são para os eventos que aparecem nos traços sísmicos sintéticos dos dois poços próximos.

Evento (e)	12	13	14	15	16
i_e (S70-NA21A)	396	407	428	462	559
Δi_e (S41-NA11A)	-7	0	-5	42	5
Δi_e (S54-NA13A)	-1	-1	22	14	-25

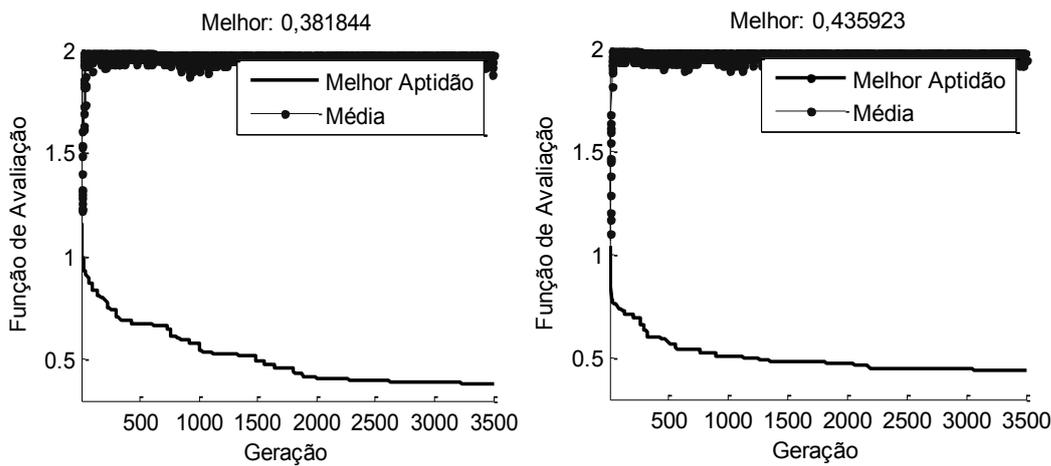


Figura 6.9 - Curvas de Desempenho do Algoritmo Genético para correlação lateral sísmica dos traços S41–NA11A e S54–NA13A com o traço S70–NA21A.

Na Tabela 6.4 são mostrados os índices i_c correspondentes ao início do traço sísmico sintético de poço sobre o traço sísmico 3D, os índices i_e dos primeiros eventos sobre os traços sísmicos sintéticos, os índices k_e dos eventos refletidos na escala de profundidade dos poços, os deslocamentos ΔD calculados com a eq. (5.37), os deslocamentos médios ΔD_m e a profundidade aproximada Z_{ef} da eq. (5.48).

Tabela 6.4 – Índices e deslocamentos para estimar a profundidade Z_{ef} do perfil previsto, a partir dos deslocamentos dos eventos nos traços sísmicos 41 e 54, em relação aos eventos do traço sísmico 70, próximo ao pseudo-poço PS21.

Traço Sísmico	ic	$l_e(12)$	$k_e(12)$	ΔD (m)	ΔD_m (m)	Z_{ef} (m)
S41–NA11A	376	389	853	-16,31	-59,2531	1619,8
S54–NA13A	337	395	2020	-49,68	-52,4256	

Para realizar a interpolação de Shepard, primeiro são calculados os coeficientes u , com as coordenadas UTM dos poços (ver Tabela B.2) e a eq. (5.3). O resultado é um vetor de coeficientes $u = \{0,6932; 0,3068\}$. Em seguida, os diferentes trechos, correlacionados e não correlacionados, são combinados em sequência utilizando a eq. (5.10), para formar o perfil previsto. Seu vetor de profundidade é estimado com início em Z_{ef} . Na Figura 6.10 é mostrado o resultado comparado com o perfil padrão do poço NA21A.

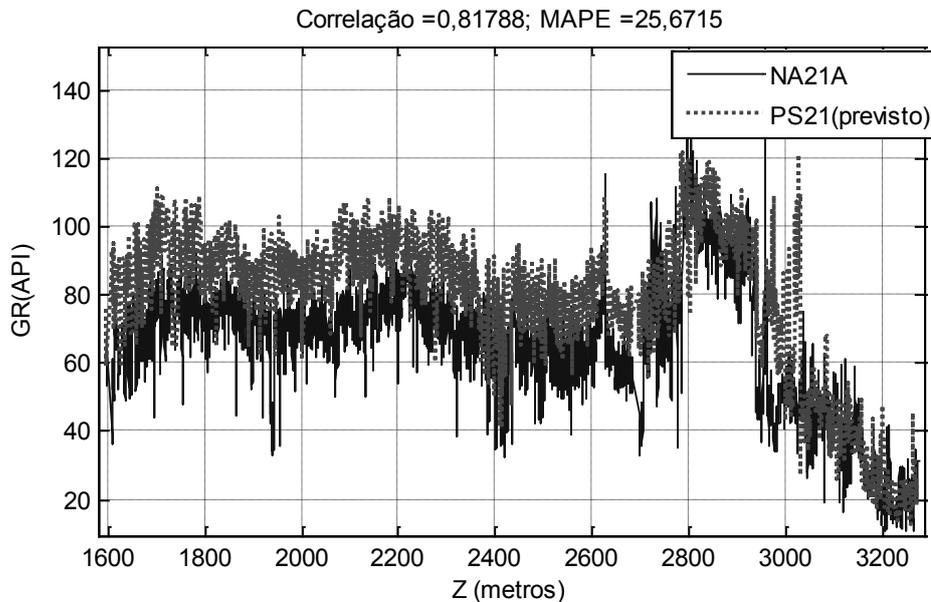


Figura 6.10 – Curvas do perfil do raio gama do poço NA21A e do perfil previsto com um arranjo de dois poços (NA11A e NA13A). O perfil previsto foi ajustado em profundidade com a informação sísmica. As métricas, acima, são do perfil completo com $u = \{0,6932; 0,3068\}$.

O pós-processamento dos perfis consiste em gerar o mesmo número de amostras para o perfil previsto e para o padrão, no mesmo intervalo de profundidade. Isto deve ser feito porque normalmente a profundidade de início ou o número de amostras do perfil padrão não coincidem com os do perfil previsto. Na Figura 6.10 é mostrado o resultado com o ajuste de profundidade num intervalo de 1600 metros aproximadamente.

Para calcular as métricas, os dados são classificados em duas categorias litológicas: arenito e folhelho. Na Figura 6.11 é possível observar os histogramas para o perfil padrão do poço NA21 e o perfil previsto do pseudo-poço PS21. No primeiro, a distribuição de dados com a menor moda (e média) representa as rochas do tipo arenito, e aquela com a maior moda, as rochas do tipo folhelho. Mas para o perfil previsto aparecem três distribuições. Além disso, a média do folhelho é maior no perfil previsto do que no perfil padrão. Essas duas características constituem problemas na previsão.

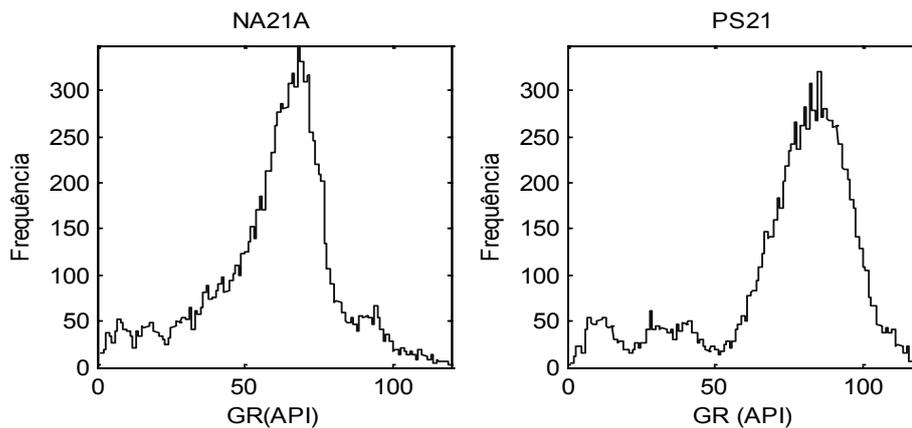


Figura 6.11 – Histogramas do perfil de raio gama padrão do poço NA21A e o perfil previsto com o arranjo de dois poços e $u = \{0,6932; 0,3068\}$.

A seguir, mais testes são realizados para encontrar as possíveis causas desses dois problemas. O primeiro passo é verificar as tendências nos outros perfis de poço. Na Tabela 6.5 são comparadas as médias (m) dos perfis padrões, os MAPE's e os coeficientes de correlação ($\rho_{r,y}$), para o arenito e o folhelho. Esses cálculos também são realizados para todas as amostras juntas.

Todos os resultados obtidos nas Tabelas 6.2, 6.3 e 6.4, com base na informação estratigráfica dos perfis de raios gama, são utilizados para prever as medições, também, de outros perfis de poço. Para isso, os perfis, de um mesmo tipo, são interpolados com a eq. (5.10) para obter as medições do perfil de raio gama (GR), o sônico (DT), de indução (ILD) e densidade (RHOB), para o pseudo-poço PS21. Os picos de resistividade (maiores do que 100ohm-m), dos perfis de indução, são corrigidos antes da interpolação.

Tabela 6.5 – Comparação de métricas dos perfis previstos para o pseudo-poço (PS21). Os perfis do poço NA21A são utilizados como padrões.

PS21/NA21A	Arenito			Folhelho			Total	
	Média	MAPE%	$\rho_{r,y}$	Média	MAPE%	$\rho_{r,y}$	MAPE%	$\rho_{r,y}$
GR (API)	26,64	41,50	0,6354	70,84	23,66	0,6485	25,67	0,8179
DT (us/ft)	67,35	9,88	0,7836	100,32	7,32	0,6847	7,61	0,8167
ILD(ohm-m)	4,77	46,80	0,4638	1,75	39,62	0,1007	40,43	0,1940
RHOB(g/cm ³)	2,56	2,01	0,7944	2,28	2,80	0,6983	2,72	0,8147

Os resultados totais apresentam correlação linear forte ($\rho_{r,y}$), entre as previsões e os padrões, para a maioria dos perfis de poço, menos para o perfil de indução (ILD), porque apresenta baixa correlação linear. Além disso, o MAPE do mesmo perfil é elevado.

Por outro lado, os valores de MAPE e do coeficiente de correlação, $\rho_{r,y}$, mostram diferenças entre os dados classificados como arenito e folhelho. Os valores de MAPE para o arenito são maiores do que para o folhelho e os valores do $\rho_{r,y}$ para o arenito são melhores do que para o folhelho. Para ambos os tipos existe uma correlação linear forte (menos para o perfil de indução). Os valores do $\rho_{r,y}$ são maiores para o total de amostras do que para os tipos litológicos, pelo motivo seguinte: a redução dos valores de autocorrelação, k_r e k_y , do coeficiente de correlação $\rho_{r,y}$. Esses valores são ligeiramente menores porque utilizam mais amostras com pouco peso, como as amostras do arenito.

Neste ponto aparece uma pergunta simples, os coeficientes u produzem uma interpolação adequada dos perfis? Essa pergunta é respondida através de algumas variações dos valores de u , em que o valor máximo do coeficiente de correlação, $\rho_{r,y} = 0,83307$, está em torno de $u = \{0,3; 0,7\}$. Por outro lado, o erro diminui (MAPE) até 18,09%, como é mostrado na Figura 6.12.

Na Figura 6.13 é possível observar os histogramas para o perfil padrão do poço NA21 e o perfil previsto do pseudo-poço PS21, com $u = \{0,3; 0,7\}$. No histograma do perfil previsto (PS21), as frequências das modas, entre o folhelho e o arenito, diminuem. De igual maneira, a média da distribuição para o folhelho.

Os resultados, das Figuras 6.12 e 6.13, mostram que as variações dos perfis de raio gama não apresentam, aparentemente, uma relação linear com as distâncias entre poços. Isso, supondo que os dados originais não apresentam alterações (pela posição da ferramenta, pelo tipo de lama e nem pela filtragem).

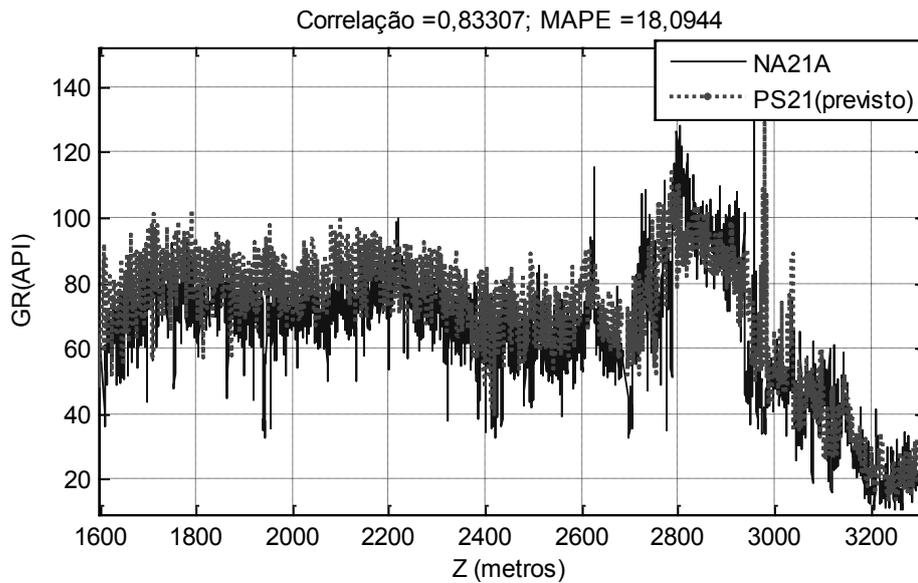


Figura 6.12 – Curvas do perfil do raio gama (linha contínua) do poço NA21A e do perfil previsto com um arranjo de dois poços (NA11A e NA13A). O perfil previsto foi ajustado em profundidade com a informação sísmica. As métricas, mostradas acima são do perfil completo, com $u = \{0,3; 0,7\}$.

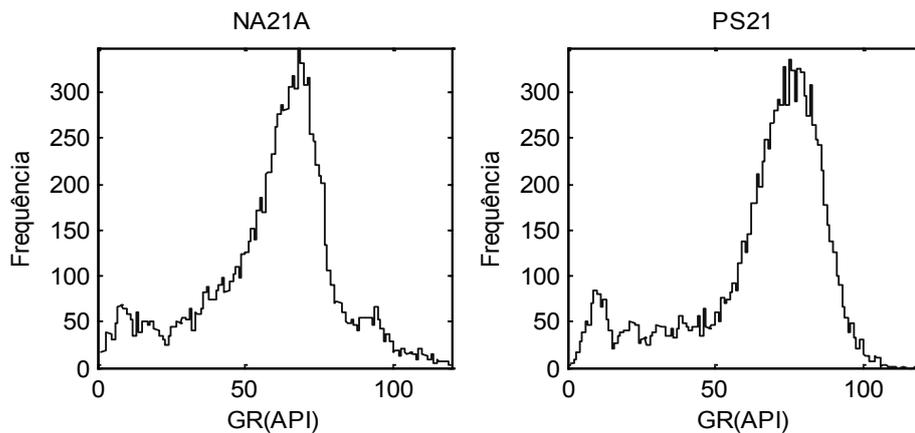


Figura 6.13 – Histogramas do perfil de raio gama padrão do poço NA21A e o perfil previsto com o arranjo de dois poços e $u = \{0,3; 0,7\}$.

6.2.2. Caso A2

Neste caso são escolhidos os poços NA11A e NA21A. Os perfis previstos fazem parte do pseudo-poço PS13 localizado na mesma posição do poço NA13A utilizado como padrão. Os poços estão localizados sobre o bloco Secundário mostrado na Figura 6.3 e na Figura 6.6.

Os passos, para aplicar o método de previsão, são os mesmos do caso A1. Assim, como primeiro passo, realiza-se a filtragem (ondeleta $db4$ e $J = 3$) e a

estratificação de cada perfil de poço. A função de avaliação utilizada foi a F_A da eq. (5.25) com os perfis de raios gama (GR) e de indução (ILD). A correlação lateral de poço com os Algoritmos Genéticos, os perfis de raio gama e os de indução produziram resultados coerentes e convergentes aos mesmos agrupamentos de estratos, mostrados nas Figuras 6.14 e 6.15. Por outro lado, na Tabela 6.6 são mostrados os resultados dos índices de início, i_{si} , do vetor estratificado (S_i), k_i é o índice no perfil de raio gama, Z_i é a profundidade e n é o número de estratos correlacionados.

Tabela 6.6 – Resultados numéricos da correlação lateral de dois poços com Algoritmos Genéticos entre os poços NA11A e NA21A.

	NA11A			NA21A		
	i_{si}	k_i	z_i (m)	i_{si}	k_i	z_i
Agrupamento 1 n = 167 estratos	3	24	1589,6	393	6430	1573,0
Agrupamento 2 n = 166 estratos	205	2320	1939,5	593	8924	1962,4
Agrupamento 3 n = 259 estratos	376	4084	2208,3	760	10564	2212,3
Agrupamento 4 n = 215 estratos	638	6184	2528,4	1020	12640	2528,7
Agrupamento 5 n = 214 estratos	861	8448	2873,4	1236	14512	2827,5

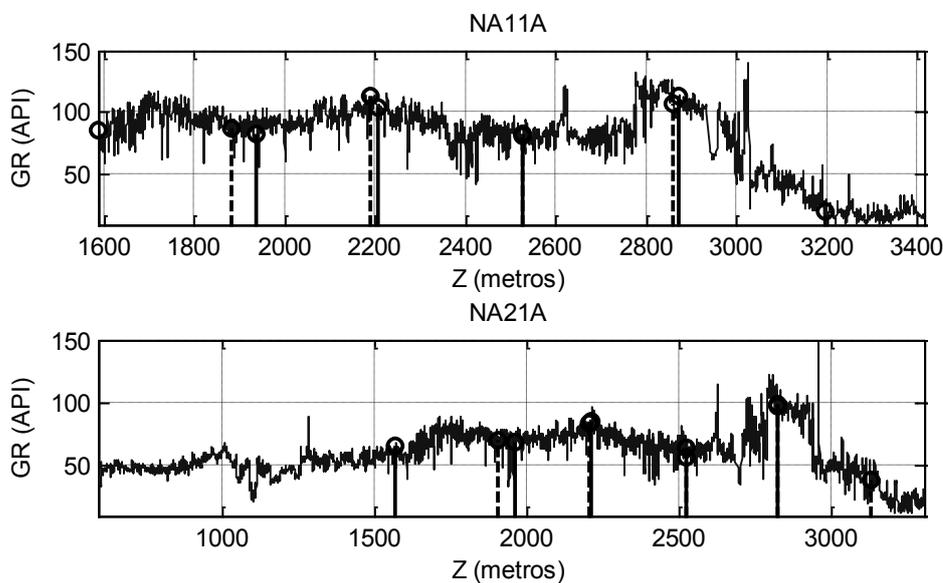


Figura 6.14 – Cinco agrupamentos de estratos semelhantes encontrados nas diferentes curvas estratificadas (S_i) dos perfis de raios gama dos poços NA11A e NA21A. Os agrupamentos começam com um traço contínuo e finalizam com um traço descontínuo.

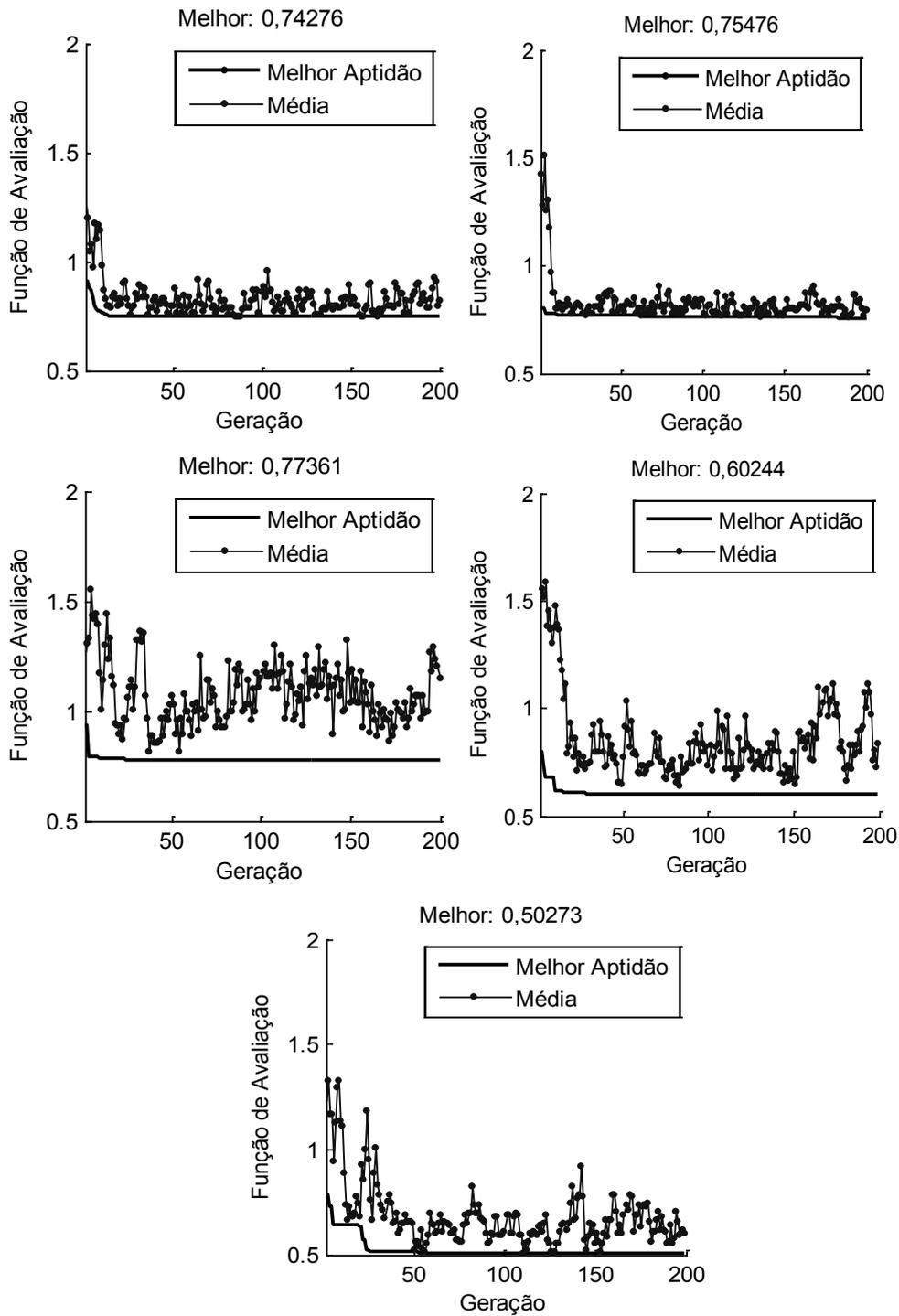


Figura 6.15 – Curvas de desempenho dos Algoritmos Genéticos para a correlação lateral dos perfis dos poços NA11A e NA21A. Da esquerda para a direita e de acima para baixo, as curvas dos melhores experimentos para os cinco agrupamentos.

A seguir, os deslocamentos em profundidade são estimados para alguns eventos sísmicos no pseudo-poço PS13 em relação aos dois poços. Para isso, utiliza-se a correlação lateral sísmica 3D com Algoritmos Genéticos. Os traços sísmicos utilizados são o traço número 54 próximo ao pseudo-poço PS13 (e do

poço padrão NA13A), na linha 2718 (S54-NA13A); o traço 41 próximo ao poço NA11A, na linha 2745; e o traço 70 próximo ao poço NA21A, na linha 2735.

Dos trinta ($e_{max} = 30$) deslocamentos (ΔI), entre o traço sísmico 54 e os traços sísmicos 41 e 70, são mostrados apenas aqueles que caem em ambos os traços sísmicos sintéticos dos poços próximos. Na Tabela 6.7 são mostrados os índices e seus deslocamentos e, na Figura 6.16, as curvas de desempenho dos Algoritmos Genéticos para os melhores experimentos.

Tabela 6.7 – Índices dos eventos padrão do traço sísmico 54 (próximo de PS13) e os deslocamentos nos traços sísmicos 41 e 70. Esses são para os eventos que aparecem nos traços sísmicos sintéticos dos dois poços próximos.

Evento (e)	12	13	14
i_e (S54-NA13A)	393	405	520
Δi_e (S41-NA11A)	-9	29	-48
Δi_e (S70-NA21A)	-6	20	-25

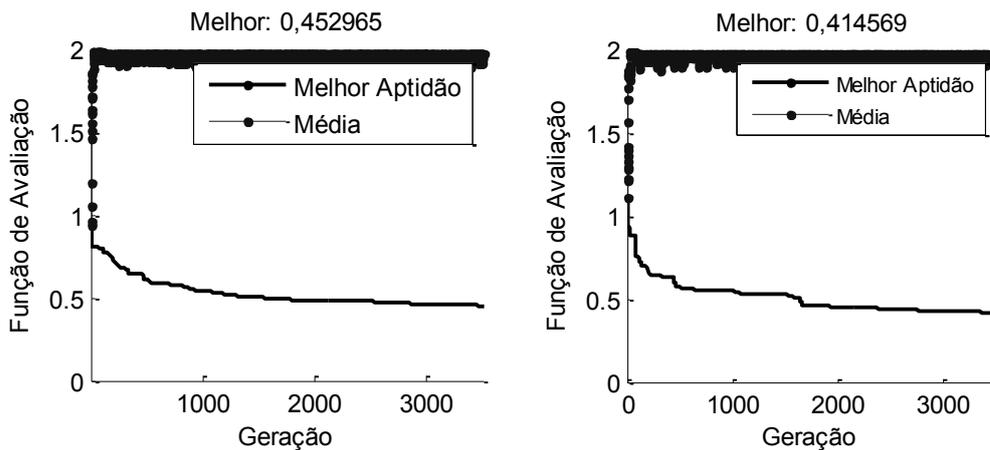


Figura 6.16 - Curvas de Desempenho do Algoritmo Genético para correlação lateral sísmica dos traços S41–NA11A e S70–NA21A com o traço S54–NA13A.

Na Tabela 6.8 são mostrados os índices i_c correspondentes ao início do traço sísmico sintético de poço sobre o traço sísmico 3D, os índices i_e dos primeiros eventos sobre os traços sísmicos sintéticos, os índices k_e dos eventos refletidos na escala de profundidade dos poços, os deslocamentos ΔD calculados com a eq. (5.37), a média dos deslocamentos dos cinco eventos ΔD_m e a profundidade aproximada Z_{e_f} da eq. (5.48). Nos cálculos dos deslocamentos ΔD são utilizados apenas os sinais e uma unidade de Δi_e . Isso é devido a grandes erros produzidos, na estimativa de Z_{e_f} , com os valores originais.

Tabela 6.8 – Índices e deslocamentos para estimar a profundidade Z_{ef} do perfil previsto, a partir dos deslocamentos dos eventos nos traços sísmicos 41 e 70, em relação aos eventos do traço sísmico 54, próximo ao pseudo-poço PS13.

Traço Sísmico	ic	$l_e(12)$	$k_e(12)$	ΔD (m)	ΔD_m (m)	Z_{ef} (m)
S41-NA11A	376	384	592	-11,89	-4,52	1589,8
S70-NA21A	146	387	7272	-10,97	-3,96	

Para realizar a interpolação de Shepard, primeiro são calculados os coeficientes u , com as coordenadas UTM dos poços (ver Tabela B.2) e a eq. (5.3). O resultado é um vetor de coeficientes $u = \{0,3359; 0,6641\}$. Em seguida, os diferentes trechos, correlacionados e não correlacionados, são combinados em sequência utilizando a eq. (5.10), para formar o perfil previsto. Seu vetor de profundidade é estimado com início em Z_{ef} . Na Figura 6.17 é mostrado o resultado comparado com o perfil padrão do poço NA13A. O pós-processamento dos perfis consiste em gerar o mesmo número de amostras para o perfil previsto e para o padrão, no mesmo intervalo de profundidade, como são mostradas na Figura 6.17.

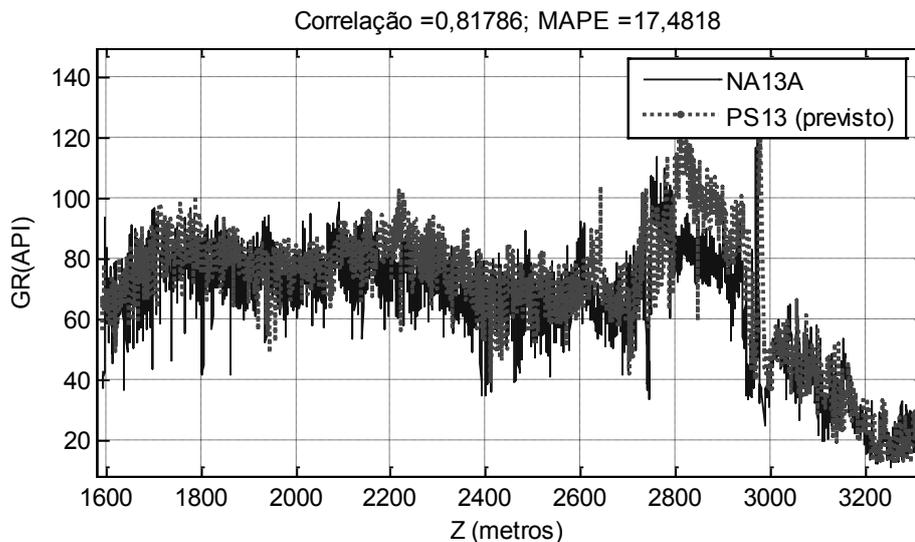


Figura 6.17 – Curvas do perfil do raio gama do poço NA13A e do perfil previsto com um arranjo de dois poços (NA11A e NA21A). O perfil previsto foi ajustado em profundidade com a informação sísmica. As métricas, acima, são para o perfil completo.

Para calcular as métricas, os dados são classificados em duas categorias litológicas: arenito e folhelho. Na Figura 6.18 é possível observar os histogramas para o perfil padrão do poço NA13A e o perfil previsto do pseudo-poço PS13. No perfil previsto aparecem levemente três distribuições, mas sua média está próxima do perfil padrão.

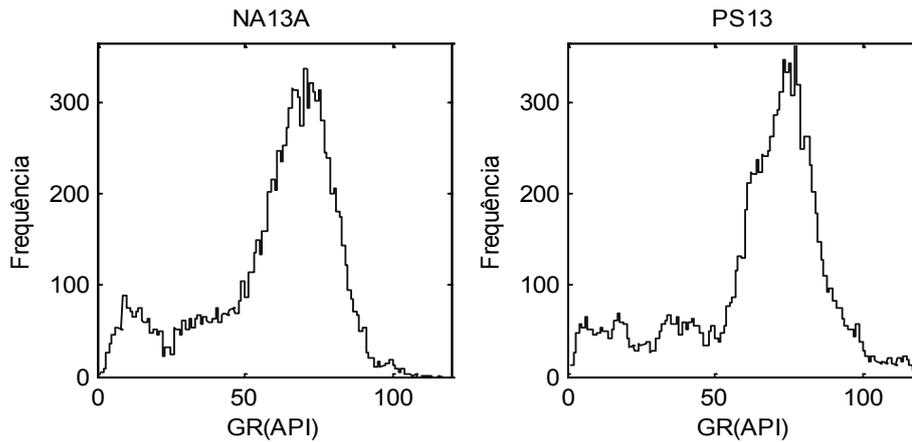


Figura 6.18 – Histogramas do perfil de raio gama padrão do poço NA13A e o perfil previsto com o arranjo de dois poços e $u = \{0,3359; 0,6641\}$.

A seguir, os outros perfis de poço são previstos. Na Tabela 6.9 são comparadas as médias (m) dos perfis padrões, os MAPE's e os coeficientes de correlação ($\rho_{r,y}$), para o arenito e folhelho. Esses cálculos também são realizados para todas as amostras juntas. Os resultados obtidos nas Tabelas 6.6, 6.7 e 6.8, com base na informação estratigráfica dos perfis de raios gama, são utilizados para prever os outros perfis de poço. Para isso, os perfis de um mesmo tipo são interpolados com a eq. (5.10) para obter as medições do perfil de raio gama (GR), o sônico (DT), de indução (ILD) e densidade (RHOB), para o pseudo-poço PS13.

Tabela 6.9 – Comparação de métricas dos perfis previstos para o pseudo-poço (PS13). As métricas são calculadas utilizando os perfis previstos e os perfis padrões do poço NA13A.

PS13/NA13A	Arenito			Folhelho			Total	
	Média	MAPE%	$\rho_{r,y}$	Média	MAPE%	$\rho_{r,y}$	MAPE%	$\rho_{r,y}$
GR (API)	23,55	28,08	0,6071	70,86	16,11	0,6014	17,48	0,8179
DT (us/ft)	65,20	6,42	0,5059	99,77	6,75	0,7160	6,71	0,8402
ILD(ohm-m)	3,99	57,03	0,3198	1,66	27,34	0,4150	30,74	0,4763
RHOB(g/cm ³)	2,58	1,22	0,5134	2,29	2,64	0,6997	2,47	0,8217

Os resultados totais apresentam correlação linear forte ($\rho_{r,y}$), entre as previsões e os padrões, para a maioria de perfis de poço, menos para o perfil de indução (ILD). Nesse caso, esse perfil previsto apresenta correlação linear moderada e MAPE menor do que no caso A1, embora este ainda seja elevado. O MAPE total do perfil de raio gama não é muito elevado, porque o perfil previsto quase encaixa com o perfil padrão, como pode ser visto na Figura 6.17.

Por outro lado, os valores de MAPE e do coeficiente de correlação, $\rho_{r,y}$, mostram diferenças entre os dados classificados como arenito e folhelho. Os valores de MAPE para o arenito são maiores do que para o folhelho. Nesse caso, para o perfil sônico, de indução e de densidade, os valores do $\rho_{r,y}$, para o arenito, apresentam correlação linear moderada.

6.2.3. Caso A3

Neste caso são escolhidos os poços NA13A e NA21A. Os perfis previstos fazem parte do pseudo-poço PS11, localizado na mesma posição do poço NA11A utilizado como referência e seus dados como padrões.

Os passos para aplicar o método de previsão são os mesmos do caso A1 e A2. Assim, como primeiro passo, realiza-se a filtragem (ondeleta $db4$ e $J = 3$) e a estratificação de cada perfil de poço. A função de avaliação utilizada foi a F_A da eq. (5.25) com os perfis de raios gama (GR) e de indução (ILD). A correlação lateral de poço com os Algoritmos Genéticos, os perfis de raio gama e os de indução produziram resultados coerentes e convergentes aos mesmos agrupamentos de estratos, mostrados nas Figuras 6.19 e 6.20. Por outro lado, na Tabela 6.10 são mostrados os resultados dos índices de início, i_{si} , do vetor estratificado (S_i), k_i é o índice no perfil de raio gama, Z_i é a profundidade e n é o número de estratos correlacionados.

Tabela 6.10 – Resultados numéricos da correlação lateral de dois poços com Algoritmos Genéticos entre os poços NA13A e NA21A.

	NA13A			NA21A		
	i_{si}	k_i	z_i (m)	i_{si}	k_i	z_i
Agrupamento 1 n = 295 estratos	2	8	1585,6	383	6280	1550,1
Agrupamento 2 n = 307 estratos	375	4016	2196,4	772	10688	2231,2
Agrupamento 3 n = 310 estratos	684	6648	2597,6	1089	13168	2609,1

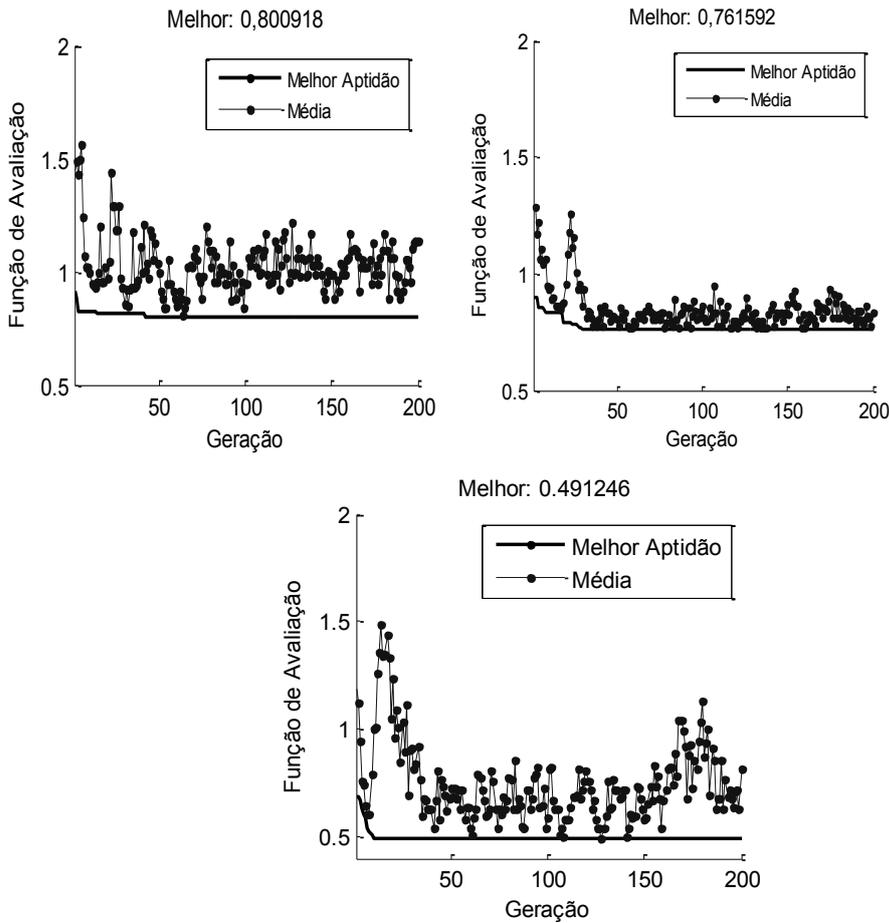


Figura 6.19 - Curvas de desempenho dos Algoritmos Genéticos para a correlação lateral dos perfis dos poços NA13A e NA21A. Da esquerda para a direita e de cima para baixo, as curvas dos melhores experimentos para os cinco agrupamentos.

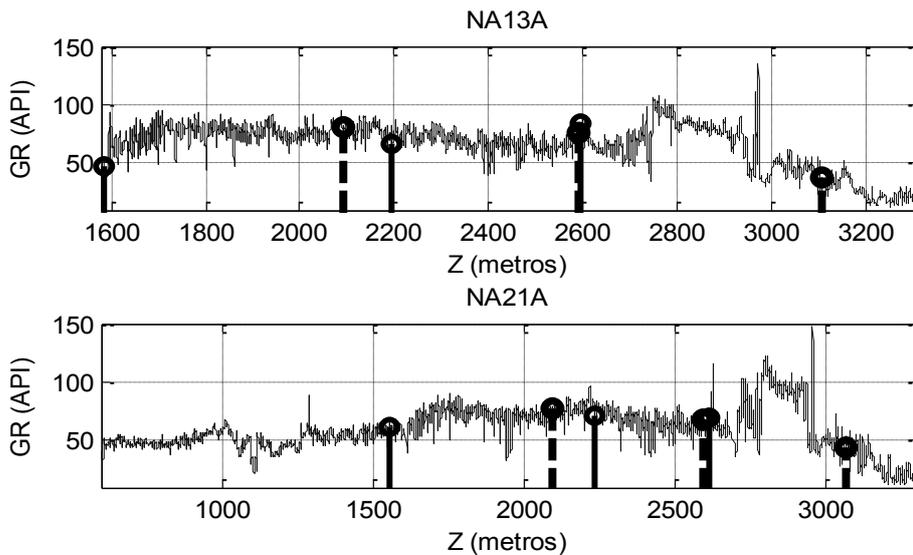


Figura 6.20 – Três agrupamentos de estratos semelhantes encontrados nas diferentes curvas estratificadas (S_i) dos perfis de raios gama dos poços NA13A e NA21A. Os agrupamentos começam com um traço contínuo e finalizam com um traço descontínuo.

A seguir, os deslocamentos em profundidade são estimados para alguns eventos sísmicos no pseudo-poço PS11 em relação aos dos poços. Para isso, utiliza-se a correlação lateral sísmica 3D com Algoritmos Genéticos. Os traços sísmicos utilizados são o traço número 41 próximo ao pseudo-poço PS11 (e do poço padrão NA11A), na linha 2745 (S41-NA11A); o traço 54 próximo ao poço NA13A, na linha 2718; e o traço 70 próximo ao poço NA21A, na linha 2735.

Dos trinta ($e_{max} = 30$) deslocamentos (ΔI), entre o traço sísmico 41 e os traços sísmicos 54 e 70, são mostrados apenas aqueles que caem em ambos os traços sísmicos sintéticos dos poços próximos. Na Tabela 6.11 são mostrados os índices e seus deslocamentos e na Figura 6.21 são mostradas as curvas de desempenho dos Algoritmos Genéticos para os melhores experimentos.

Tabela 6.11 – Índices dos eventos padrão do traço sísmico 41 (próximo de PS11) e os deslocamentos nos traços sísmicos 54 e 70. Esses são para os eventos que aparecem nos traços sísmicos sintéticos dos dois poços próximos.

Evento (e)	7	8	9	10	11	12
i_e (S41-NA11A)	325	353	389	456	523	552
Δi_e (S54-NA13A)	-9	5	22	-2	-5	0
Δi_e (S70-NA21A)	2	8	15	9	-38	-7

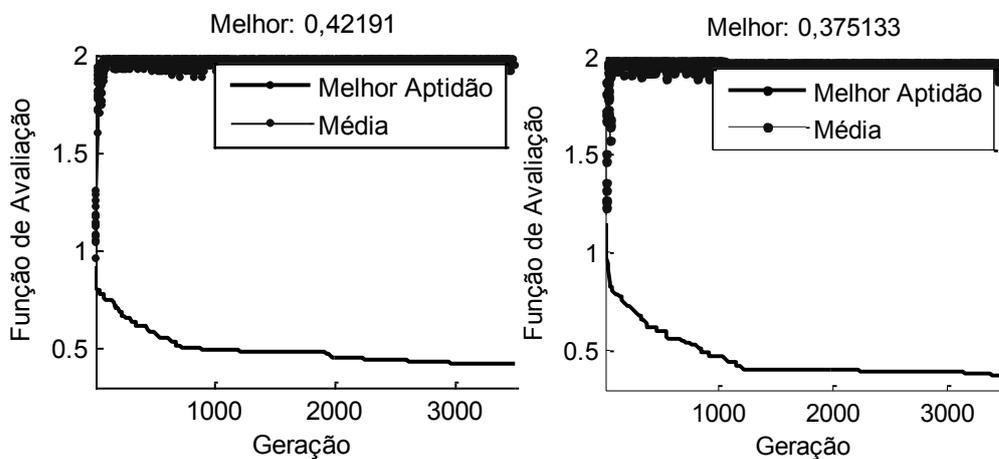


Figura 6.21 - Curvas de Desempenho do Algoritmo Genético para correlação lateral sísmica dos traços S54-NA13A e S70-NA21A com o traço S41-NA11A.

Na Tabela 6.12 são mostrados os índices i_c correspondentes ao início do traço sísmico sintético de poço sobre o traço sísmico 3D, os índices i_e dos primeiros eventos sobre os traços sísmicos sintéticos, os índices k_e dos eventos refletidos na escala de profundidade dos poços, a média dos deslocamentos dos três eventos ΔD_m e a profundidade aproximada Z_{e_f} da eq. (5.48). Nos cálculos

dos deslocamentos ΔD são utilizados apenas os sinais e uma unidade de Δi_e . Isso é devido a grandes erros produzidos, na estimativa de Z_{ef} , com os valores originais.

Tabela 6.12 – Índices e deslocamentos para estimar a profundidade Z_{ef} , do perfil previsto, a partir dos deslocamentos dos eventos nos traços sísmicos 54 e 70, em relação aos eventos do traço sísmico 41, próximo ao pseudo-poço PS11.

Traço Sísmico	i_c	$l_e(7)$	$k_e(7)$	ΔD (m)	ΔD_m (m)	Z_{ef} (m)
S54–NA13A	297	316	1035	-11,28	-2,44	1550,4
S70–NA21A	146	327	5034	10,06	3,23	

Para realizar a interpolação de Shepard, primeiro são calculados os coeficientes u , com as coordenadas UTM dos poços (ver Tabela B.2) e a eq. (5.3). O resultado é um vetor de coeficientes $u = \{0,1829; 0,8171\}$. Em seguida, os diferentes trechos, correlacionados e não correlacionados, são combinados em sequência utilizando a eq. (5.10), para formar o perfil previsto. Seu vetor de profundidade é estimado com início em Z_{ef} . Na Figura 6.22 são comparados o perfil previsto e o perfil padrão do poço NA11A.

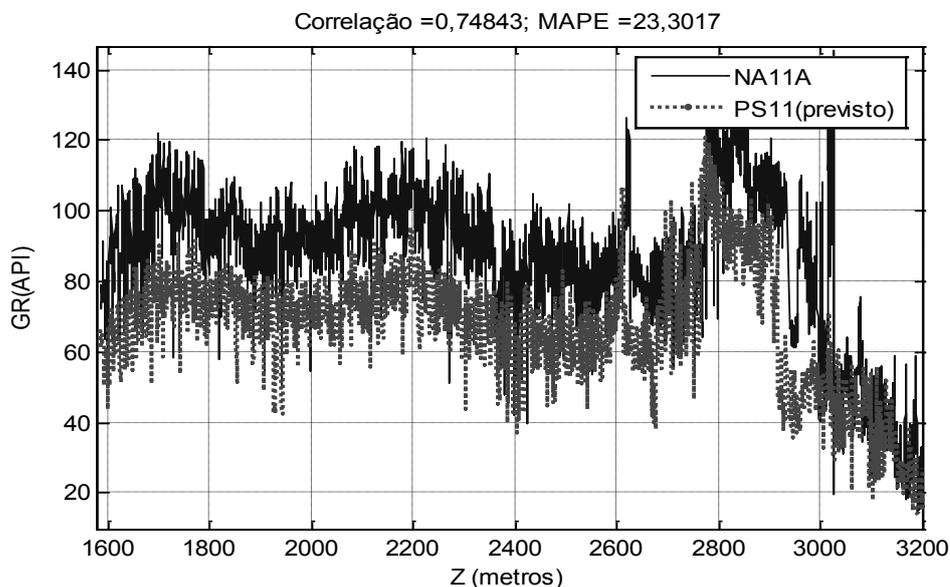


Figura 6.22 – Curvas do perfil do raio gama do poço NA11A e do perfil previsto com um arranjo de dois poços (NA13A e NA21A). O perfil previsto foi ajustado em profundidade com a informação sísmica. As métricas, acima, são para perfil completo com $u = \{0,1829; 0,8171\}$.

Na Figura 6.22, a curva do perfil previsto (PS11) apresenta um deslocamento no eixo vertical em relação ao perfil padrão (NA11A). Esse

deslocamento pode estar relacionado às alterações produzidas pela posição da ferramenta ou o tipo de lama no poço, como se observa na Figura 3.2 do Capítulo 3. Para calcular as métricas, os dados são classificados em duas categorias litológicas: arenito e folhelho. Na Figura 6.23 é possível observar os histogramas do perfil de raio gama padrão do poço NA11A e o perfil previsto do pseudo-poço PS11. Em ambos os histogramas aparecem duas modas principais, mas para o perfil previsto as duas modas representam distribuições com médias deslocadas e mais próximas do que as distribuições do perfil padrão.

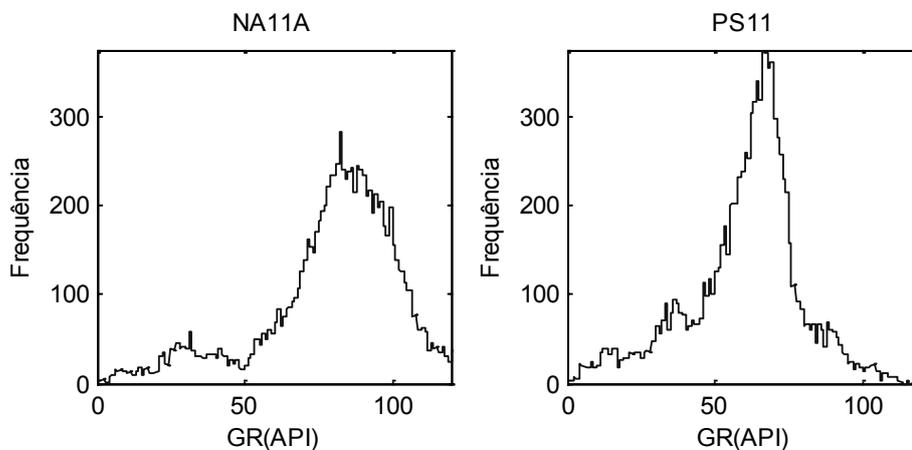


Figura 6.23 – Histogramas do perfil de raio gama padrão do poço NA11A e o perfil previsto com o arranjo de dois poços e $u = \{0,1829; 0,8171\}$.

A seguir, os outros perfis de poço são previstos. Na Tabela 6.13 são comparadas as médias (m) dos perfis padrões, os MAPE's e os coeficientes de correlação ($\rho_{r,y}$), para o arenito e o folhelho. Esses cálculos também são realizados para todas as amostras juntas. Os resultados obtidos nas Tabelas 6.10, 6.11 e 6.12, com base na informação estratigráfica dos perfis de raios gama, são utilizados para prever as medições dos outros perfis de poço. Para isso, os perfis de um mesmo tipo são interpolados com a eq. (5.10) para obter as medições do perfil de raio gama (GR), o sônico (DT), de indução (ILD) e densidade (RHOB) para o pseudo-poço PS11.

Os resultados totais apresentam correlação linear forte ($\rho_{r,y}$), entre as previsões e os padrões, para a maioria de perfis de poço, menos para o perfil de indução (ILD). Neste caso, esse perfil previsto apresenta correlação linear baixa e MAPE elevado. O MAPE total do perfil de raio gama é elevado, porque os valores do perfil previsto estão abaixo das medições do perfil padrão, como pode ser visto na Figura 6.22. Nesse caso, para o perfil sônico e de densidade, com

dados de tipo arenito, os valores do $\rho_{r,y}$ apresentam correlação linear moderada. Para os mesmos perfis, com dados de tipo folhelho, os coeficientes $\rho_{r,y}$ apresentam correlação linear forte.

Tabela 6.13 – Comparação de métricas dos perfis previstos para o pseudo-poço (PS11). As métricas são calculadas utilizando os perfis previstos e os perfis padrões do poço NA11A.

PS11/NA11A	Arenito			Folhelho			Total	
	Média	MAPE%	$\rho_{r,y}$	Média	MAPE%	$\rho_{r,y}$	MAPE%	$\rho_{r,y}$
GR (API)	34,38	20,01	0,6000	90,54	23,55	0,6056	23,30	0,7484
DT (us/ft)	71,46	9,67	0,4339	101,92	8,54	0,6002	8,62	0,7196
ILD(ohm-m)	4,76	68,73	0,1957	1,89	34,26	0,0386	36,70	0,1237
RHOB(g/cm ³)	2,53	2,19	0,3957	2,27	3,33	0,6062	3,25	0,7118

Nos resultados da Figura 6.22, observa-se outro problema na a previsão do perfil de raio gama: como saber se deve ser feita uma interpolação ou uma extrapolação? Neste caso, para o perfil previsto, deve ser realiza uma extrapolação, como pode ser visto na Figura 6.24. Porque a média do perfil desejado (NA11A) será alcançada quando as médias dos outros perfis (NA13A e NA21A) sejam combinadas com um tipo de coeficiente u , cuja soma seja maior do que um.

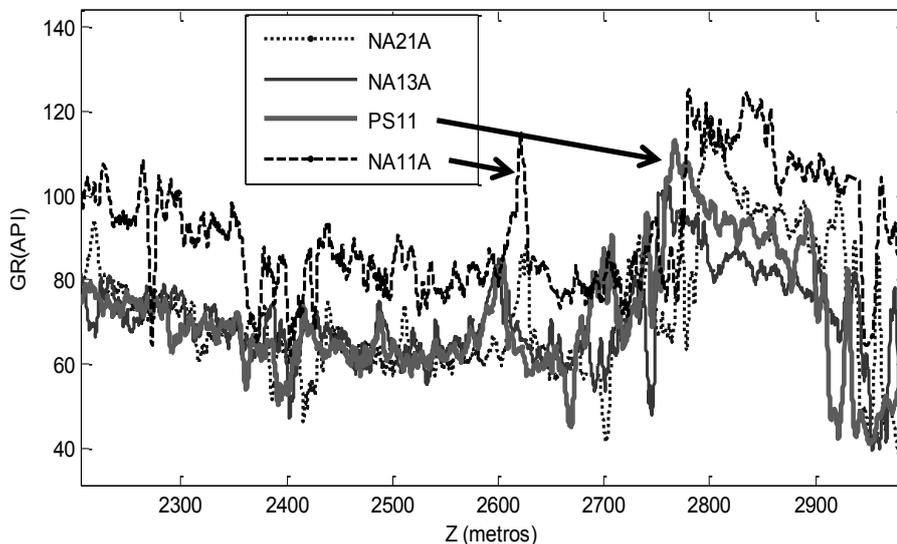


Figura 6.24 – Curvas das médias móveis dos perfis de raio gama dos poços NA11A, NA21A, NA13A e PS13.

6.2.4. Análise de Correlação para os Três Casos

Nesta seção é realizada uma análise de correlação entre os perfis de raio gama para o Caso A1, Caso A2 e Caso A3. Nesses casos, os coeficientes de correlação são utilizados de duas maneiras: na primeira para realizar a correlação lateral dos perfis de dois poços (ou seja, entre os dados) e na segunda para avaliar os perfis previstos em relação aos perfis padrões. O coeficiente de correlação indica o grau de relação linear entre dos perfis. Porém, com esse coeficiente não é possível determinar a relação de causalidade entre o perfil padrão (variável explicada) e os dois perfis de dados (variáveis explicativas). Para isso é melhor utilizar o coeficientes de correlação parcial $\rho_{r,y,z}$ definido pela eq. (4.28):

$$\rho_{r,y,z} = \frac{\rho_{r,y} - \rho_{r,z}\rho_{y,z}}{\sqrt{(1 - \rho_{r,z}^2)(1 - \rho_{y,z}^2)}}. \quad (4.28)$$

As correlações parciais serão realizadas entre trechos do perfil padrão e trechos dos perfis de raio gama do arranjo de dois poços. Esses trechos são os sinais que correspondem aos agrupamentos identificados como semelhantes na etapa de correlação lateral de poços.

Com os resultados da correlação lateral dos perfis para o Caso A1, mostrados na Tabela 6.2, são realizados os cálculos dos coeficientes de correlação. Na Tabela 6.14 são mostrados os coeficientes de correlação para os três perfis e os coeficientes de correlação parcial entre o perfil padrão e o primeiro perfil do arranjo, mas controlando o segundo perfil. Deve-se notar que os trechos dos perfis, do arranjo de dois poços, são reamostrados para ter tamanhos iguais aos trechos do perfil padrão. Os números das amostras correlacionadas são mostrados na Tabela 6.14.

Tabela 6.14 – Coeficientes de correlação $\rho_{r,y}$ e correlação parcial $\rho_{r,y,z}$ entre os perfis de raio gama dos poços NA11A, NA13A (dados) e NA21A (padrão para a previsão). Para os agrupamentos semelhantes encontrados na correlação lateral de poços.

	Correlações			Correlações Parciais	
	$\rho_{g21,g13}$	$\rho_{g21,g11}$	$\rho_{g11,g13}$	$\rho_{g21,g11_g13}$	$\rho_{g21,g13_g11}$
Agrupamento 1 Amostras = 3846	0,3749	0,2610	0,2322	0,3348	0,1930
Agrupamento 2 Amostras = 3221	0,5786	0,6326	0,4669	0,4135	0,5025

Observando os coeficientes de correlação parcial $\rho_{g21,g11_g13}$ da quinta coluna da Tabela 6.14, pode-se dizer que os dois agrupamentos do perfil de raio gama do poço padrão NA21A e do poço NA11A apresentam uma correlação parcial moderada ($0,3 < \rho_{g21,g11_g13} < 0,6$). Em outras palavras, o perfil de raio gama do poço NA11A contribui moderadamente na previsão do perfil do poço NA21A (padrão). Enquanto o coeficiente de correlação parcial da primeira fila e sexta coluna indica que o primeiro agrupamento do perfil de raio gama do poço NA13A não é uma variável explicativa do agrupamento correspondente do perfil de raio gama do poço NA21A (padrão) e, conseqüentemente, não contribui com a previsão ($\rho_{g21,g13_g11} < 0,3$).

Para o Caso A2, com os resultados da Tabela 6.6 são realizados os cálculos dos coeficientes de correlação. Na Tabela 6.15 são mostrados os coeficientes de correlação para os três perfis e, também, os coeficientes de correlação parcial entre o perfil padrão e o primeiro perfil do arranjo, mas controlando o segundo perfil.

Tabela 6.15 – Coeficientes de correlação $\rho_{r,y}$ e correlação parcial $\rho_{r,y,z}$ entre os perfis de raio gama dos poços NA11A, NA21A (dados) e NA13A (padrão para a previsão). Para os agrupamentos semelhantes encontrados na correlação lateral de poços.

	Correlações			Correlações Parciais	
	$\rho_{g13,g11}$	$\rho_{g13,g21}$	$\rho_{g11,g21}$	$\rho_{g13,g11_g21}$	$\rho_{g13,g21_g11}$
Agrupamento 1 Amostras = 2068	0,2605	0,3540	0,3468	0,1571	0,2911
Agrupamento 2 Amostras = 1636	0,0910	0,0308	0,2493	0,0860	0,0084
Agrupamento 3 Amostras = 2077	0,3379	0,2565	0,3960	0,2663	0,1419
Agrupamento 4 Amostras = 1966	0,6189	0,4126	0,5892	0,5105	0,0756
Agrupamento 5 Amostras = 2019	0,7953	0,8185	0,7962	0,4130	0,5052

Na Tabela 6.15, os coeficientes de correlação parcial $\rho_{g13,g11_g21}$ apresentam valores de correlação parcial moderada para os agrupamentos 4 e 5, os restantes apresentam valores de correlação parcial fraca. A correlação parcial entre os perfis dos poços NA13A e NA21A ($\rho_{g13,g21_g11} < 0,3$) e fraca para os quatro primeiros agrupamentos e moderada para o quinto agrupamento. Então os três primeiros agrupamentos do perfil de raio gama do poço NA11A e os quatro primeiros agrupamentos do perfil de raio gama do poço NA21A não

são variáveis explicativas do perfil de raio gama do poço NA13A (padrão) e, conseqüentemente, não contribuem na previsão.

Para o Caso A3, com os resultados da Tabela 6.10 são realizados os cálculos dos coeficientes de correlação. Na Tabela 6.16 são mostrados os coeficientes de correlação entre os três perfis de raio gama. Em seguida, os coeficientes de correlação parcial entre o perfil padrão e o primeiro perfil do arranjo, mas controlando o segundo perfil. Os coeficientes de correlação parcial $\rho_{g11,g13_g21}$ e $\rho_{g11,g21_g13}$ apresentam valores de correlação parcial moderada apenas para o terceiro agrupamento, os restantes apresentam valores de correlação fraca. Os valores baixos dos coeficientes de correlação parcial indicam que dois primeiros agrupamentos, dos perfis dos poços NA21A e NA13A, não contribuem na previsão dos trechos do perfil do poço NA11A.

Tabela 6.16 – Coeficientes de correlação $\rho_{r,y}$ e correlação parcial $\rho_{r,y,z}$ entre os perfis de raio gama dos poços NA13A, NA21A (dados) e NA11A (padrão para a previsão). Para os agrupamentos semelhantes encontrados na correlação lateral de poços.

	Correlações			Correlações Parciais	
	$\rho_{g11,g13}$	$\rho_{g11,g21}$	$\rho_{g13,g21}$	$\rho_{g11,g13_g21}$	$\rho_{g11,g21_g13}$
Agrupamento 1 Amostras = 3472	0,1981	0,1894	0,2372	0,1606	0,1495
Agrupamento 2 Amostras = 2421	0,2139	0,1662	0,3418	0,1695	0,1014
Agrupamento 3 Amostras = 2970	0,6464	0,6561	0,6824	0,3601	0,3854

Na Tabela 6.16, para o agrupamento 3, os coeficientes de correlação entre o perfil padrão do poço NA11A e os perfis dos poços NA13A e NA21A utilizados como dados, apresentam correlação forte ($\rho_{g11,g13} = 0,6464$ e $\rho_{g11,g21} = 0,6561$). Porém, os coeficientes de correlação parcial dos mesmos perfis apresentam valores de correlação parcial moderada ($\rho_{g11,g13_g21} = 0,3601$ e $\rho_{g11,g21_g13} = 0,3854$). Conseqüentemente, as contribuições dos terceiros agrupamentos dos perfis de raios gama dos poços NA13A e NA21A não são tão relevantes para a previsão do perfil do poço NA11A como poderia se supor. Esses valores baixos de correlação parcial explicam os erros MAPE elevados, mostrados na Tabela 6.13, e as características mostradas nos histogramas da Figura 6.23.

Finalmente, a partir do Caso A1 e Caso A2 são realizadas algumas observações. Assim, dos coeficientes de correlação parcial da Tabela 6.14 e da Tabela 6.15 é possível dizer que os agrupamentos iniciais dos perfis de raio gama dos poços NA11A e NA21A apresentam correlação parcial fraca e não são

explicativos mutuamente. Os maiores valores dos coeficientes de correlação, nos três casos, estão nos últimos agrupamentos e com trechos de maior variabilidade. Esses agrupamentos correspondem às regiões mais profundas do poço.

6.3. Arranjo de Três Poços

Da mesma maneira que os arranjos de dois poços, os arranjos de três poços são escolhidos a partir de um conjunto de quatro poços: três poços para os dados e um poço como padrão. Os casos escolhidos para esta seção são três: dois casos com o mesmo conjunto de quatro poços (NA11A, NA13A, NA17A e NA21A) e o terceiro com dados de outro conjunto (NA11A, NA17A, NA21A e NA22).

6.3.1. Caso B1

O arranjo de três poços, neste caso, é formado pelos poços NA11A, NA13A e NA17A (localizado no bloco Marginal e mostrado na Figura 6.3). Os perfis previstos fazem parte do pseudo-poço PS21, localizado na mesma posição do poço NA21A utilizado como referência e seus perfis como padrões.

A filtragem e a estratificação são realizadas para os poços NA11A, NA13A e NA17A. Em seguida são realizadas as correlações laterais dos três poços com a função de avaliação da eq. (5.26). Novamente, os perfis de raios gama (GR) e indução (ILD) produzem rápida convergência aos resultados numéricos mostrados na Tabela 6.17 e nas Figuras 6.25 e 6.26. Os perfis sônicos (DT) também produzem a convergência rápida, porém, às vezes, com resultados ligeiramente deslocados em profundidade. Isto reduz um pouco o coeficiente de correlação ($\rho_{r,y}$) dos resultados finais.

Tabela 6.17 – Resultados numéricos da correlação lateral de poços com Algoritmos Genéticos entre os poços NA11A, NA13A e NA17A.

	NA11A			NA13A			NA17A		
	i_{si}	k_i	z_i (m)	i_{si}	k_i	z_i (m)	i_{si}	k_i	z_i (m)
Agrupamento 1, $n = 310$ estratos	26	288	1629,8	21	264	1624,6	453	6854	1638,5
Agrupamento 2, $n = 400$ estratos	353	3786	2162,9	338	3659	2142,0	779	10416	2188,4
Agrupamento 3, $n = 330$ estratos	784	7724	2763,1	746	7398	2711,9	1224	14476	2807,1

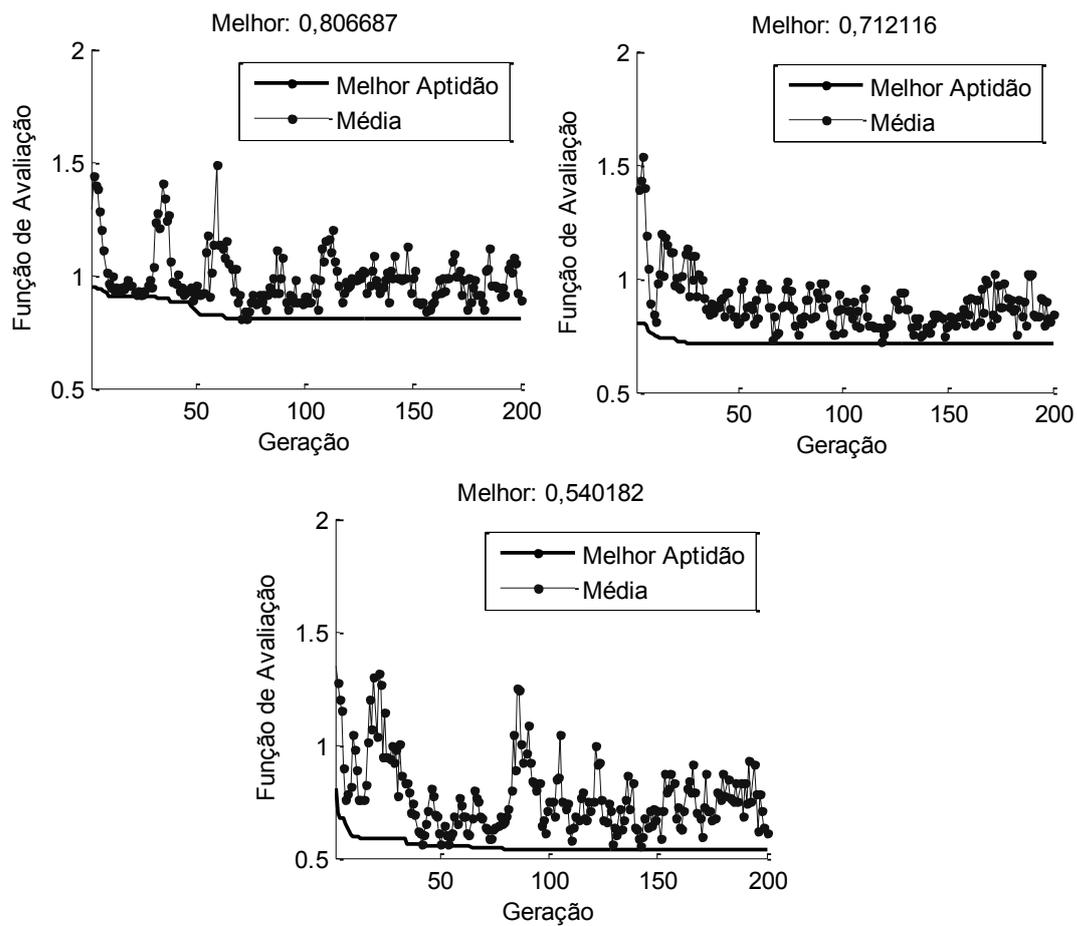


Figura 6.25 – Curvas de desempenho dos Algoritmos Genéticos para a correlação lateral dos perfis de poços NA11A, NA13A e NA17A. Da esquerda para a direita, curvas dos melhores experimentos para os três agrupamentos.

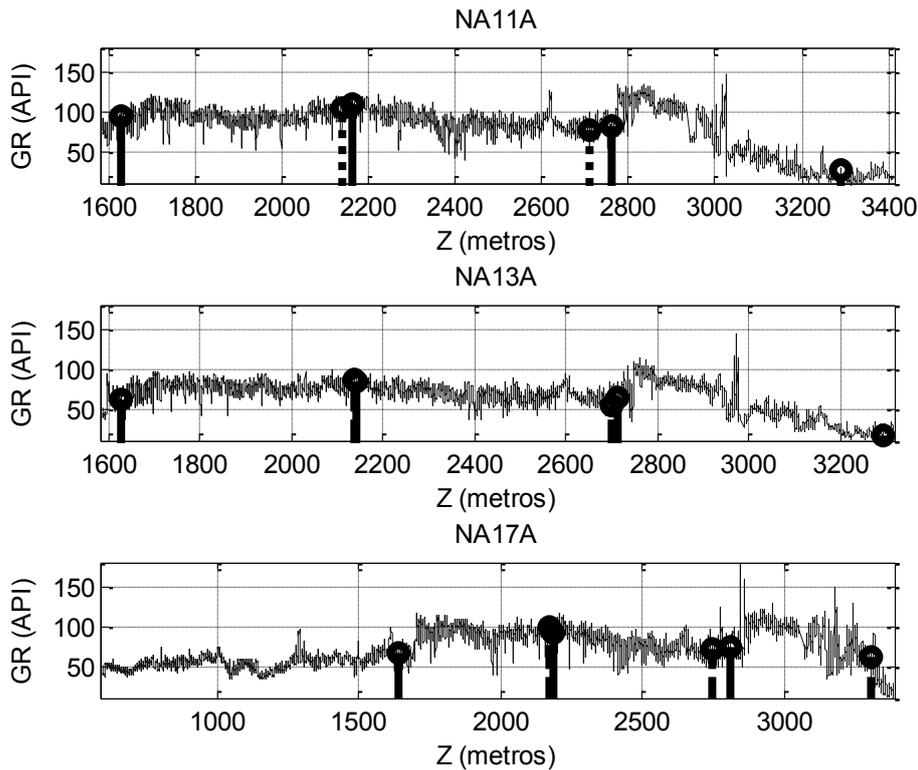


Figura 6.26 – Três agrupamentos de estratos semelhantes encontrados nas diferentes curvas estratificadas (S_i) dos perfis de raios gama dos poços NA11A, NA13A e NA17A. Os agrupamentos começam com um traço contínuo e finalizam com um traço descontínuo.

De forma semelhante ao estudo de caso A1, para interpolar os perfis dos três poços é calculado o vetor de coeficientes $u = \{0,6107; 0,2703; 0,1190\}$, através da eq. (5.3) e as coordenadas UTM. Em seguida, os diferentes trechos, correlacionados e não correlacionados dos três poços, são combinados em sequência utilizando a eq. (5.10) para formar o perfil previsto. Em seguida, a profundidade do início das medições previstas é estimada com a eq. (5.48).

Os índices de deslocamento dos eventos são estimados através da correlação lateral sísmica 3D com Algoritmos Genéticos. Isso entre o traço sísmico padrão, próximo ao pseudo-poço PS21 e cada um dos três traços sísmicos próximos aos poços do arranjo. As descrições dos traços próximos aos poços NA11A e NA13A já são conhecidas, menos do traço sísmico próximo ao poço NA17A, localizado na posição 79, da linha 2763 (suas coordenadas podem ser encontradas na Tabela B.3, no Anexo B).

Dos trinta deslocamentos (ΔI) encontrados nos traços sísmicos 41, 54 e 79, em relação aos eventos padrão do traço sísmico 70 (próximo ao pseudo-

poço PS21), são mostrados apenas aqueles que caem nos três traços sísmicos sintéticos de poço (ver Tabela 6.18). Na Figura 6.27 são mostradas as curvas de desempenho dos Algoritmos Genéticos da correlação lateral sísmica para os três traços.

Tabela 6.18 – Índices dos eventos padrão no traço sísmico 70 (próximo de PS21) e os deslocamentos nos traços sísmicos 41, 54 e 79, para os eventos que aparecem nos traços sísmicos sintéticos de poço.

Evento (e)	12	13	14	15	16
i_e (S70-NA21A)	396	407	428	462	559
Δi_e (S41-NA11A)	-7	0	-5	42	5
Δi_e (S54-NA13A)	-1	-1	22	14	-25
Δi_e (S79-NA17A)	-1	2	0	7	-14

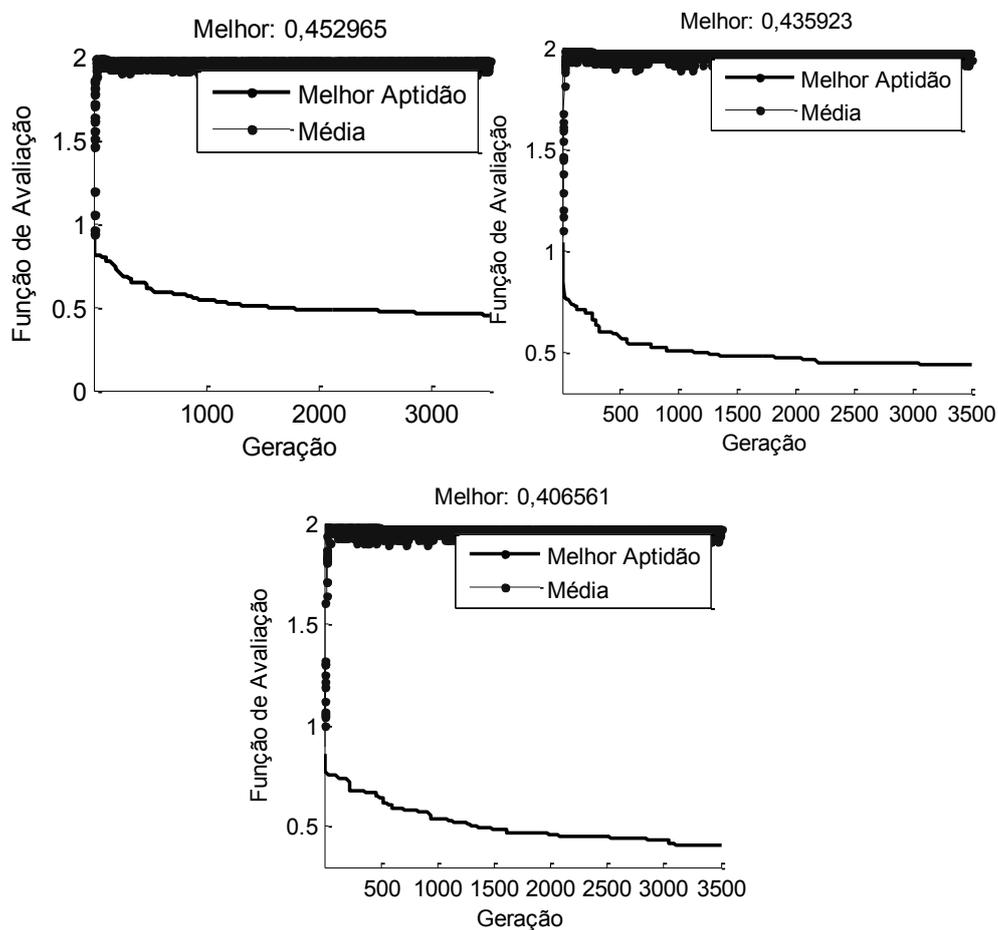


Figura 6.27 - Curvas de desempenho do Algoritmo Genético para correlação lateral sísmica dos traços S41-NA11A, S54-NA13A e S79-NA17A (respectivamente) com o traço S70-NA21A.

Na Tabela 6.19 são mostrados os resultados completos da correlação lateral sísmica, descritos como: os índices i_c correspondentes ao início do traço sísmico sintético de poço sobre o traço sísmico 3D, os índices l_e dos primeiros eventos sobre os traços sísmicos sintéticos, os índices k_e dos eventos refletidos nos perfis de profundidade dos poços, os deslocamentos ΔD calculados com a eq. (5.37), a média dos deslocamentos dos três eventos ΔD_m e a profundidade aproximada Z_{ef} da eq. (5.48). Os resultados gráficos da correlação sísmica podem ser observados na Figura 6.28.

Tabela 6.19 – Valores para estimar a profundidade Z_{ef} , do perfil previsto, a partir dos deslocamentos dos eventos nos traços sísmicos 41, 54 e 79, em relação aos eventos do traço sísmico 70, próximo ao pseudo-poço PS21 (e do padrão NA21A).

Traço Sísmico	i_c	$l_e(12)$	$k_e(12)$	ΔD (m)	ΔD_m (m)	Z_{ef} (m)
S41–NA11A	376	389	853	-16,31	-49,62	1603,7
S54–NA13A	337	395	2020	-49,68	-52,67	
S79–NA17A	214	395	4881	-63,86	-66,75	

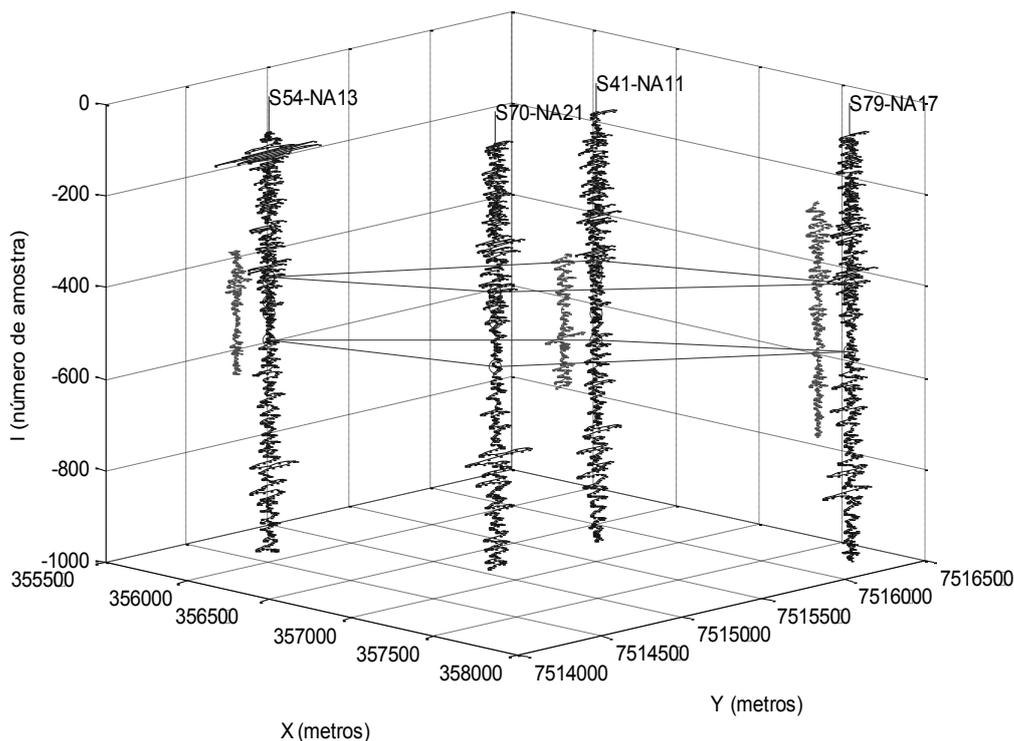


Figura 6.28 – Localização, no Campo de Namorado, dos três traços sísmicos correlacionados com o traço sísmico padrão S70-NA21A. Os traços sísmicos sintéticos aparecem ao lado dos reais e as retas unem os primeiros e os últimos eventos da Tabela 6.18. Sistema de coordenadas UTM, fuso 24 e zona K (hemisfério sul).

O pós-processamento dos perfis consiste em gerar o mesmo número de amostras para o perfil previsto e padrão, no mesmo intervalo de profundidade. Isto deve ser feito porque normalmente a profundidade de início ou o número de amostras do perfil padrão não coincidem com os do perfil previsto. Na Figura 6.29 é mostrado o resultado com o ajuste de profundidade.

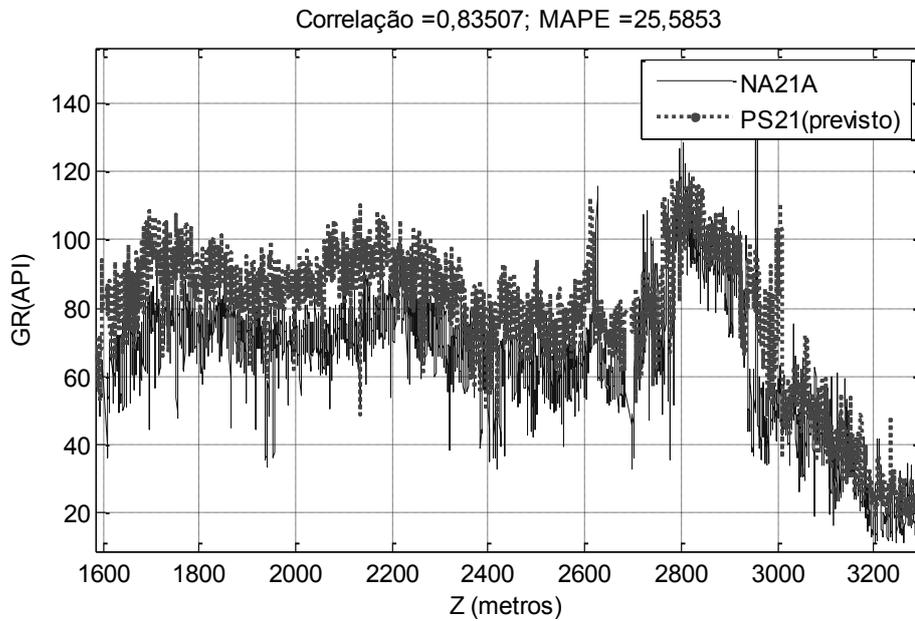


Figura 6.29 – Curvas do perfil do raio gama do poço NA21A e do perfil previsto com um arranjo de três poços (NA11A, NA13A e NA17A), e ajustado em profundidade. As métricas, mostradas no topo, são do perfil completo.

Para calcular as métricas, os dados são classificados em duas categorias litológicas: arenito e folhelho. Na Figura 6.30 é possível observar duas modas, ou distribuições, para o perfil padrão de raio gama NA21A. A distribuição de dados com a menor moda (e média) representa as rochas do tipo arenito, e aquela com a maior moda representa as rochas do tipo folhelho. Para o perfil previsto, essas distribuições não estão totalmente claras, mas já aparecem as duas distribuições semelhantes ao perfil padrão.

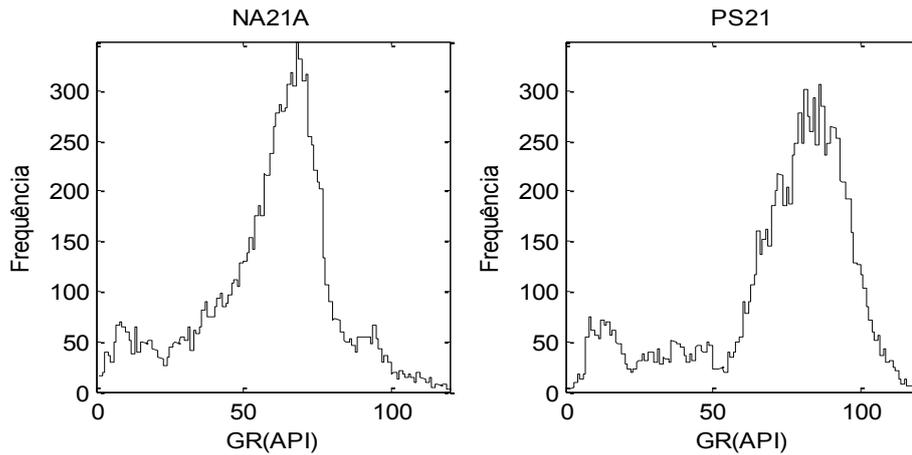


Figura 6.30 – Histogramas do perfil de raio gama padrão do poço NA21A e o perfil previsto para o pseudo-poço PS21, com $u = \{0,6107; 0,2703; 0,1190\}$.

Na Tabela 6.20 se comparam a média (m) do perfil padrão, o MAPE e o coeficiente de correlação ($\rho_{r,y}$), para o arenito, folhelho e para todas as amostras juntas. Vale a pena lembrar que todos os resultados obtidos nas Tabelas 6.14, 6.15 e 6.16, com base na informação estratigráfica dos perfis de raios gama, são utilizados para prever as medições dos outros perfis de poço. Para isso, os perfis do mesmo tipo dos três poços, são combinados com a eq. (5.10) para obter as medições previstas do perfil de raio gama (GR), o sônico (DT), de indução (ILD) e de densidade (RHOB) para o pseudo-poço PS21.

Tabela 6.20 – Comparação das métricas dos perfis previstos para o pseudo-poço (PS21) utilizando o arranjo de três poços NA11A, NA13A e NA17A; os perfis do poço NA21A são utilizados como padrões.

PS21/NA21A Perfil	Arenito			Folhelho			Total	
	Média	MAPE%	$\rho_{r,y}$	Média	MAPE%	$\rho_{r,y}$	MAPE%	$\rho_{r,y}$
GR (API)	25,92	42,56	0,6761	70,76	23,09	0,6385	25,59	0,8351
DT (us/ft)	66,92	11,78	0,7560	100,45	6,91	0,7106	7,53	0,8364
ILD (ohm-m)	4,42	40,22	0,4244	1,74	36,13	0,0917	36,65	0,2028
RHOB (g/cm ³)	2,56	2,42	0,7644	2,28	2,71	0,7111	2,67	0,8275

Novamente, os valores do $\rho_{r,y}$ indica correlação linear forte entre as medições previstas e as medições padrão, e um pouco maiores do que para o arranjo de dois poços do caso A1. O perfil de indução (ILD) apresenta correlação linear baixa e um MAPE elevado.

O MAPE, tanto do folhelho como do arenito, não variou significativamente em relação ao caso A1. Para o arenito os MAPE's dos perfis de indução e de raio gama são elevados e maiores do que para o folhelho, mas os valores do $\rho_{r,y}$ são maiores para o arenito do que para o folhelho.

6.3.2. Caso B2

O arranjo de três poços, neste caso, é formado pelos poços NA13A, NA17A e NA21A. Os perfis previstos fazem parte do pseudo-poço PS11, localizado na mesma posição do poço NA11A utilizado como referência e seus perfis como padrões.

A filtragem e a estratificação são realizadas para os poços NA13A, NA17A e NA21A. Em seguida, são realizadas as correlações laterais dos três poços com a função de avaliação da eq. (5.26) e os perfis de raios gama (GR) e indução (ILD). Os resultados numéricos são mostrados na Figura 6.31 e 6.32 e na Tabela 6.21. Os perfis sônicos (DT) também produzem a convergência rápida, porém, às vezes, com resultados ligeiramente deslocados em profundidade.

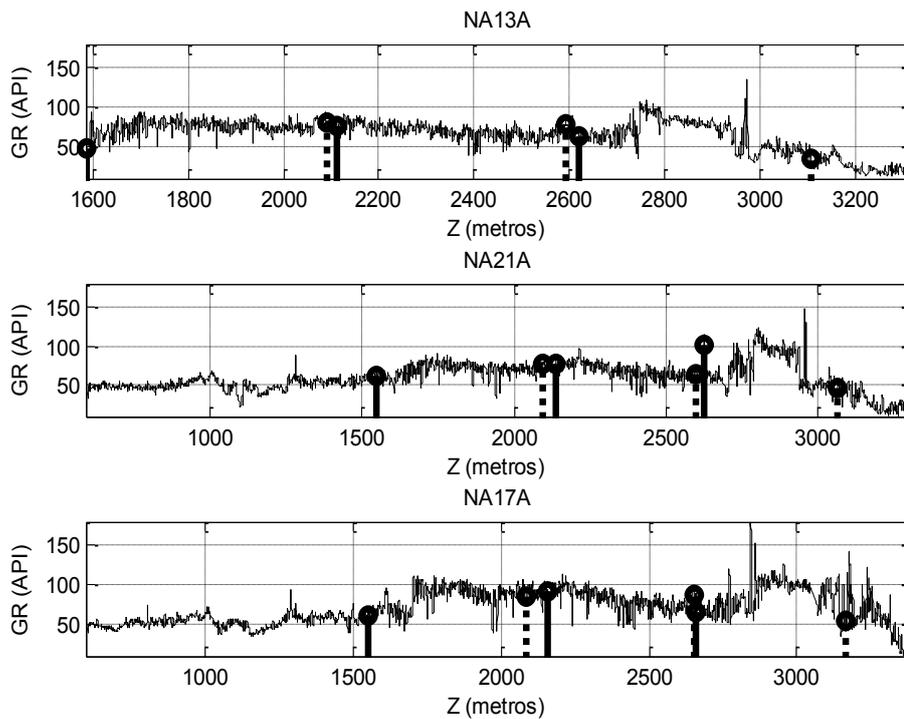


Figura 6.31 – Três agrupamentos de estratos semelhantes encontrados nas diferentes curvas estratificadas (S_i) dos perfis de raios gama dos poços NA13A, NA21A e NA17A. Os agrupamentos começam com um traço contínuo e finalizam com um traço descontínuo.

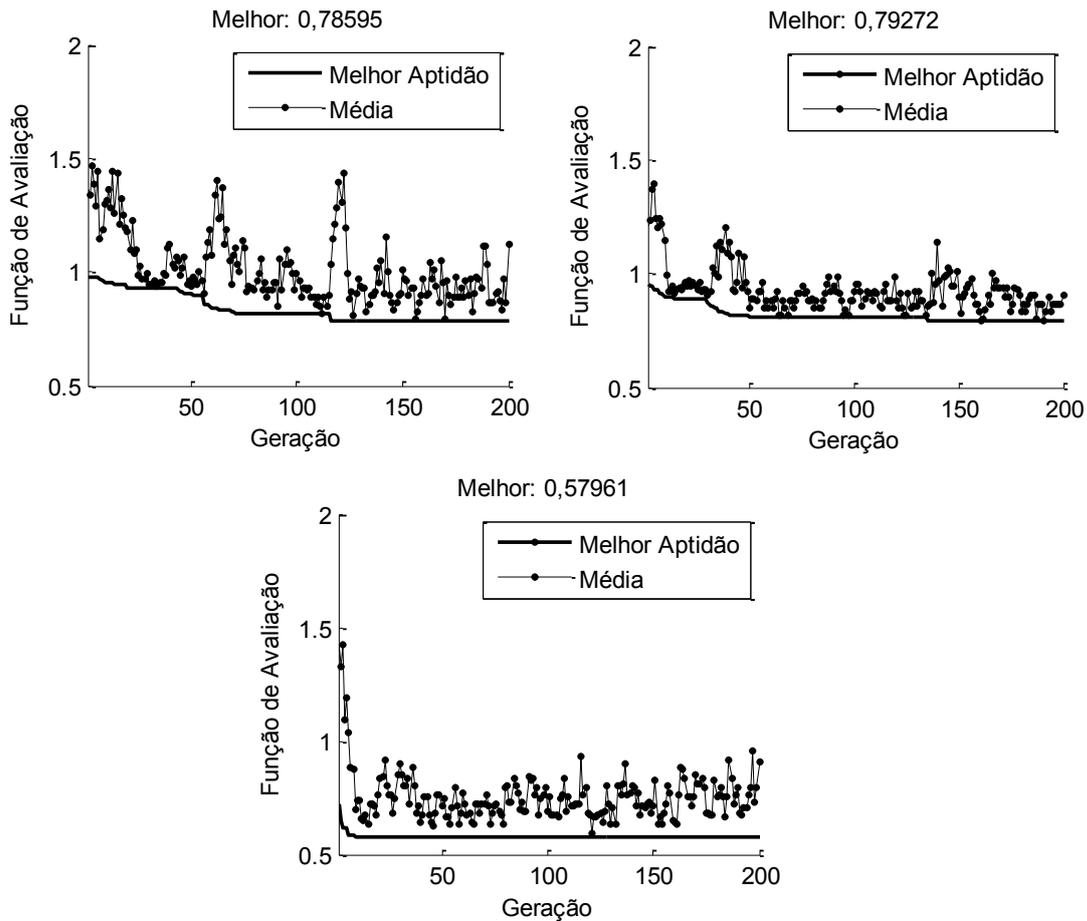


Figura 6.32 – Curvas de desempenho dos Algoritmos Genéticos para a correlação lateral dos perfis dos poços NA13A, NA21A e NA17A. Da esquerda para a direita, as curvas dos melhores experimentos para os três agrupamentos.

Tabela 6.21 – Resultados numéricos da correlação lateral de poços com Algoritmos Genéticos entre os poços NA13A, NA21A e NA17A.

	NA13A			NA21A			NA17A		
	i_{si}	k_i	z_i (m)	i_{si}	k_i	z_i (m)	i_{si}	k_i	z_i (m)
Agrupamento 1 $n = 295$	2	8	1585,6	383	6280	1550,1	410	6288	1552,2
Agrupamento 2 $n = 371$	312	3452	2110,5	709	10073	2137,5	757	10219	2158,3
Agrupamento 3 $n = 301$	694	6800	2620,7	1097	13278	2625,9	1136	13520	2661,4

Para interpolar os perfis dos três poços é calculado o vetor de coeficientes $u = \{0,14289; 0,63849; 0,21862\}$, através da eq. (5.3) e as coordenadas UTM. Em seguida, os diferentes trechos, correlacionados e não correlacionados dos três poços, são combinados em sequência utilizando a eq. (5.10) para formar o perfil previsto. Em seguida, a profundidade do início das medições previstas é estimada com a eq. (5.48). Para isso, os índices de deslocamento dos eventos

são estimados através da correlação lateral sísmica 3D com Algoritmos Genéticos entre o traço sísmico padrão, próximo ao pseudo-poço PS11, e cada um dos três traços sísmicos próximos aos poços do arranjo. As descrições dos traços próximos aos poços NA13A, NA21A e NA17A são mostradas na Tabela B.3, no Anexo B.

Dos trinta deslocamentos (ΔI) encontrados nos traços sísmicos 54, 70 e 79, em relação aos eventos padrão do traço sísmico 41 (próximo ao pseudo-poço PS11), são mostrados apenas aqueles que caem nos três traços sísmicos sintéticos de poço (ver Tabela 6.22). Na Figura 6.33 são mostradas as curvas de desempenho dos Algoritmos Genéticos da correlação lateral sísmica para os três traços.

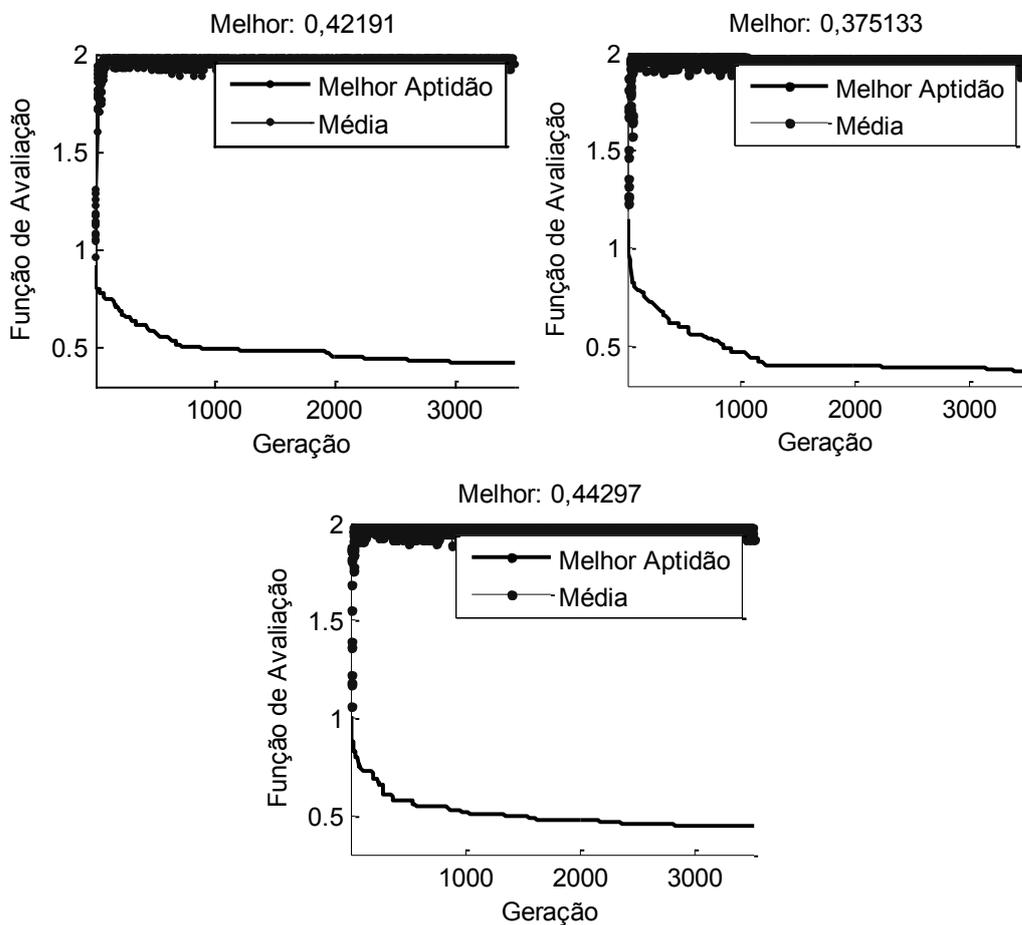


Figura 6.33 - Curvas de desempenho do Algoritmo Genético para correlação lateral sísmica dos traços S54-NA13A, S70-NA21A e S79-NA17A com o traço S41-NA11A.

Tabela 6.22 – Índices dos eventos padrão no traço sísmico 41 (próximo de PS11) e os deslocamentos nos traços sísmicos 54, 70 e 79 para os eventos que aparecem nos traços sísmicos sintéticos de poço.

Evento (<i>e</i>)	8	9	10	11	12	13	14
i_e (S41-NA11A)	353	389	456	523	552	572	594
Δi_e (S54-NA13A)	5	22	-2	-5	0	11	-3
Δi_e (S70-NA21A)	8	15	9	-38	-7	-9	0
Δi_e (S79-NA17A)	3	8	10	-32	-4	2	-4

Na Tabela 6.23 são mostrados os resultados completos da correlação lateral sísmica, descritos como: os índices i_c correspondentes ao início do traço sísmico sintético sobre o traço sísmico 3D, os índices l_e dos primeiros eventos sobre os traços sísmicos sintéticos, os índices k_e dos eventos refletidos nos perfis de profundidade dos poços, os deslocamentos ΔD calculados com a eq. (5.37), a média dos deslocamentos dos eventos comuns ΔD_m e a profundidade aproximada Z_{ef} da eq. (5.48).

Tabela 6.23 – Valores para estimar a profundidade Z_{ef} , do perfil previsto, a partir dos deslocamentos dos eventos nos traços sísmicos 54, 70 e 79, em relação aos eventos do traço sísmico 41, próximo ao pseudo-poço PS11 (e do padrão NA11A).

Traço Sísmico	i_c	$l_e(8)$	$k_e(8)$	ΔD (m)	ΔD_m (m)	Z_{ef} (m)
S54-NA13A	337	358	660	11,73	-0,67	1542,7
S70-NA21A	146	361	5983	12,04	-0,52	
S79-NA17A	213	356	3783	8,99	1,63	

O pós-processamento dos perfis consiste em gerar o mesmo número de amostras para o perfil previsto e padrão, no mesmo intervalo de profundidade. Isso, pelos motivos mencionados no caso A3 e para o cálculo das métricas. Na Figura 6.34 é mostrado o resultado com o ajuste de profundidade.

Para calcular as métricas, os dados são classificados em duas categorias litológicas: arenito e folhelho. Na Figura 6.35 é possível observar duas modas, ou distribuições, para o perfil padrão de raio gama NA11A. A distribuição de dados com a menor moda (e média) representa as rochas do tipo arenito, e aquela com a maior moda representa as rochas do tipo folhelho. Para o perfil previsto, a distribuição para o tipo folhelho está deslocada para a esquerda e, conseqüentemente, com uma média menor.

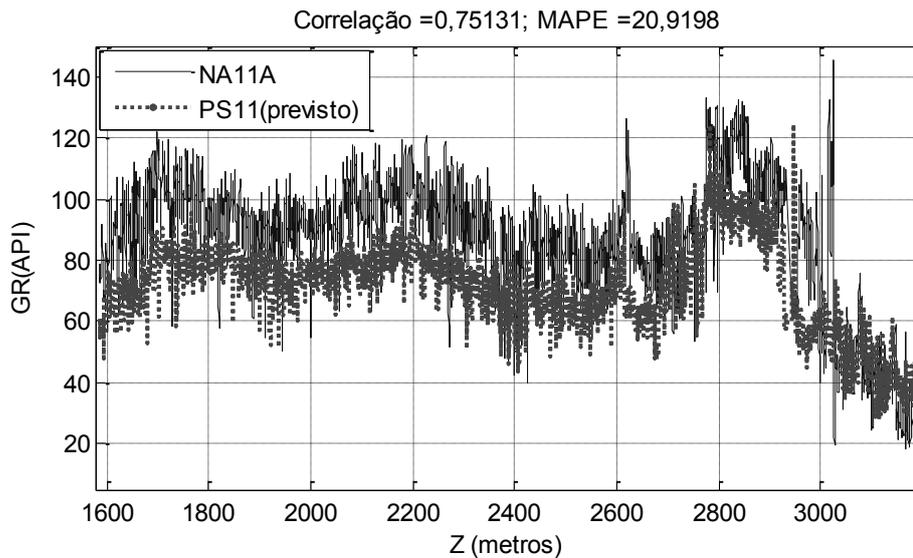


Figura 6.34 – Curvas do perfil do raio gama do poço NA11A e do perfil previsto com um arranjo de três poços (NA13A, NA21A e NA17A), e ajustado em profundidade. As métricas, mostradas no topo, são do perfil completo.

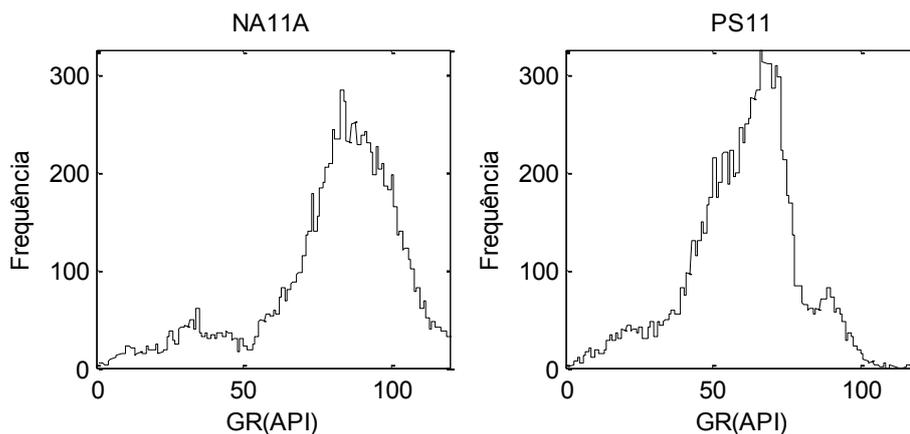


Figura 6.35 – Histogramas do perfil de raio gama padrão do poço NA11A e do perfil previsto para o pseudo-poço PS11, com $u = \{0,14289; 0,63849; 0,21862\}$.

Na Tabela 6.24 são comparadas a média (m) do perfil padrão, o MAPE e o coeficiente de correlação ($\rho_{r,y}$), para o arenito, folhelho e para todas as amostras juntas. Vale a pena lembrar que todos os resultados obtidos nas Tabelas 6.18, 6.19 e 6.20, com base na informação estratigráfica dos perfis de raios gama, são utilizados para prever as medições dos outros perfis de poço. Para isso, os perfis do mesmo tipo dos três poços, são combinados com a eq. (5.10) para obter as medições previstas do perfil de raio gama (GR), o sônico (DT), de indução (ILD) e de densidade (RHOB) para o pseudo-poço PS11.

Tabela 6.24 – Comparação das métricas dos perfis previstos para o pseudo-poço (PS11). Os perfis do poço NA11A são utilizados como padrões.

PS11/NA11A	Arenito			Folhelho			Total	
	Média	MAPE%	$\rho_{r,y}$	Média	MAPE%	$\rho_{r,y}$	MAPE%	$\rho_{r,y}$
GR (API)	36,23	31,64	0,5020	91,12	19,95	0,6162	20,92	0,7513
DT (us/ft)	72,76	8,19	0,4305	102,21	7,96	0,5936	7,98	0,7232
ILD (ohm-m)	4,49	89,71	0,0276	1,88	25,71	0,0264	31,00	0,1269
RHOB (g/cm ³)	2,52	1,92	0,4049	2,27	3,20	0,5971	3,10	0,7134

Novamente, os valores de $\rho_{r,y}$, para o total de amostras, indica correlação linear forte entre as medições previstas e as medições padrão, e ligeiramente maiores do que para o arranjo de dois poços do caso A3. Os valores de MAPE totais diminuíram em até 5%. Os coeficientes de correlação para o perfil de indução (ILD) continuam muito baixos e um MAPE elevado. Neste caso, os valores do $\rho_{r,y}$ para o arenito e folhelho diminuíram abaixo de 0,6 para o perfil de raio gama, sônico e de densidade. Isto indica que apresetam correlação linear moderada.

6.3.3. Análise de Correlação para o Caso B2

No Caso A3, a previsão do perfil de raio gama do poço PS11 é realizada com dois perfis de poço (NA13A e NA21A). No Caso B2 é incluído o perfil de raio gama do poço NA17A para realizar a previsão do mesmo perfil PS11. Essa inclusão incrementa um pouco os coeficientes de correlação e reduz os erros (MAPE). Porém, esses valores não representam uma melhoria importante. Esse é um motivo para realizar a análise de correlação entre o perfil padrão (NA11A) e os outros três perfis (dos poços NA13, NA17A e NA21A).

Com os resultados da correlação lateral dos três perfis para o Caso B2, mostrados na Tabela 6.21, são realizados os cálculos dos coeficientes de correlação. Para esses cálculos os perfis se agrupam em três conjuntos de três perfis: o primeiro conjunto com os perfis dos poços NA13, NA21A e NA11A, o segundo conjunto com os perfis dos poços NA13, NA17A e NA11A, o terceiro conjunto com os perfis dos poços NA17A, NA21A e NA11A.

Para o primeiro conjunto de perfis de raio gama, na Tabela 6.25 são mostrados os coeficientes de correlação para os três perfis e os coeficientes de correlação parcial entre o perfil padrão e o primeiro perfil do arranjo, mas controlando o segundo perfil. Os valores dos coeficientes da Tabela 6.25 apresentam tendências parecidas aos valores mostrados na Tabela 6.16. Essas tabelas não são iguais porque as duas correlações laterais dos perfis de poço

(para arranjos de dois e três poços) encontram números de estratos um pouco diferentes, mas na mesma região.

Tabela 6.25 – Coeficientes de correlação $\rho_{r,y}$ e correlação parcial $\rho_{r,y,z}$ entre os perfis de raio gama dos poços NA13A, NA21A (dados) e NA11A (padrão para a previsão). Para os agrupamentos semelhantes encontrados na correlação lateral de poços.

	Correlações			Correlações Parciais	
	$\rho_{g11,g13}$	$\rho_{g11,g21}$	$\rho_{g13,g21}$	$\rho_{g11,g13_g21}$	$\rho_{g11,g21_g13}$
Agrupamento 1 Amostras = 3468	0,1875	0,1765	0,2370	0,1523	0,1384
Agrupamento 2 Amostras = 3087	0,3391	0,3261	0,4377	0,2310	0,2101
Agrupamento 3 Amostras = 2923	0,7296	0,6568	0,6317	0,5384	0,3695

Na Tabela 6.26 são mostrados os coeficientes de correlação e os coeficientes de correlação parcial para o segundo conjunto de perfis de raio gama (dos poços NA13A, NA17A e NA11A).

Tabela 6.26 – Coeficientes de correlação $\rho_{r,y}$ e correlação parcial $\rho_{r,y,z}$ entre os perfis de raio gama dos poços NA13A, NA17A (dados) e NA11A (padrão para a previsão). Para os agrupamentos semelhantes encontrados na correlação lateral de poços.

	Correlações			Correlações Parciais	
	$\rho_{g11,g13}$	$\rho_{g11,g17}$	$\rho_{g13,g17}$	$\rho_{g11,g13_g17}$	$\rho_{g11,g17_g13}$
Agrupamento 1 Amostras = 3468	0,1875	0,0193	0,2510	0,1887	-0,0292
Agrupamento 2 Amostras = 3087	0,3391	0,4411	0,4273	0,1856	0,3482
Agrupamento 3 Amostras = 2923	0,7296	0,1588	0,0708	0,7295	0,1572

Na Tabela 6.26, o coeficiente de correlação parcial $\rho_{g11,g13_g17}$ do agrupamento 3, dos perfis de raio gama dos poços NA13A e NA11A apresenta correlação parcial forte ($\rho_{g11,g13_g17} = 0,7295$) e fraca para os dois primeiros agrupamentos. Os perfis de raio gama dos poços NA17A e NA11A apresentam uma correlação parcial fraca para o primeiro e último agrupamento ($\rho_{g11,g17_g13} = -0,0292$; $\rho_{g11,g17_g13} = 0,1572$). O segundo agrupamento apresenta correlação parcial moderada ($0,3 < \rho_{g11,g17_g13} < 0,6$). Assim, apenas o segundo agrupamento do perfil de raio gama do poço NA17A apresentam causalidade moderada com o perfil de raio gama do poço NA11A (padrão).

Na Tabela 6.27 são mostrados os coeficientes de correlação e os coeficientes de correlação parcial para o terceiro conjunto de perfis de raio gama (dos poços NA17A, NA21A e NA11A). Os perfis de raio gama dos poços NA17A e NA11A apresentam uma correlação parcial fraca para o primeiro e último agrupamento. O segundo agrupamento apresenta correlação parcial moderada ($0,3 < \rho_{g11,g17_g21} < 0,6$). Os perfis de raio gama dos poços NA21A e NA11A apresentam uma correlação parcial forte para o último agrupamento ($0,6 < \rho_{g11,g21_g17}$) e fraca para os dois primeiros agrupamentos.

Tabela 6.27 – Coeficientes de correlação $\rho_{r,y}$ e correlação de parcial $\rho_{r,y,z}$ entre os perfis de raio gama dos poços NA17A, NA21A (dados) e NA11A (padrão para a previsão). Para os agrupamentos semelhantes encontrados na correlação lateral de poços.

	Correlações			Correlações Parciais	
	$\rho_{g11,g17}$	$\rho_{g11,g21}$	$\rho_{g17,g21}$	$\rho_{g11,g17_g21}$	$\rho_{g11,g21_g17}$
Agrupamento 1 Amostras = 3468	0,0193	0,1765	0,3249	-0,0409	0,1801
Agrupamento 2 Amostras = 3087	0,4411	0,3261	0,4501	0,3486	0,1592
Agrupamento 3 Amostras = 2923	0,1588	0,6568	0,2623	-0,0185	0,6456

As correlações parciais, entre os perfis de raio gama dos poços NA17A e NA11A, são fracas ou moderadas. Essas características indicam que os agrupamentos do perfil de raio gama do poço NA17A apresentam causalidade apenas moderada com o perfil do poço NA11A. Consequentemente, o perfil do poço NA17A contribue pouco na previsão do perfil de raio gama do poço NA11A. Em geral, todos os perfis de raio gama contribuem na previsão com algum agrupamento. Porém, existem alguns agrupamentos em que todos os perfis de raio gama são não causais com o perfil padrão. Nesse caso, dados de outro tipo devem ser incluídos para realizar a previsão.

6.3.4. Caso C

Para este caso escolheu-se outra localização para o pseudo-poço, o bloco Marginal da Figura 6.3, onde está o poço padrão NA22. O conjunto de dados é formado por perfis de três poços: NA11A, NA17A, NA21A. A distribuição e suas distâncias podem ser vistas na Figura 6.36. Este estudo de caso é um tanto desafiador porque foi difícil correlacionar os traços sísmicos 3D com os

sintéticos, e isto afetou o ajuste de profundidade. Além disso, para o poço padrão NA21A não estão disponíveis os perfis sônicos nem de densidade.

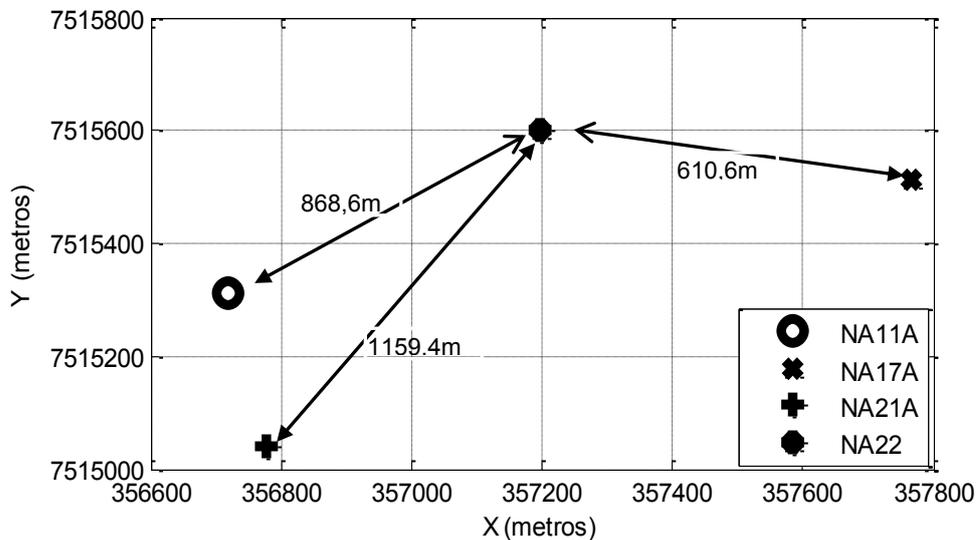


Figura 6.36 – Distribuição dos arranjos de três poços NA11A, NA17A, NA21A e o poço padrão NA22, do Campo de Namorado. Sistema de coordenadas UTM, fuso 24 e zona K (hemisfério sul).

Os mesmos procedimentos dos casos anteriores são realizados para o arranjo de três poços. Assim, os resultados da correlação lateral são mostrados na Tabela 6.28 e nas Figuras 6.37 e 6.38. Os perfis utilizados para a correlação lateral são o perfil de raios gama (GR) e de indução (ILD).

Tabela 6.28 – Resultados numéricos da correlação lateral de três poços com Algoritmos Genéticos entre os poços NA11A, NA17A e NA21A.

	NA11A			NA17A			NA21A		
	i_{Si}	k_i	z_i (m)	i_{Si}	k_i	z_i (m)	i_{Si}	k_i	z_i (m)
Agrupamento 1 $n = 168$	2	20	1589,0	426	6496	1583,9	392	6424	1572,1
Agrupamento 2 $n = 176$	207	2336	1941,9	632	9084	1985,4	595	8938	1964,5
Agrupamento 3 $n = 267$	394	4226	2230,0	816	10784	2244,4	773	10704	2233,6
Agrupamento 4 $n = 193$	676	6506	2577,4	1114	13340	2634,0	1058	12894	2567,4
Agrupamento 5 $n = 207$	879	8608	2897,8	1319	15552	2971,1	1254	14684	2853,7

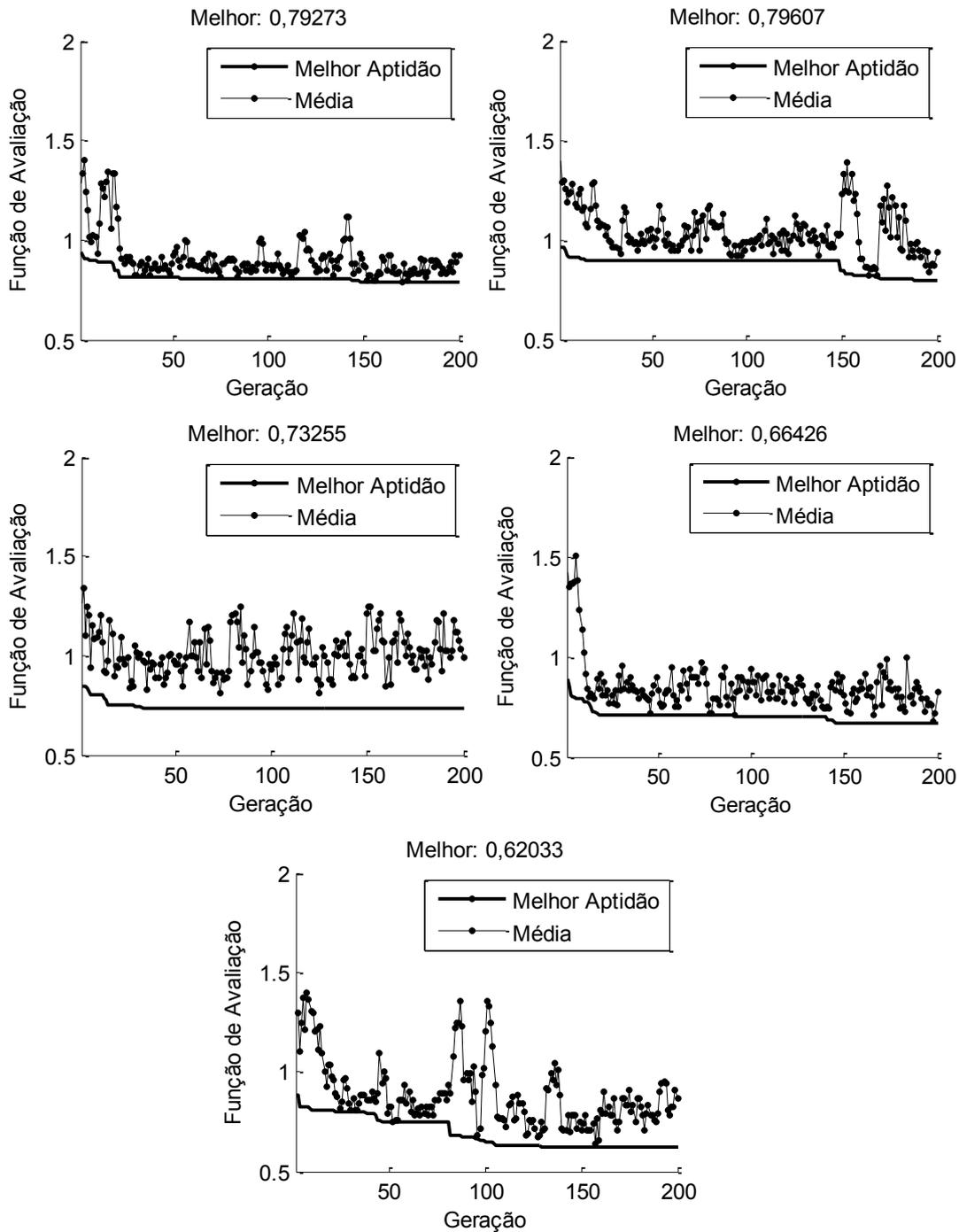


Figura 6.37 – Curvas de desempenho dos Algoritmos Genéticos para a correlação lateral dos poços NA11A, NA17A e NA21A. Da esquerda para a direita, curvas dos melhores experimentos para o primeiro e do segundo agrupamento.

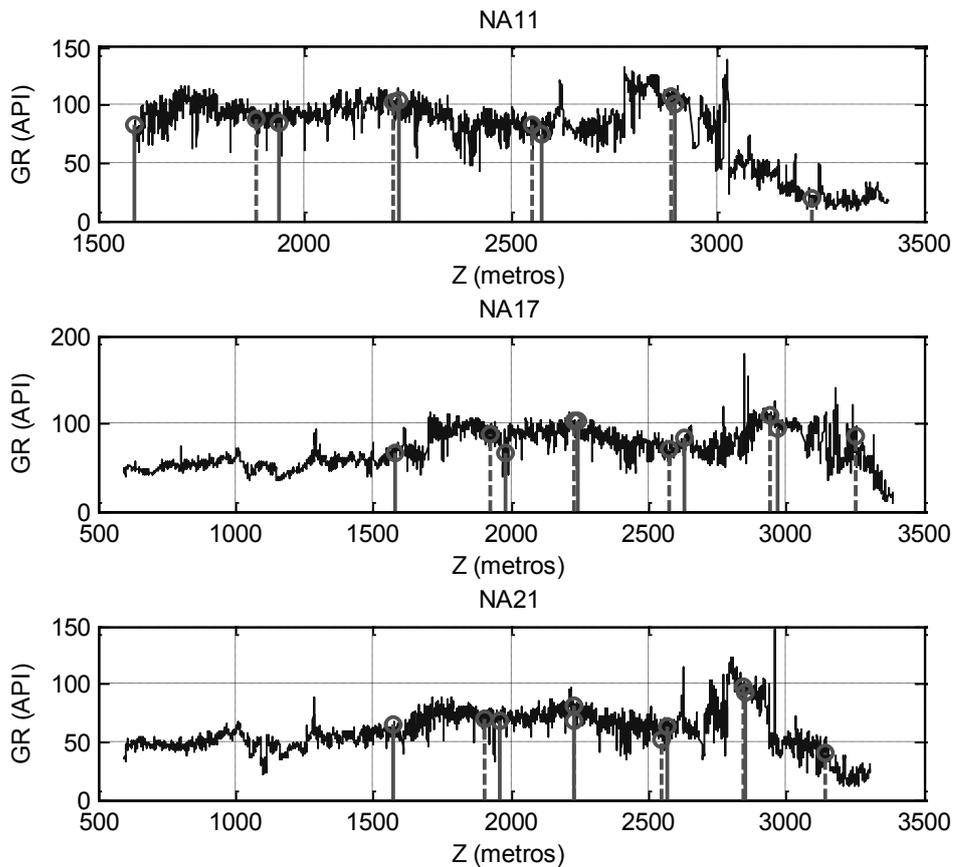


Figura 6.38 – Cinco agrupamentos de estratos semelhantes encontrados nas diferentes curvas estratificadas (S_i) dos perfis de raios gama dos poços NA11A, NA17A e NA21A. Os agrupamentos começam com um traço contínuo e finalizam com um traço descontinuo.

O número de agrupamentos é de cinco porque a distância mínima entre poços, da eq. (5.28), é menor (o ângulo máximo é fixo). Por esse motivo o algoritmo de correlação produz intervalos de exploração menores, até chegar ao final. Dessa forma haverá maior quantidade de agrupamentos.

Para combinar linearmente os perfis dos três poços é calculado o vetor de coeficientes $u = \{0,2966; 0,5989; 0,1045\}$. Depois, os diferentes trechos de sinal, dos agrupamentos, são combinados em sequência utilizando a eq. (5.10), para formar o perfil previsto.

A eq. (5.12) é utilizada também para estimar a profundidade dos perfis do pseudo-poço PS22. Inicia-se realizando a correlação lateral sísmica 3D com Algoritmos Genéticos entre o traço sísmico padrão, próximo ao pseudo-poço PS22 (57 linha 2761) e cada um dos três traços sísmicos próximos aos poços do arranjo.

Dos trinta deslocamentos (ΔI) encontrados nos traços sísmicos 41, 79 e 70, em relação aos eventos padrão do traço sísmico 57 (próximo ao pseudo-poço PS22), são mostrados apenas aqueles que caem nos três traços sísmicos sintéticos de poço (ver Tabela 6.29). Na Figura 6.39 são mostradas as curvas de desempenho dos Algoritmos Genéticos da correlação lateral sísmica para os três traços.

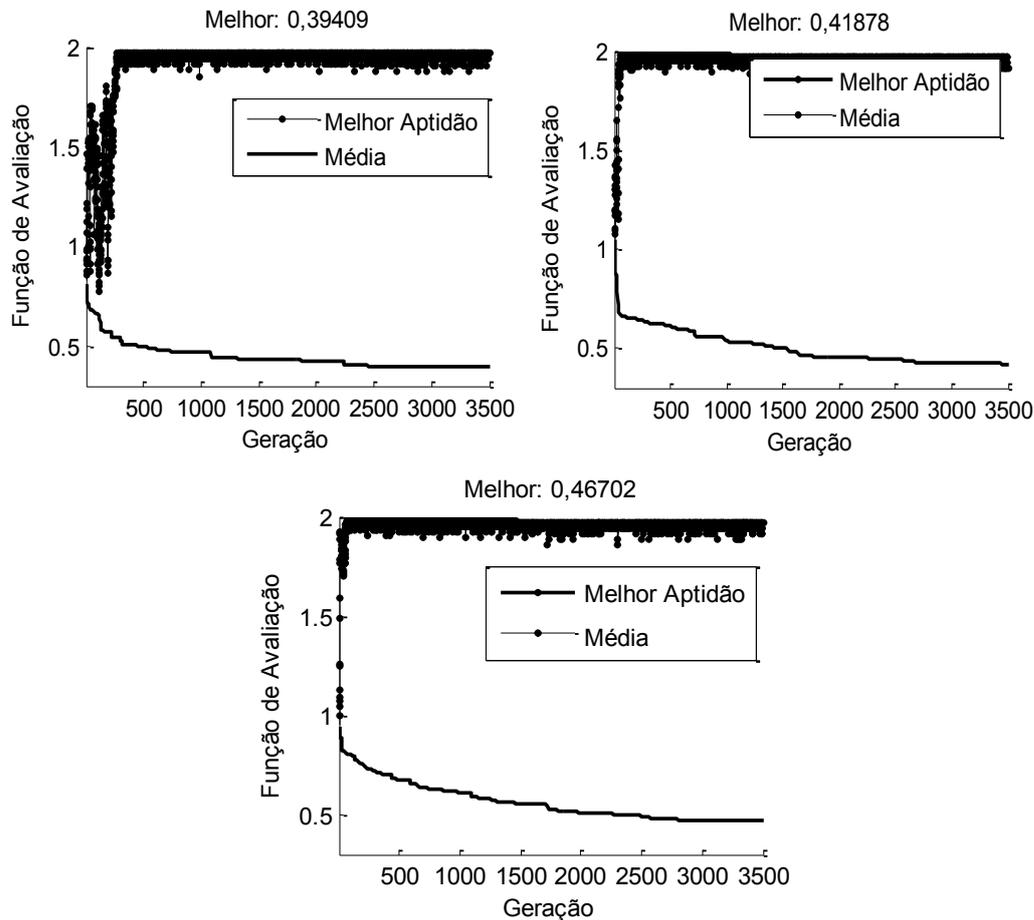


Figura 6.39 - Curvas de desempenho do Algoritmo Genético para correlação lateral sísmica dos traços S41-NA11A, S79-NA17A e S70-NA21A com o traço S57-NA22.

Tabela 6.29 – Índices dos eventos padrão no traço sísmico 57 (próximo de PS22) e os deslocamentos nos traços sísmicos 41, 79 e 70, para os eventos que aparecem nos traços sísmicos sintéticos de poço.

Evento (e)	15	16
i_e (S57-NA22)	388	454
Δi_e (S41-NA11A)	1	11
Δi_e (S79-NA17A)	12	33
Δi_e (S70-NA21A)	10	28

Como pode ser observado na Tabela 6.29, apenas dois eventos com deslocamentos positivos são comuns aos traços sísmicos sintéticos, o que indica um afundamento dos estratos nessas direções. Durante o processamento, o evento quatorze foi eliminado porque sua projeção em profundidade, para traço sísmico 70, caía antes do início de perfil de profundidade.

Na Tabela 6.30 são mostrados os valores estimados dos índices ic correspondentes ao início do traço sísmico sintético de poço sobre o traço sísmico 3D, os índices l_e dos primeiros eventos sobre os traços sísmicos sintéticos, os índices k_e dos eventos refletidos nos perfis de profundidade dos poços, os deslocamentos ΔD calculados com a eq. (5.37), os deslocamentos médios ΔD_m e a profundidade aproximada Z_{ef} , calculada apenas com a estimativa de profundidade do traço sísmico 41. Os valores ΔD dos outros dois traços sísmicos produzem um erro de quase 100 m na estimação de Z_{ef} . As medições previstas são comparadas com as medições de raio gama do poço NA22, mostradas na Figura 6.40.

Tabela 6.30 – Valores para estimar a profundidade Z_{ef} , do perfil previsto, a partir dos deslocamentos dos eventos nos traços sísmicos 41, 79 e 70, em relação aos eventos do traço sísmico 57, próximo ao pseudo-poço PS22 (e do padrão NA22).

Traço Sísmico	ic	$l_e(15)$	$k_e(15)$	ΔD (m)	ΔD_m (m)	Z_{ef} (m)
S41-NA11A	376	389	486	12,34	65,45	1573,7
S79-NA17A	214	400	5222	122,99	243,61	
S70-NA21A	146	398	7471	109,73	210,46	

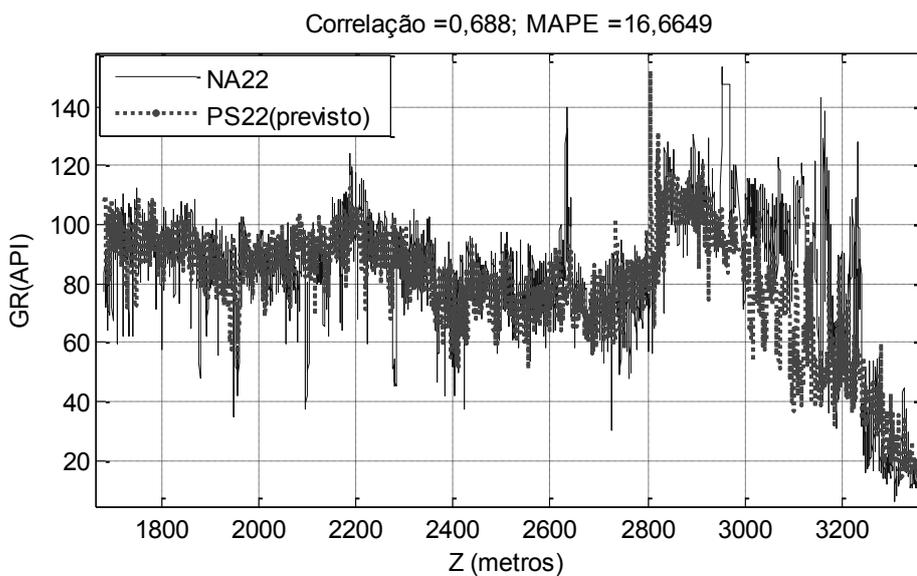


Figura 6.40 – Curvas do perfil do raio gama do poço NA22 e do perfil previsto com um arranjo de três poços (NA11A, NA17A e NA21A).

O pós-processamento é realizado para o perfil padrão e o previsto. Para calcular as métricas, os dados são classificados em duas categorias litológicas: arenito e folhelho.

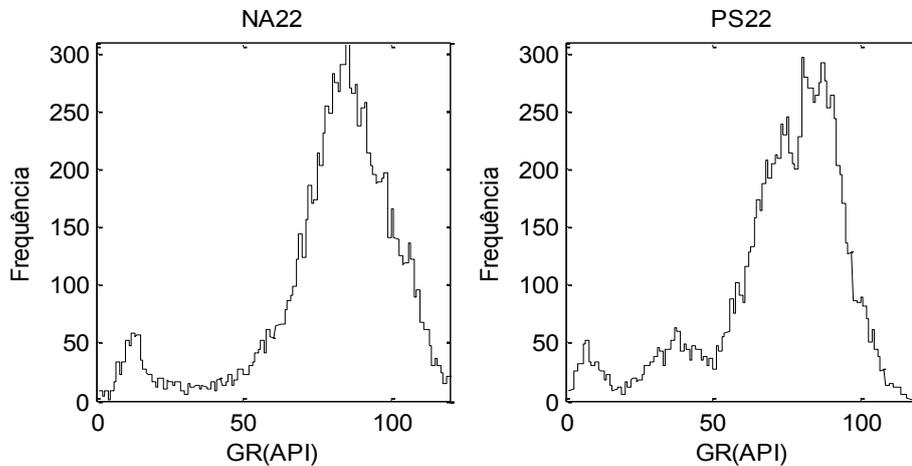


Figura 6.41 – Histogramas do perfil de raio gama padrão do poço NA22 e o perfil previsto do pseudo-poço PS22, com $u = \{0,2966; 0,5989; 0,1045\}$.

No histograma do perfil padrão de raio gama para o poço NA22, da Figura 6.41, aparecem duas distribuições bem definidas. A distribuição de dados com a menor moda (e média) representa as rochas do tipo arenito, e aquela com a maior moda representa as rochas do tipo folhelho. Para o perfil previsto do pseudo-poço PS22 aparecem três modas, uma mais das desejadas.

Na Tabela 6.31 são comparadas a média (m) do perfil padrão, o MAPE e o coeficiente de correlação ($\rho_{r,y}$), para o arenito, o folhelho e para todas as amostras juntas. Neste caso, não é possível fazer a comparação para todos os perfis, apenas para perfis disponíveis: de raio gama (GR) e indução (ILD).

Tabela 6.31 – Comparação de métricas dos perfis previstos para o pseudo-poço (PS22) utilizando o arranjo de três poços NA11A, NA17A e NA21A; os perfis do poço NA22 são utilizados como padrões.

PS22/NA22	Arenito			Folhelho			Total	
	Média	MAPE%	$\rho_{r,y}$	Média	MAPE%	$\rho_{r,y}$	MAPE%	$\rho_{r,y}$
GR (API)	23,08	51,43	0,6321	88,02	13,83	0,3743	16,66	0,6880
ILD (ohm-m)	7,95	262,91	-0,3851	1,68	35,50	0,2400	52,62	0,1106

Embora o perfil de indução (ILD) contribua com informação, para realizar uma boa correlação lateral de poço, a previsão deste perfil apresenta correlação linear baixa com seu padrão. A previsão do perfil de raio gama (GR) apresenta correlação linear forte para o arenito. Mas para o folhelho apenas correlação

linear moderada. A previsão do perfil de indução (ILD) não apresenta correlação linear para o arenito, Além disso, o MAPE é muito elevado, mesmo com as correções das medições de resistividade altas. Pelo contrário, para o folhelho o MAPE é muito menor.

6.4. Caso Especial

Nesta seção é estudado um caso especial, concentrado apenas na correlação lateral de poços.

6.4.1. Caso D

Os resultados da parte de correlação lateral de poço com Algoritmos Genéticos são comparados com os resultados obtidos por um geólogo. Para isto foi escolhida a seção formada pelos poços RJS19, NA01A, NA03D e NA03 estuda por De Lima (2004) e localizadas no Bloco Principal do Campo de Namorado (ver Figuras 6.3 e 6.42). A falta de fácies reservatório nos poços NA03D e NA03, (ver Figura B.2), representa um desafio e um teste de acerto para a correlação lateral proposta.

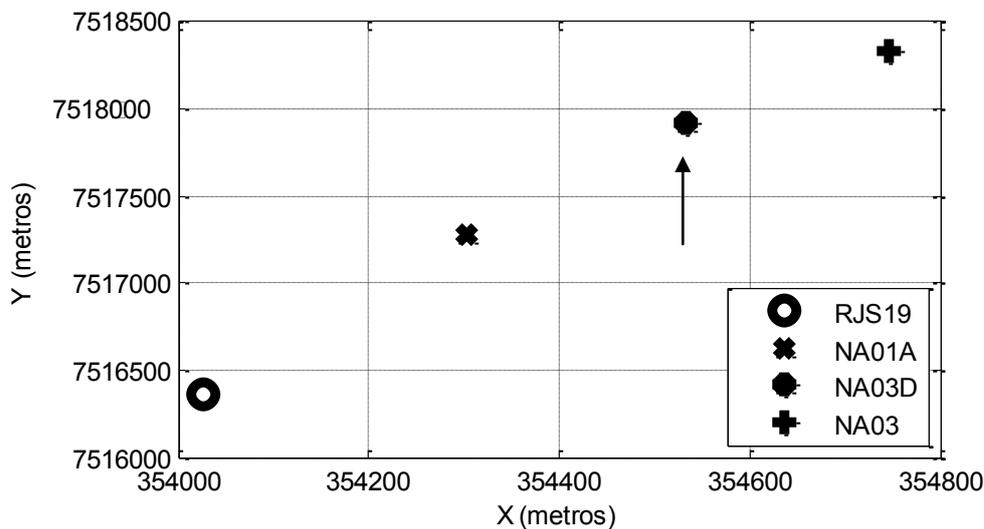


Figura 6.42 – Distribuição dos quatro poços (RJS19, NA01A, NA03D e NA03), no Campo de Namorado para o teste de correlação lateral de poços. Sistema de coordenadas UTM, fuso 24 e zona K (hemisfério sul).

Para o teste foram escolhidos os perfis de raios gama dos poços RJS19, NA01A, NA03D. Em seguida, foi realizada a filtragem, com a ondeleta *db4* e nível $J = 3$, e a estratificação para cada. Finalmente, foi realizada a correlação lateral de poços com Algoritmos Genéticos e a função de avaliação da eq. (5.25), sem o terceiro termo, somente com os perfis de raios gama e espessuras dos estratos.

Os resultados da Figura 6.43 e na Tabela 6.32, indicam um deslocamento do agrupamento identificado no poço NA01A em relação à identificação feita por De Lima (2004). A seta, na Figura 6.43 indica onde deveria começar o agrupamento. Aparentemente, o traço do perfil de raio gama do poço, NA01A, apresenta muitas variações em comparação aos outros dois perfis de raios gama. Para resolver o problema aplica-se a filtragem apenas no perfil do poço NA01A.

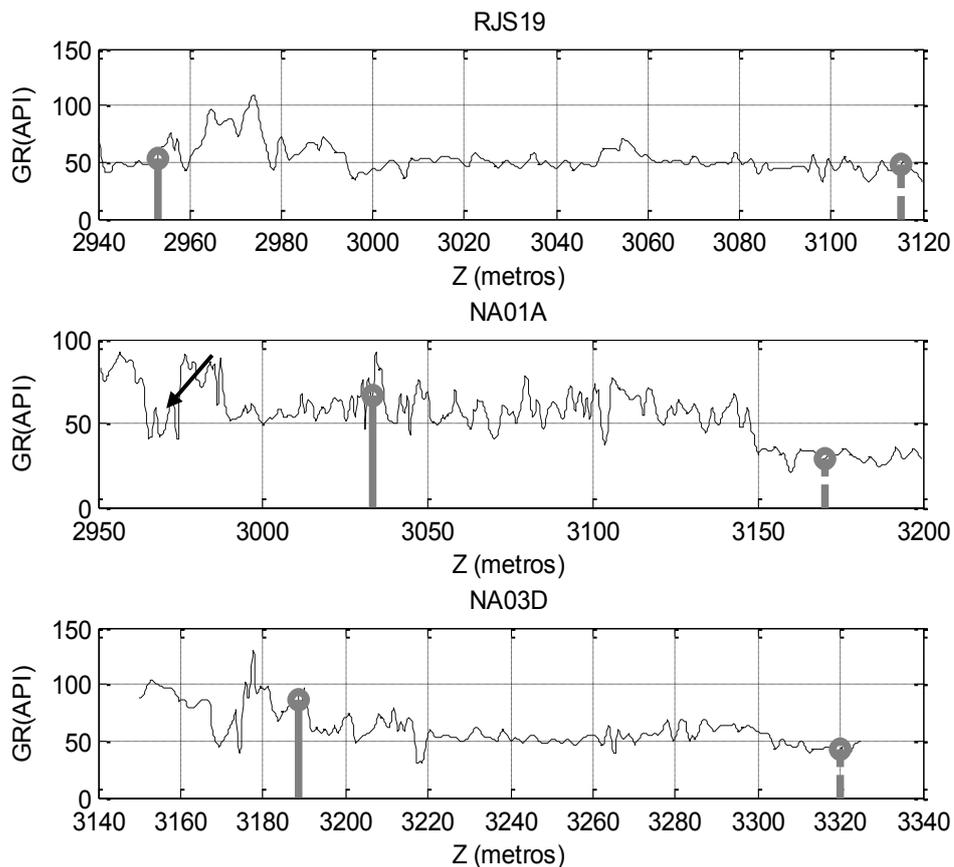


Figura 6.43 – Resultados da correlação lateral de poços com Algoritmos Genéticos sobre perfis de raios gama dos poços RJS19, NA01A e NA03D. O agrupamento começa com um traço contínuo e termina com um descontínuo.

Depois da estratificação, novamente é realizada a correlação lateral dos três poços. Os resultados são mostrados na Figura 6.44 e na Tabela 6.32, com a denominação de filtragem parcial.

Tabela 6.32 – Resultados numéricos da correlação lateral de poço com Algoritmos Genéticos entre os poços RJS19, NA01A e NA03D.

	RJS19			NA01A			NA03D		
	i_{si}	k_i	z_i (m)	i_{si}	k_i	z_i (m)	i_{si}	k_i	z_i (m)
Agrupamento 1, $n = 73$ Com filtragem	7	58	2951,4	57	180	2985,8	23	110	3171,8
Agrupamento 1, $n = 121$ Filtragem parcial	7	58	2951,4	2	8	2951,4	16	68	3163,4

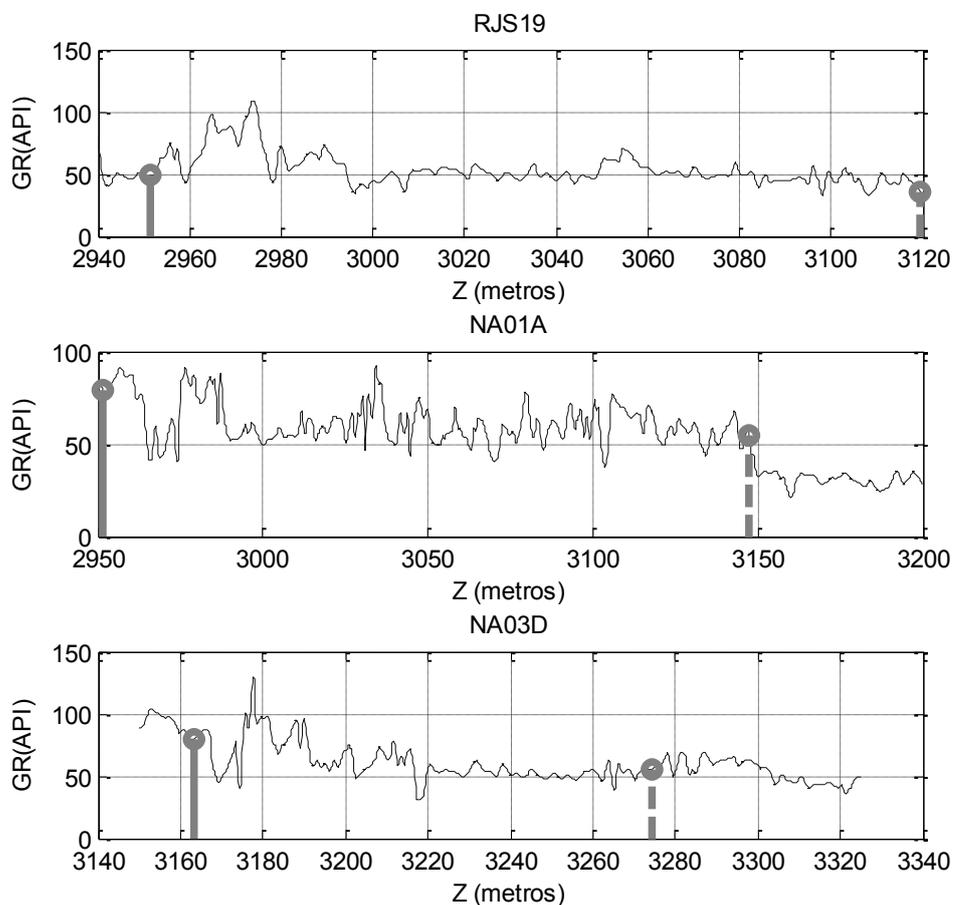


Figura 6.44 – Resultados da correlação lateral de três poços com Algoritmos Genéticos e perfis de raios gama. Neste caso, a filtragem é realizada apenas no poço NA01A. O agrupamento começa com um traço contínuo e termina com um descontínuo.

Os resultados indicam uma mudança na posição dos agrupamentos e, se comparados com os obtidos por De Lima (2004), é possível observar que todos

os agrupamentos iniciam um pouco antes dos limites superiores do reservatório, estabelecidos por De Lima (2004), e terminam exatamente nos limites inferiores.

Este caso mostra que a filtragem pode contribuir para uma acertada ou errada identificação de estratos e trechos dos sinais dos perfis de poço. Para obter maior precisão o filtro deve ser ajustado para não atenuar muito picos. Isso porque podem representar a existência de estratos finos. Para isso, será melhor trabalhar sobre os perfis originais obtidos pelo instrumento e sem filtragem.

Por outro lado, quando é realizada a correlação lateral dos poços NA01A, NA03D e NA03, o Algoritmo Genético encontra agrupamentos semelhantes nos três poços. Isso está errado porque o poço NA03 não apresenta fácies reservatório de nenhum tipo. O fato de o algoritmo genético encontrar uma solução não implica que seja uma solução ótima. Nesse ponto entra o especialista para resolver as incongruências.

Para finalizar, se faz uma análise da variabilidade dos perfis de poço com o propósito de encontrar outro perfil com informação estratigráfica semelhante ao de raio gama e, assim, responder à pergunta: qual é a característica principal de um perfil para obter informação relevante para a previsão? Esta pergunta foi proposta durante a definição das métricas.

Os perfis escolhidos são dos poços NA11A e NA17A, localizados em diferentes blocos no reservatório do Campo de Namorado. Além disso, são utilizados os perfis do poço Oceanview-174AX (IODP, 2012) localizado em Sea Isle City, Dennis Township, New Jersey. É um poço superficial com uma profundidade máxima de 480 m (os detalhes estão no Anexo B, na Tabela B.1).

Cada tipo de perfil é separado em duas categorias (arenito e folhelho), em seguida, calcula-se a sua média e seu coeficiente de variabilidade (CV) com a eq. (4.29), em porcentagem. Os resultados são comparados na Tabela 6.33. Os valores do CV para os perfis de indução ou resistividade (ILD / RES) são muito superiores aos de qualquer outro tipo perfil de poço. Por outro lado, os resultados do estudo de casos (A1, A2, A3, B1, B2 e C) mostram que a previsão do perfil de indução, com o método proposto, apresenta apenas correlação linear moderada e às vezes não existe causalidade entre os perfis utilizados como dados e o perfil padrão. Além disso, os MAPE's são elevados e indicam que as previsões não são confiáveis.

Tabela 6.33 – Comparação dos coeficientes de variabilidade (CV) em porcentagem para o arenito (A) e o folhelho (F) dos poços NA11A, NA17A e Oceanview-174AX.

Perfis	NA11A		NA17A		Oceanview-174AX	
	Média (A – F)	CV% (A – F)	Média (A – F)	CV% (A – F)	Média (A – F)	CV% (A – F)
GR (API)	21,8 89,3	35 20	28,7 73,2	34 27	25,1 77,0	30 36
DT (us/ft)	68,3 101,3	8 13	89,1 113,4	45 22	186,4 174,4	11 15
ILD (ohm-m) / RES (ohm-m)	2,5 3,2	88 1362	28,7 1,4	572 102	600,9 133,8	108 282
SP (mV)	-	-	-	-	-120,3 -19,1	96 287
RHOB (gcm ³)	2,5 2,3	2 5	2,3 2,1	16 13	1,3 1,44	23 23
Q (Kg/m ² /s)	11e6 7e6	10 20	10e6 6e6	47 30	2.2e6 2,7e6	33 38

Os valores do CV para o perfil de raio gama (GR) não apresentam grandes diferenças entre os dois tipos de material e nem pela localização do poço. Estes resultados mostram que uma variabilidade maior não é uma condição necessária para realizar a previsão com este método, e sim a homogeneidade dos valores da variabilidade, seja para diferentes materiais, assim como para poços diferentes.