

5 Estudo de Caso e Resultados

5.1. Introdução

Finalizado o desenvolvimento da ferramenta, é indispensável testar suas funcionalidades e a eficácia da aplicação conjunta dos seus módulos de geração de experimentos e de otimização dos parâmetros dos conjuntos fuzzy por algoritmos genéticos. Assim, foi selecionado um conjunto de séries temporais e, utilizando-se apenas a ferramenta desenvolvida nesse estudo, foram realizadas previsões para essas séries.

5.2. Dados Utilizados

Foram selecionadas as 11 séries temporais com dados mensais que compõem o conjunto reduzido do Forecasting Competition de 2006/07 organizado pelo Artificial Neural Network & Computational Intelligence Forecasting Competition[118].

O objetivo principal desta competição consiste em avaliar o progresso no desenvolvimento de modelos de previsão de séries temporais baseados em redes neurais e outras técnicas de inteligência computacional. O evento em questão foi patrocinado pela empresa SAS e pelo International Institute of Forecasters (IIF).

Das 11 séries selecionadas, oito apresentam 144 pontos de dados, duas apresentam 133 e uma apresenta 141. Assim como na competição, foram calculadas previsões para 18 passos à frente em cada uma das séries. Logo, os últimos 18 pontos de dados de cada série foram reservados para o grupo de teste. Os 18 pontos de dados anteriores a esses foram reservados para o conjunto de validação. As observações restantes compuseram o grupo de treino. As figuras a seguir apresentam graficamente as onze séries selecionadas.

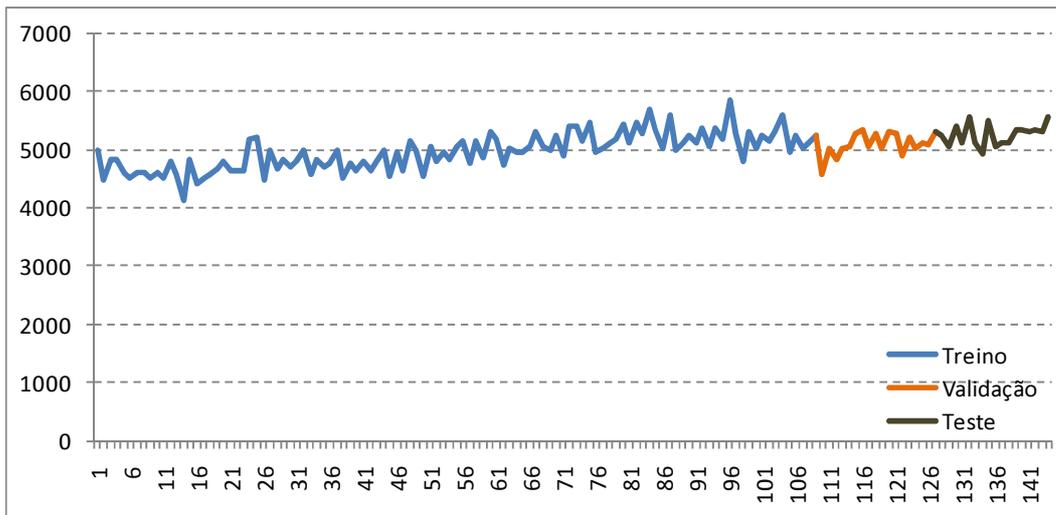


Figura 48 – Série temporal NN3_101

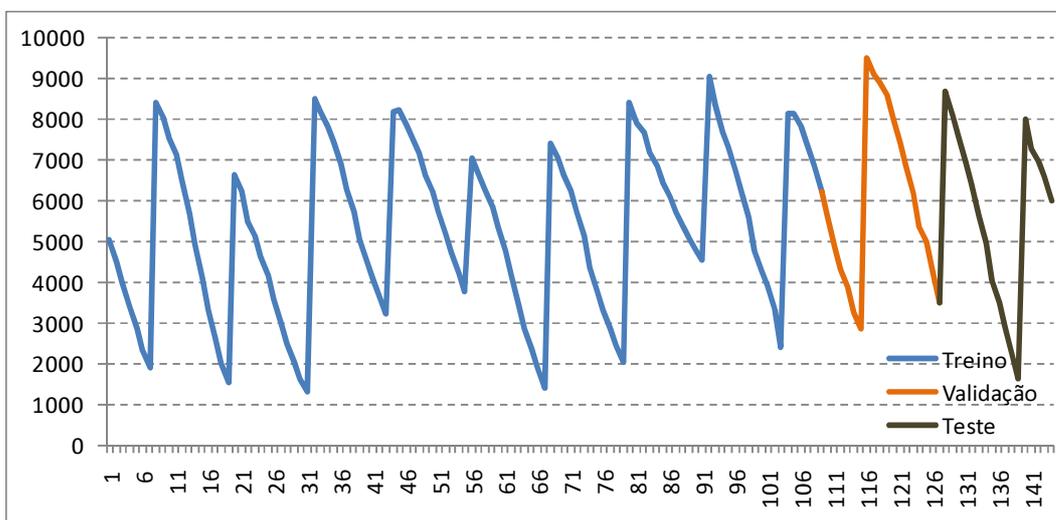


Figura 49 – Série temporal NN3_102

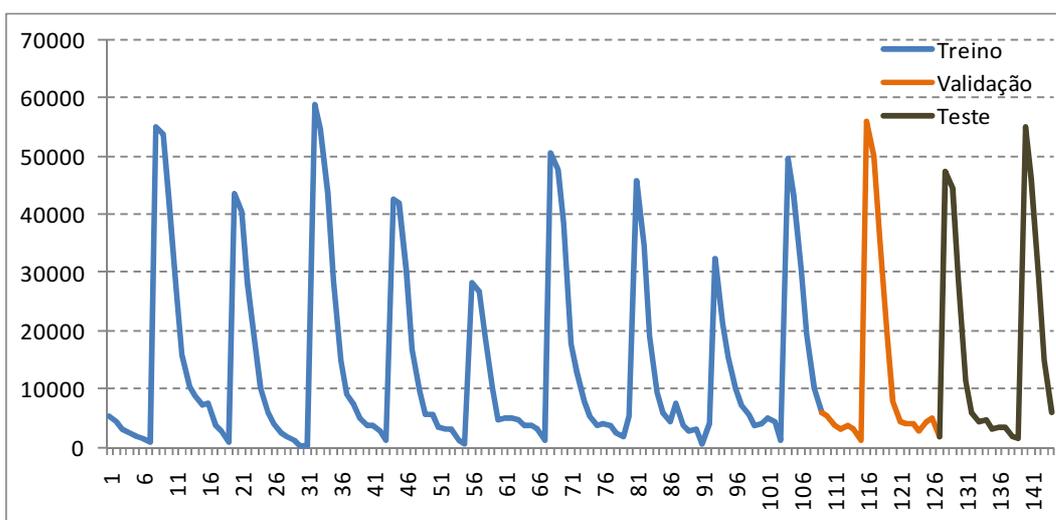


Figura 50 – Série temporal NN3_103

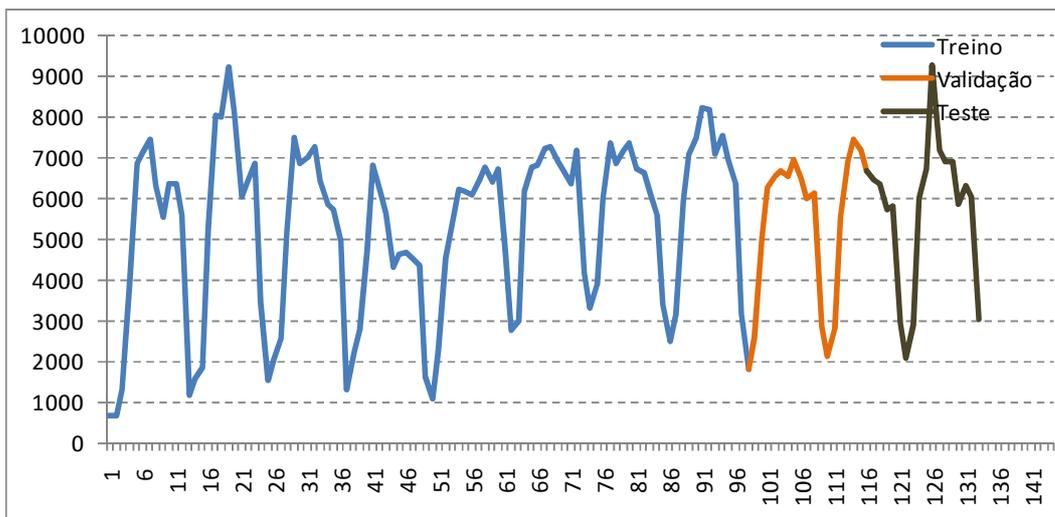


Figura 51 – Série temporal NN3_104

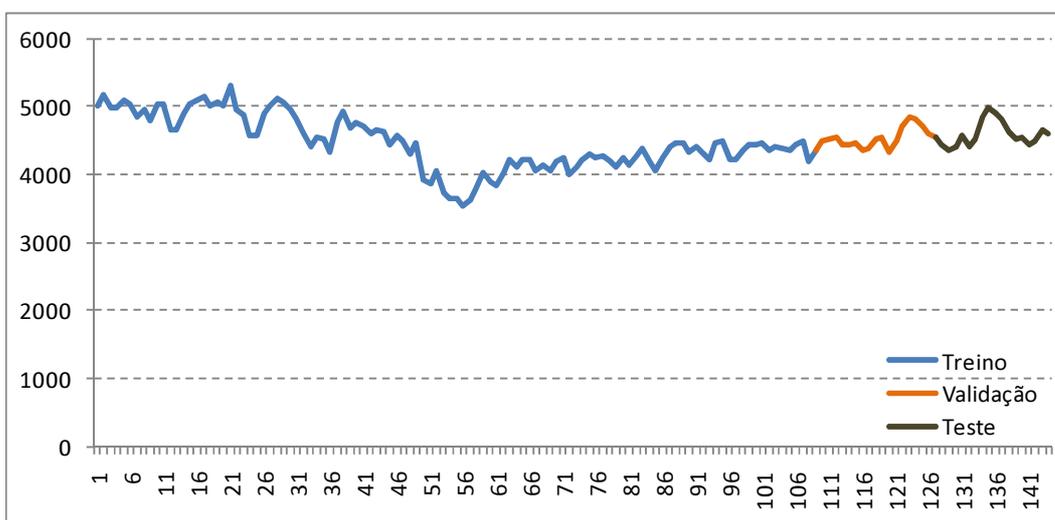


Figura 52 – Série temporal NN3_105

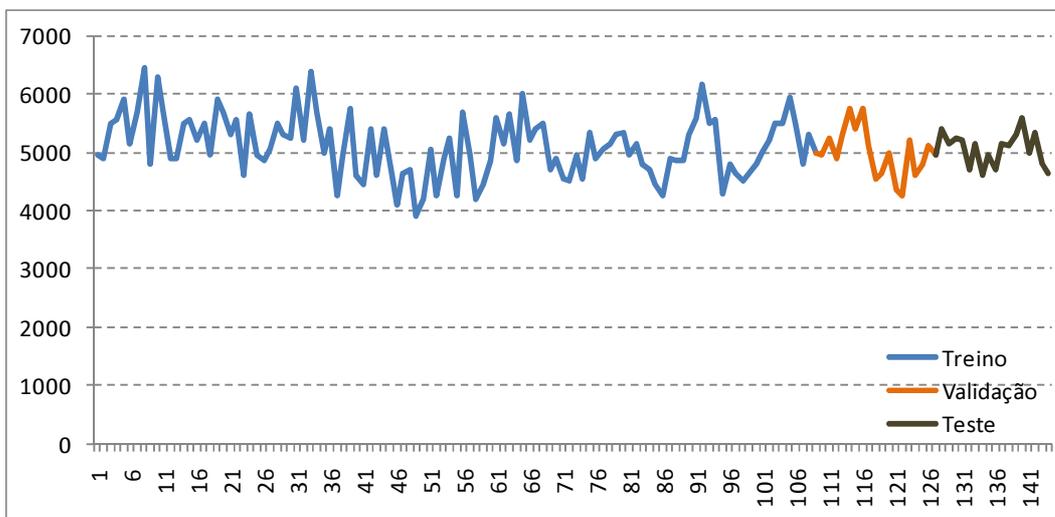


Figura 53 – Série temporal NN3_106

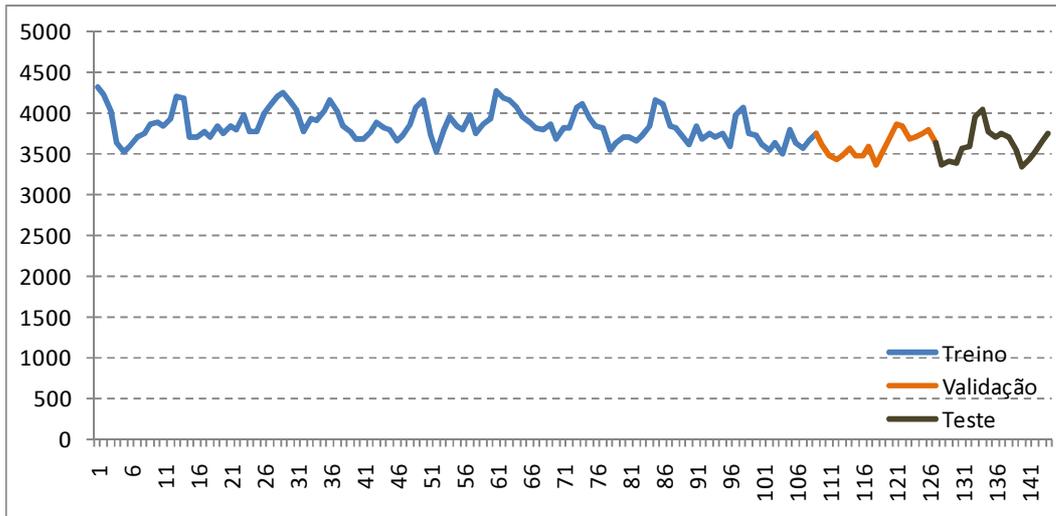


Figura 54 – Série temporal NN3_107

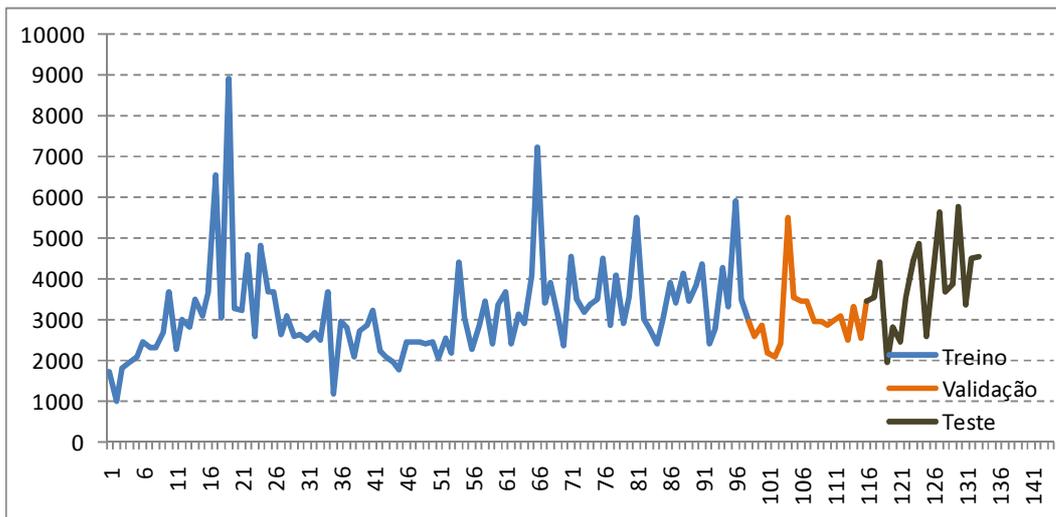


Figura 55 – Série temporal NN3_108

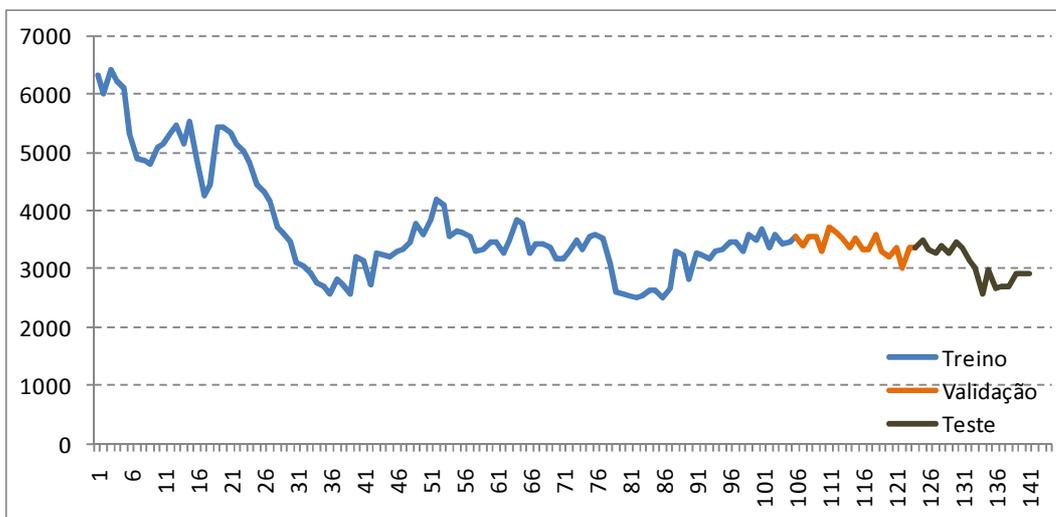


Figura 56 – Série temporal NN3_109

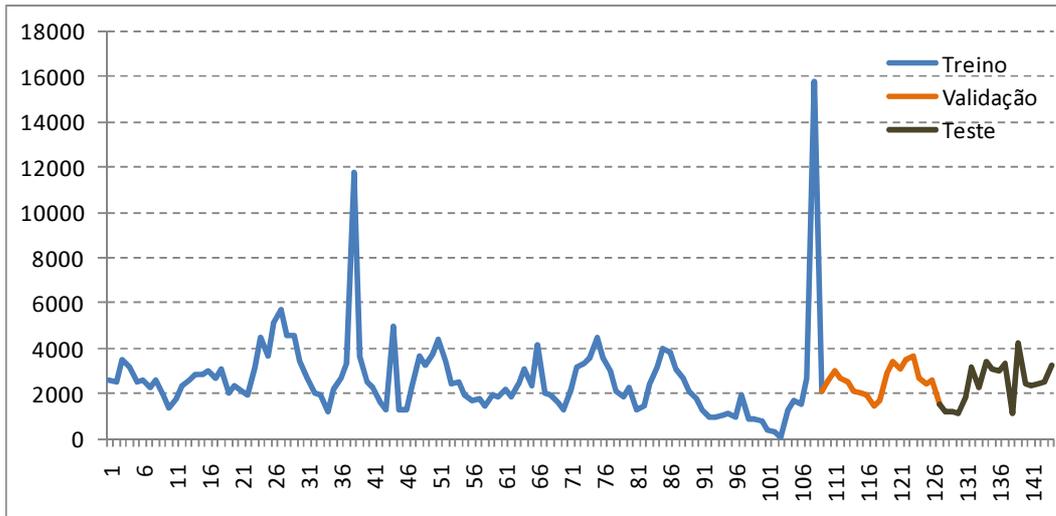


Figura 57 – Série temporal NN3_110

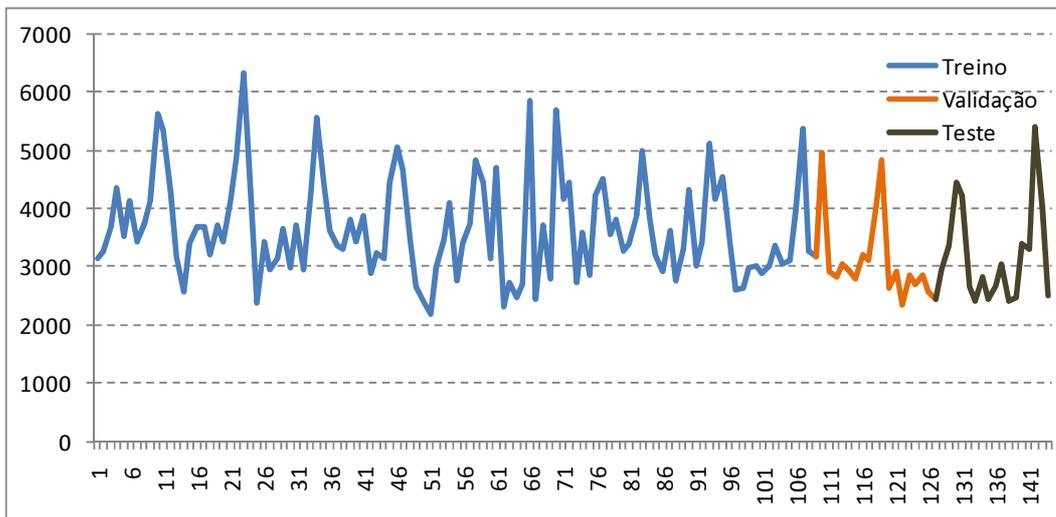


Figura 58 – Série temporal NN3_111

5.3. Tratamento dos Dados

Após análise visual das onze séries selecionadas, foram identificadas 3 séries com componente de tendência: NN3_105, NN3_107 e NN3_109. Com o objetivo de não prejudicar o desempenho do previsor fuzzy, essas três séries foram tratadas, retirando a componente de tendência. Para isso, cada série foi ajustada a uma reta, pelo método da regressão linear, onde a variável independente é o índice numérico da série. Em seguida, cada valor da série foi dividido pelo valor calculado pela equação da reta encontrada:

$$x'(t) = \frac{x(t)}{r(t)}$$

Onde:

$x'(t)$: série sem tendência

$x(t)$: série original

$r(t)$: reta encontrada

Assim, a ferramenta foi aplicada na série resultante sem tendência, e posteriormente as previsões calculadas foram convertidas para a base original, multiplicando-se cada previsão pelo valor calculado pela equação da reta no período correspondente. O erro então foi calculado comparando-se a série real com a série prevista pela ferramenta convertida para a mesma base. Esse procedimento está ilustrado na Figura 59. As etapas de retirada da tendência, de recomposição da tendência e de cálculo dos erros foram executadas utilizando-se o software Excel.

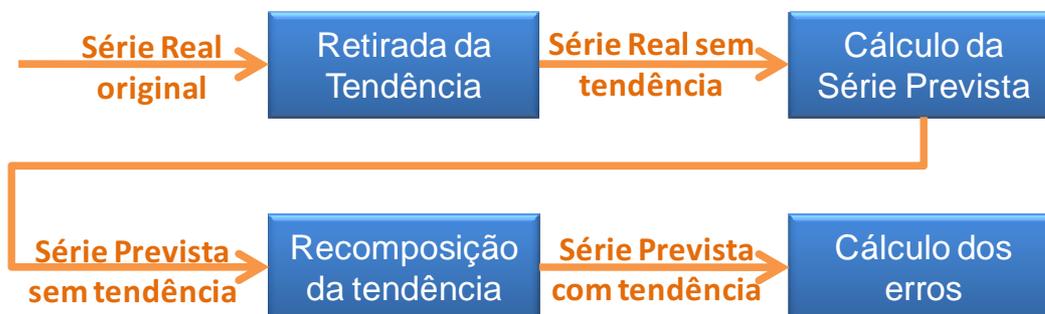


Figura 59 – Procedimento para tratamento das séries com tendência

É importante ressaltar que o uso do fator multiplicativo para a retirada da

tendência garante que o MAPE de uma série prevista sem tendência será o mesmo da série prevista após recomposição da tendência. Seja $MAPE'$ o erro da série prevista sem tendência, quando comparada com a série real sem tendência, definido conforme equação abaixo:

$$MAPE' = \sum_{i=1}^n \frac{(R'_i - P'_i)}{R'_i}$$

Sendo q_i o fator multiplicador para recomposição da tendência no período i , o MAPE da série prevista recomposta, comparando com a série original será:

$$\begin{aligned} MAPE &= \sum_{i=1}^n \frac{(R_i - P_i)}{R_i} = \sum_{i=1}^n \frac{(R'_i \cdot q_i - P'_i \cdot q_i)}{R'_i \cdot q_i} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i \cdot (R'_i - P'_i)}{q_i \cdot R'_i} = \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{(R'_i - P'_i)}{R'_i} = MAPE' \end{aligned}$$

Assim, a otimização dos parâmetros para a série sem tendência garante a minimização do MAPE da série original.

5.3.1. Retirada da Tendência da Série NN3_105

A partir da análise visual do gráfico da série NN3_105 foi possível identificar uma tendência negativa até a 56ª observação, e uma tendência positiva da 57ª até a última observação. Assim, para a retirada da tendência, a série foi dividida em duas partes, sendo cada parte ajustada por uma reta diferente (Figura 60).

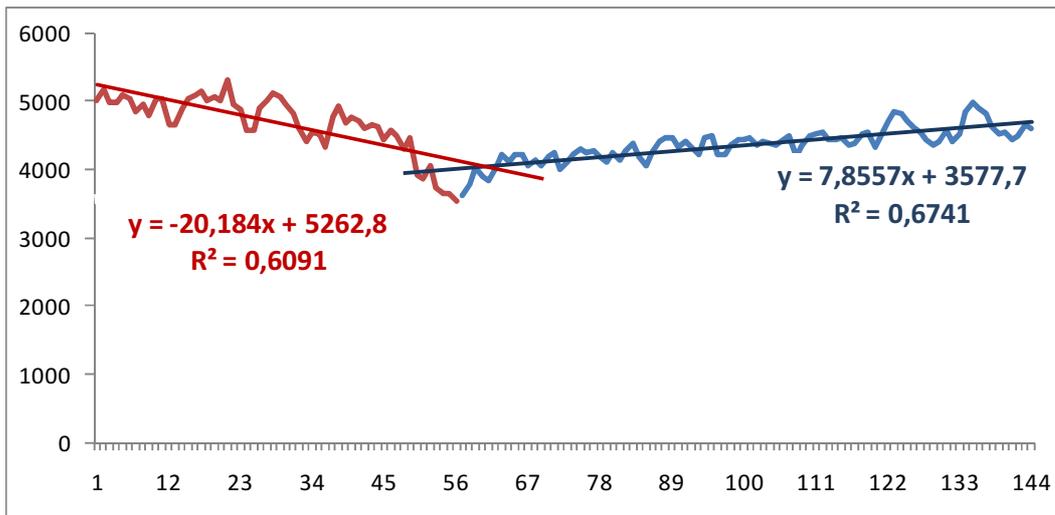


Figura 60 – Retirada da tendência da série NN3_105

Após dividir cada valor da série original pelo valor calculado com as equações encontradas, obteve-se a série sem tendência exibida na Figura 61.

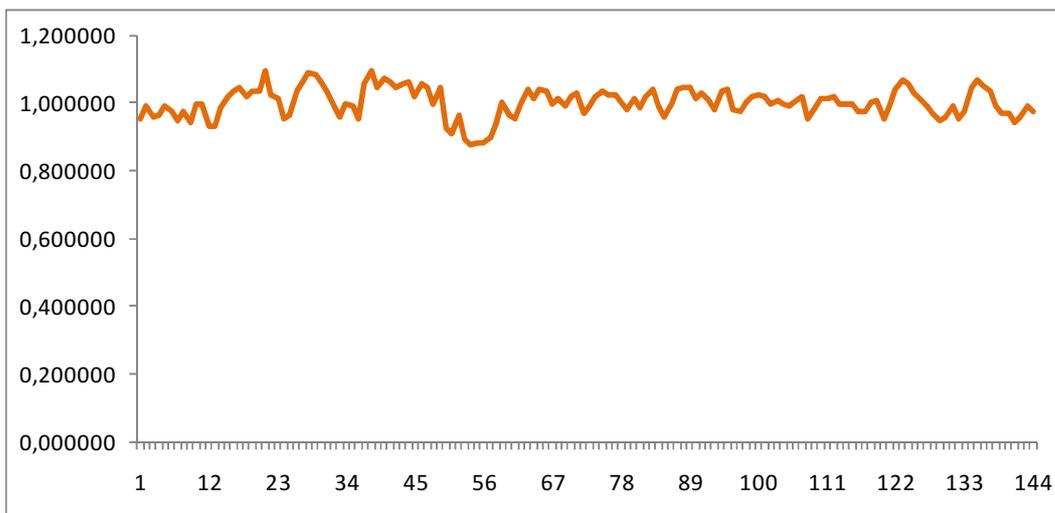


Figura 61 – Série NN3_105 após retirada da tendência

5.3.2. Retirada da tendência da série NN3_107

Analisando visualmente a série NN3_107, foi possível identificar uma tendência negativa (Figura 62)

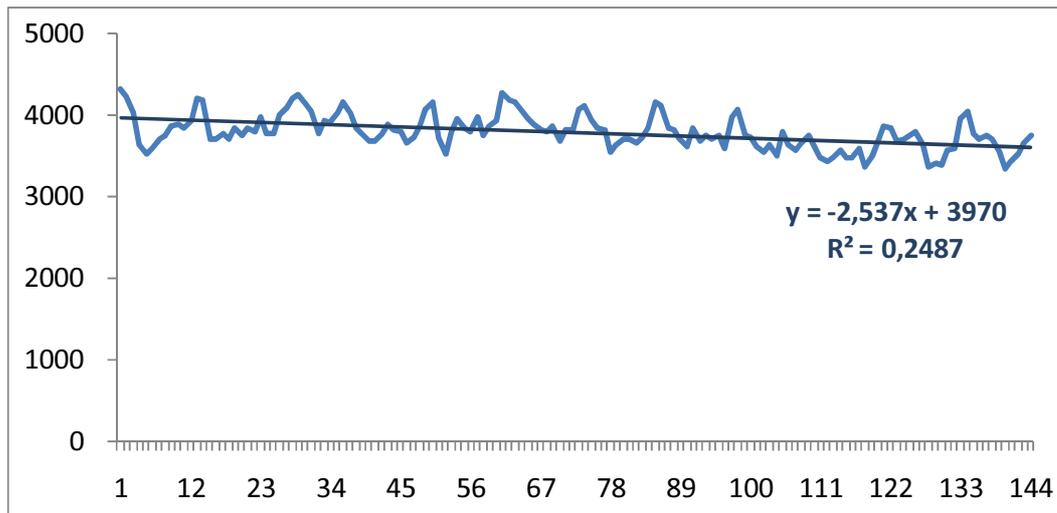


Figura 62 – Retirada da tendência da série NN3_107

Após dividir cada valor da série original pelo valor calculado com a equação encontrada, obteve-se a série sem tendência (Figura 63).

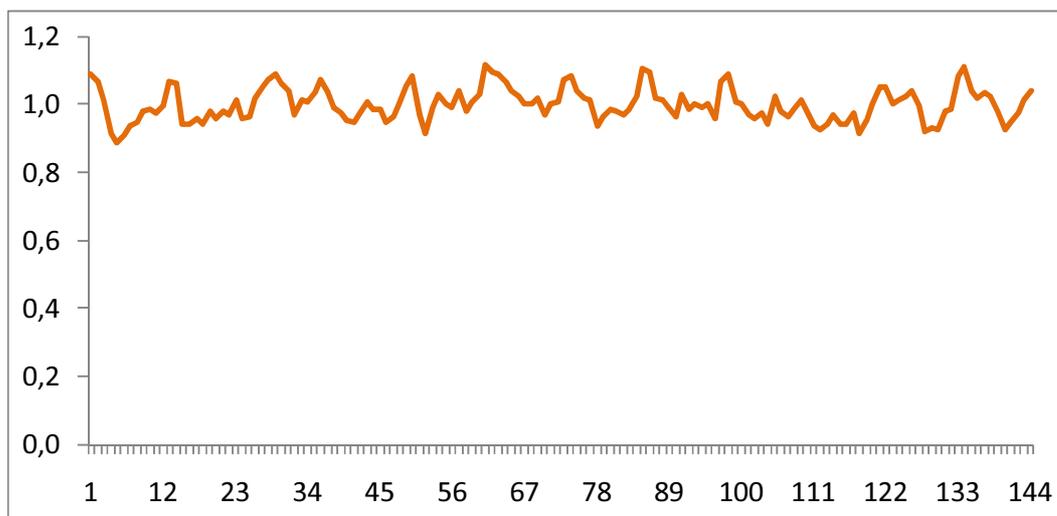


Figura 63 – Série NN3_107 após retirada da tendência

5.3.3. Retirada da Tendência da Série NN3_109

A partir da análise visual do gráfico da série NN3_109 foi possível identificar uma forte tendência negativa até a 40ª observação, e uma tendência negativa mais suave da 41ª até a última observação. Assim, para a retirada da tendência, a série foi dividida em duas partes, sendo cada parte ajustada por uma reta diferente (Figura 64)

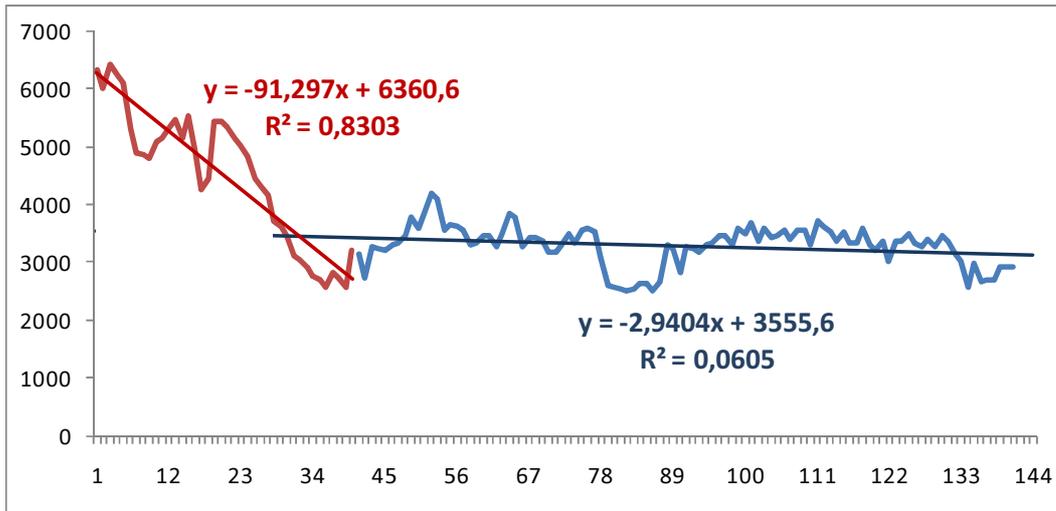


Figura 64 – Retirada da tendência da série NN3_109

Após dividir cada valor da série original pelo valor calculado com a equação encontrada, obteve-se a série sem tendência (Figura 65).

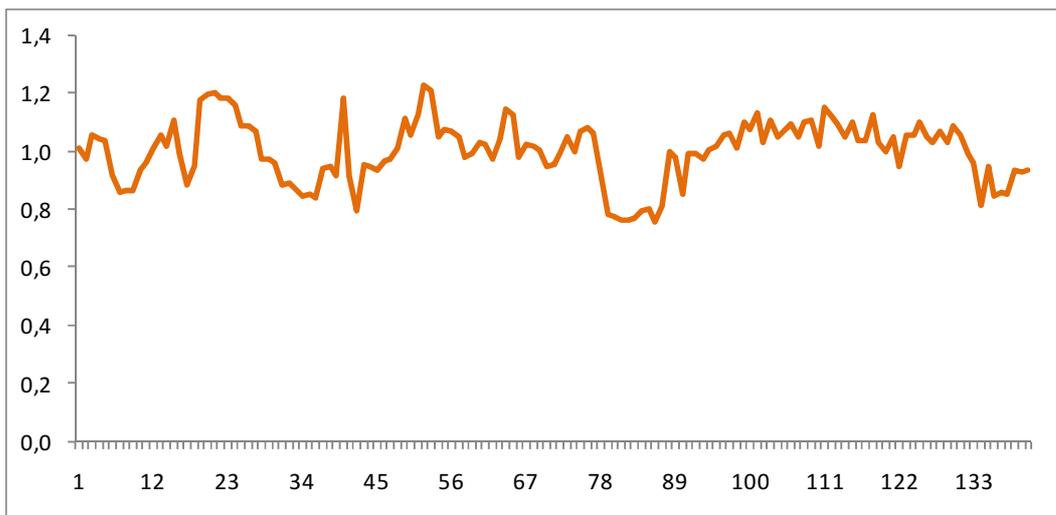


Figura 65 – Série NN3_109 após retirada da tendência

5.4. Procedimento e Parametrizações

5.4.1. Introdução

Para cada uma das onze séries temporais avaliadas foi realizado o procedimento composto por três etapas:

- Seleção da melhor configuração de FIS avaliada
- Otimização do FIS selecionado
- Comparação dos resultados

5.4.2. Seleção da Melhor Configuração FIS Avaliada

Para cada uma das 11 séries temporais foram avaliadas 96 configurações diferentes (Tabela 2), resultantes da combinação das seguintes opções de parâmetros:

- Número de conjuntos: 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23 e 25
- Tamanho da janela: 3, 6, 9 e 12 pontos
- Tipo de previsão: *multistep (MS)* e *singlestep (SS)*

Id	Num Conjs	Tam Janela	Tipo	Id	Num Conjs	Tam Janela	Tipo	Id	Num Conjs	Tam Janela	Tipo
1	3	3	SS	33	11	3	SS	65	19	3	SS
2	3	3	MS	34	11	3	MS	66	19	3	MS
3	3	6	SS	35	11	6	SS	67	19	6	SS
4	3	6	MS	36	11	6	MS	68	19	6	MS
5	3	9	SS	37	11	9	SS	69	19	9	SS
6	3	9	MS	38	11	9	MS	70	19	9	MS
7	3	12	SS	39	11	12	SS	71	19	12	SS
8	3	12	MS	40	11	12	MS	72	19	12	MS
9	5	3	SS	41	13	3	SS	73	21	3	SS
10	5	3	MS	42	13	3	MS	74	21	3	MS
11	5	6	SS	43	13	6	SS	75	21	6	SS
12	5	6	MS	44	13	6	MS	76	21	6	MS
13	5	9	SS	45	13	9	SS	77	21	9	SS
14	5	9	MS	46	13	9	MS	78	21	9	MS
15	5	12	SS	47	13	12	SS	79	21	12	SS
16	5	12	MS	48	13	12	MS	80	21	12	MS
17	7	3	SS	49	15	3	SS	81	23	3	SS
18	7	3	MS	50	15	3	MS	82	23	3	MS
19	7	6	SS	51	15	6	SS	83	23	6	SS
20	7	6	MS	52	15	6	MS	84	23	6	MS
21	7	9	SS	53	15	9	SS	85	23	9	SS
22	7	9	MS	54	15	9	MS	86	23	9	MS
23	7	12	SS	55	15	12	SS	87	23	12	SS
24	7	12	MS	56	15	12	MS	88	23	12	MS
25	9	3	SS	57	17	3	SS	89	25	3	SS
26	9	3	MS	58	17	3	MS	90	25	3	MS
27	9	6	SS	59	17	6	SS	91	25	6	SS
28	9	6	MS	60	17	6	MS	92	25	6	MS
29	9	9	SS	61	17	9	SS	93	25	9	SS
30	9	9	MS	62	17	9	MS	94	25	9	MS
31	9	12	SS	63	17	12	SS	95	25	12	SS
32	9	12	MS	64	17	12	MS	96	25	12	MS

Tabela 2 – Configurações avaliadas em todas as séries

A diferença entre a previsão por *singlestep* e a previsão por *multistep* é detalhada no item 4.2.2 desta dissertação. É importante ressaltar que, independentemente do tipo de previsão escolhido, sempre são calculados os valores previstos para os 18 passos seguintes ao conjunto de validação, sem que as observações do grupo de teste sejam utilizadas. No entanto, enquanto que no *multistep* são geradas 18 previsões sempre do valor logo à frente da janela, no *singlestep* são calculadas 18 previsões sempre do 18º valor à frente da janela. Em função desta diferença, poder-se-ia dizer que a previsão por *multistep* sempre resultará em um desempenho melhor. No entanto, enquanto que no *multistep*, a partir do 2º passo, previsões anteriores são utilizadas para o

cálculo das previsões seguintes, no *singlestep* somente os dados reais são utilizados na janela. Assim, é esperado que em algumas séries a previsão por *multistep* gere melhores resultados, e em outras o melhor desempenho seja alcançado com o *singlestep*.

O desempenho de cada configuração foi analisado pelo MAPE no conjunto de validação. Para o cálculo do desempenho de cada uma das 96 configurações, foi utilizado o módulo “laboratório” implementado na ferramenta.

Como entre as configurações avaliadas existem variáveis com muitos conjuntos fuzzy combinados com longas janelas, o indicador “capacidade de previsão” calculado pela ferramenta foi utilizado para realizar um filtro inicial. Configurações que apresentaram incapacidade de prever mais de 2 pontos entre os 18 do conjunto de validação foram excluídas, independentemente do MAPE resultante. Assim, somente as configurações com “capacidade de previsão” igual a 88,9% ou superior foram classificadas pelo MAPE.

Para cada série temporal, foi selecionada a configuração que apresentou o menor MAPE no conjunto de validação, após a filtragem pela “capacidade de previsão”.

5.4.3. Otimização do FIS Selecionado

Os parâmetros dos conjuntos fuzzy do FIS selecionado foram otimizados utilizando o módulo de algoritmos genéticos. Com o objetivo de estabelecer os parâmetros de evolução adequados, realizou-se um estudo preliminar.

Primeiramente selecionou-se uma das onze séries para ser utilizada no estudo. Como os comportamentos das onze séries são significativamente distintos entre si, a série NN3_101 foi selecionada de forma arbitrária.

Em seguida, um previsor *singlestep* com 9 conjuntos fuzzy e janela de 3 períodos foi utilizado para a previsão de 18 períodos a frente da série selecionada. Essa configuração foi otimizada pela ferramenta, considerando as 8 combinações de parametrização representadas na Tabela 3.

Parâmetro	GA 01	GA 02	GA 03	GA 04	GA 05	GA 06	GA 07	GA 08
Taxa inicial de crossover	0,80	0,80	0,95	0,95	0,90	0,90	0,90	0,90
Taxa final de crossover	0,80	0,80	0,05	0,05	0,70	0,70	0,60	0,60
Taxa inicial de mutação	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
Taxa final de mutação	0,05	0,05	0,95	0,95	0,10	0,10	0,20	0,20
Gap do Steady State	0,30	0,70	0,30	0,70	0,30	0,70	0,30	0,70

Tabela 3 - Combinações de parametrizações avaliadas

Foram executados 100 experimentos com cada uma das 8 combinações. Em cada experimento foram avaliados 4000 indivíduos (população de 100 indivíduos por 40 gerações). O desempenho de cada combinação é mostrado na Figura 66, em que as curvas demonstram a média das avaliações dos melhores indivíduos a cada geração nos 100 experimentos:

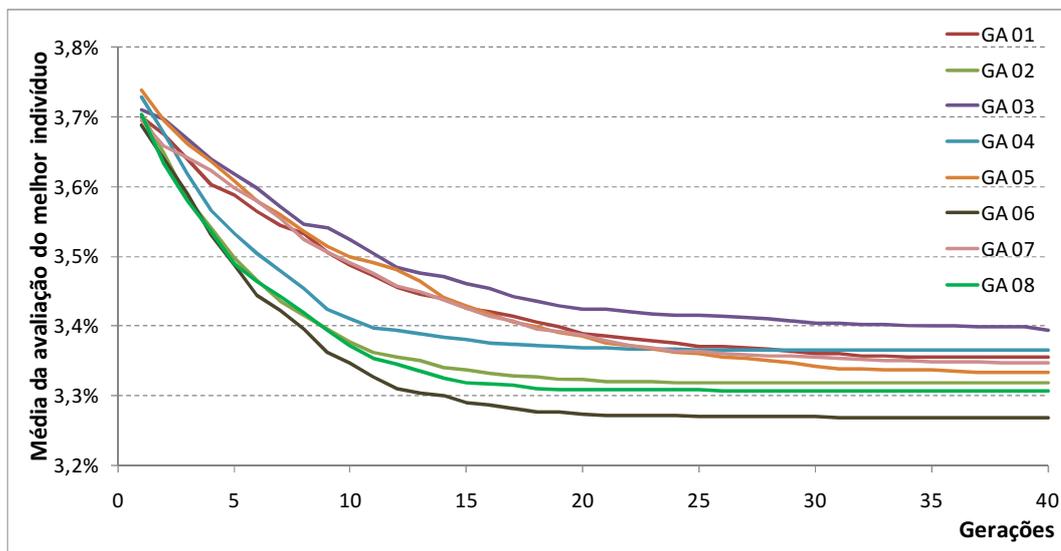


Figura 66 – Desempenho das 8 combinações de parametrização avaliadas

Analisando o gráfico, pode-se observar que a evolução por 40 gerações de uma população com 100 indivíduos garantiu a convergência de todas as combinações testadas, sendo a combinação “GA 06” a que resultou em um melhor desempenho. O resultado deste estudo foi extrapolado para as demais séries, ou seja, para todas as 11 séries selecionadas para aplicação da ferramenta, o módulo de otimização por GA foi parametrizado conforme a combinação GA 06, ou seja:

- Taxa inicial de crossover = 0,90
- Taxa final de crossover = 0,70
- Taxa inicial de mutação = 0,01
- Taxa final de mutação = 0,10
- Gap do Steady State = 0,70
- Número de indivíduos = 100
- Número de gerações = 40

Porém, sabe-se que, apesar da combinação do GA06 ter se mostrado a melhor para a série selecionada, não há garantia que para as demais séries a

convergência também seja atingida mais rapidamente com essa parametrização.

5.4.4. Comparação dos resultados

Os desempenhos do FIS selecionado e do FIS otimizado são comparados analisando-se o erro percentual médio absoluto (MAPE) no conjunto de teste. O sucesso da otimização do FIS selecionado é determinado pela redução desse indicador.

A diferença das médias dos erros percentuais absolutos das previsões em toda a série foi testada a partir do teste-t de duas amostras pareadas [119]. Considerando a amostra I como a série de erros percentuais absolutos da previsão resultante do FIS selecionado $\{APE_1^I, APE_2^I, APE_3^I, \dots, APE_n^I\}$ e a amostra II a série de erros percentuais absolutos resultantes da previsão do FIS otimizado $\{APE_1^{II}, APE_2^{II}, APE_3^{II}, \dots, APE_n^{II}\}$, as médias serão consideradas diferentes se a hipótese H_0 puder ser rejeitada com um nível de significância de até 10%, onde:

$$H_0: \mu_I - \mu_{II} = 0$$

Como o objetivo final é saber se a média dos erros gerados pela previsão do FIS otimizado é estatisticamente menor que a média dos erros gerados pela previsão do FIS selecionado, foi utilizado o teste-t uni caudal. Assim, a hipótese H_1 é definida por:

$$H_1: \mu_I - \mu_{II} > 0$$

Sendo $d_i = APE_i^I - APE_i^{II}$, a estatística t é definida por:

$$t_{calculado} = \frac{\bar{d} - 0}{s_{\bar{d}}}$$

Onde

$\bar{d} = \frac{\sum d}{n}$, sendo n o número de elementos da amostra

$$s_{\bar{d}} = \frac{s_d}{\sqrt{n}}$$

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - n \cdot (\bar{d})^2}{n-1}}$$

Caso $t_{calculado} > t_{crítico\ 10\%}$, pode-se rejeitar a hipótese H_0 com nível de significância de 10%, ou seja, pode-se afirmar que a previsão gerada pelo FIS otimizado apresenta MAPE significativamente menor que a previsão gerada pelo FIS selecionado.

5.5. Resultados Obtidos

5.5.1. Série NN3_101

As exatidões obtidas nas 15 configurações que apresentaram melhor desempenho estão representadas na Tabela 4.

Config	Multi Step	# Conjuntos	Tamanho Janela	MAPE Validação	Capacidade de Previsão
33	Não	11	3	2.82%	88.9%
9	Não	5	3	2.83%	100.0%
5	Não	3	9	2.84%	100.0%
19	Não	7	6	2.95%	100.0%
17	Não	7	3	3.03%	100.0%
4	Sim	3	6	3.12%	100.0%
8	Sim	3	12	3.13%	100.0%
25	Não	9	3	3.15%	100.0%
6	Sim	3	9	3.15%	100.0%
1	Não	3	3	3.26%	100.0%
2	Sim	3	3	3.26%	100.0%
3	Não	3	6	3.26%	100.0%
11	Não	5	6	3.28%	88.9%
7	Não	3	12	3.45%	100.0%
12	Sim	5	6	3.54%	100.0%

Tabela 4 – NN3_101: Desempenho das melhores 15 configurações

Como pode ser observado, a configuração que apresentou o menor MAPE no conjunto de validação foi a Configuração #33, sem multistep, com janela de 3 meses e 11 conjuntos fuzzy.

O gráfico da Figura 67 compara a série real com a série prevista pela configuração #33. A Figura 68 exibe a representação gráfica dos conjuntos fuzzy desta configuração.

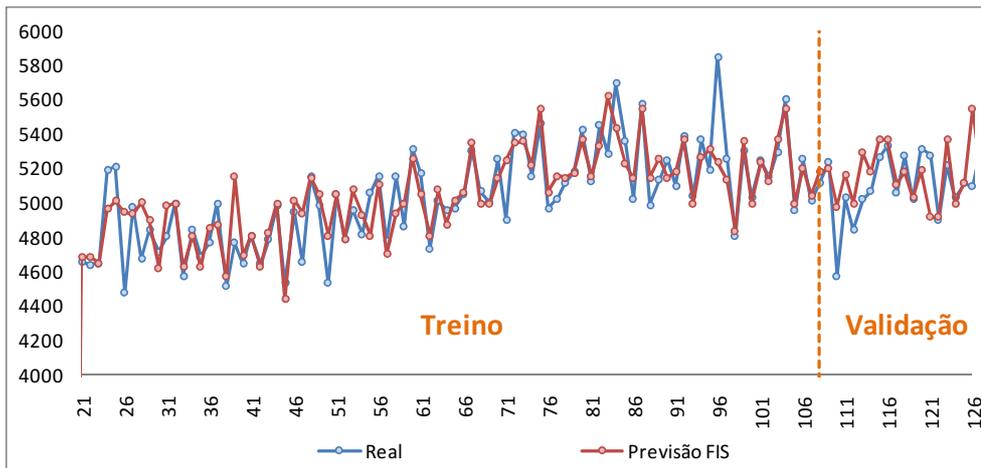


Figura 67 – NN3_101: Série Real x Série Prevista (FIS Selecionado)

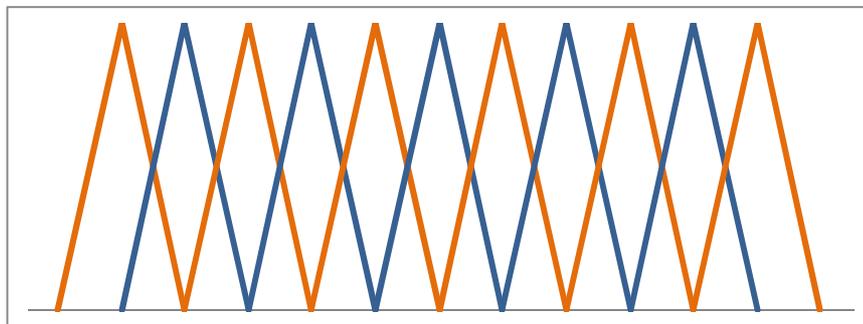


Figura 68 – NN3_101: Conjuntos Fuzzy do FIS Selecionado

Após a execução do módulo de otimização por GA, a previsão obtida com o FIS otimizado foi sensivelmente modificada, conforme verificado na Figura 69.

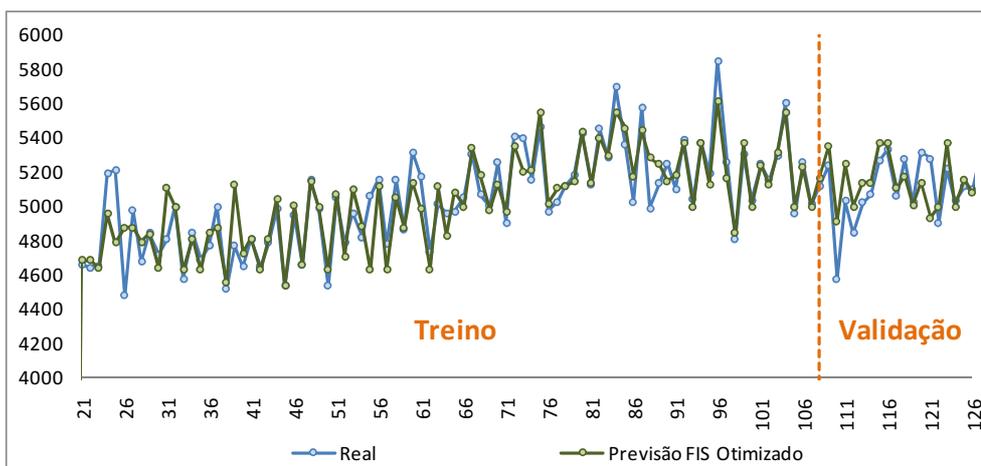


Figura 69 – NN3_101: Série Real x Série Prevista (FIS Otimizado)

O efeito da otimização dos parâmetros dos conjuntos fuzzy pode ser observado na Figura 70.

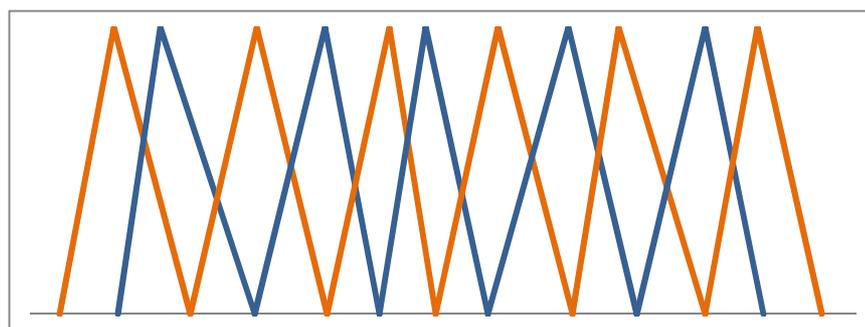


Figura 70 – NN3_101: Conjuntos Fuzzy do FIS Otimizado

O gráfico da Figura 71 compara a série real, a previsão do FIS selecionado e a previsão do FIS otimizado no conjunto de teste.

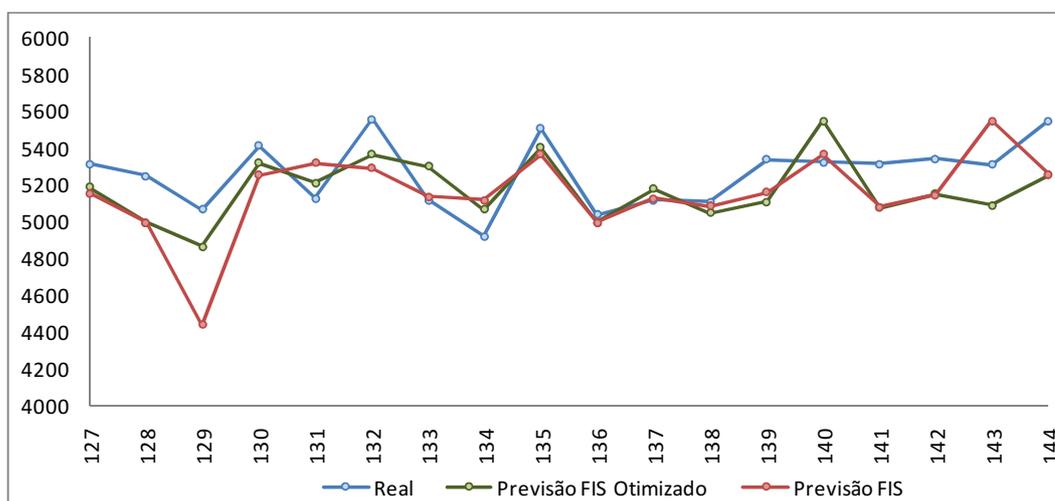


Figura 71 – NN3_101: Séries no conjunto de teste

As exatidões resultantes das duas previsões podem ser comparadas na Tabela 5.

	FIS Selecionado	FIS Otimizado	Variação %	Diferença
Treino	2,02%	1,74%	-13,9%	-0,28%
Validação	2,82%	2,40%	-14,9%	-0,42%
Treino + Validação	2,15%	1,85%	-14,0%	-0,30%
Teste	3,44%	3,08%	-10,5%	-0,36%

Tabela 5 – NN3_101: Erro FIS Selecionado x Erro FIS Otimizado

A otimização por GA resultou em uma redução de 14,0% do MAPE nos

conjuntos de treino e validação, levando a um erro 10,5% menor no conjunto de teste.

Os resultados do teste de hipótese, mostrados na Tabela 6, permitem concluir que se pode rejeitar a hipótese H_0 com nível de significância de até 4,4%. Assim, pode-se considerar que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS otimizado é realmente menor que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS selecionado.

observações	124
graus de liberdade	123
t calculado	1,7174
t crítico uni-caudal (alfa = 10%)	1,2885
valor-p uni-caudal	4,4%

Tabela 6 – NN3_101: Teste de hipótese para médias dos erros

5.5.2. Série NN3_102

A Tabela 7 lista as precisões obtidas em cada uma das 15 configurações que apresentaram melhor desempenho.

Config	Multi Step	# Conjuntos	Tamanho Janela	MAPE Validação	Capacidade de Previsão
14	Sim	5	9	16.46%	100.0%
34	Sim	11	3	17.09%	100.0%
16	Sim	5	12	20.77%	100.0%
17	Não	7	3	24.40%	100.0%
22	Sim	7	9	24.55%	100.0%
8	Sim	3	12	24.82%	100.0%
33	Não	11	3	25.52%	88.9%
3	Não	3	6	25.92%	100.0%
5	Não	3	9	26.09%	100.0%
6	Sim	3	9	26.33%	100.0%
1	Não	3	3	26.96%	100.0%
25	Não	9	3	27.16%	88.9%
18	Sim	7	3	27.50%	100.0%
82	Sim	23	3	28.36%	100.0%
50	Sim	15	3	28.48%	100.0%

Tabela 7 – NN3_102: Desempenho das melhores 15 configurações

Como pode ser observado, a configuração que apresentou o menor MAPE no conjunto de validação foi a Configuração #14. A série prevista calculada a partir desta configuração pode ser observada na Figura 72.

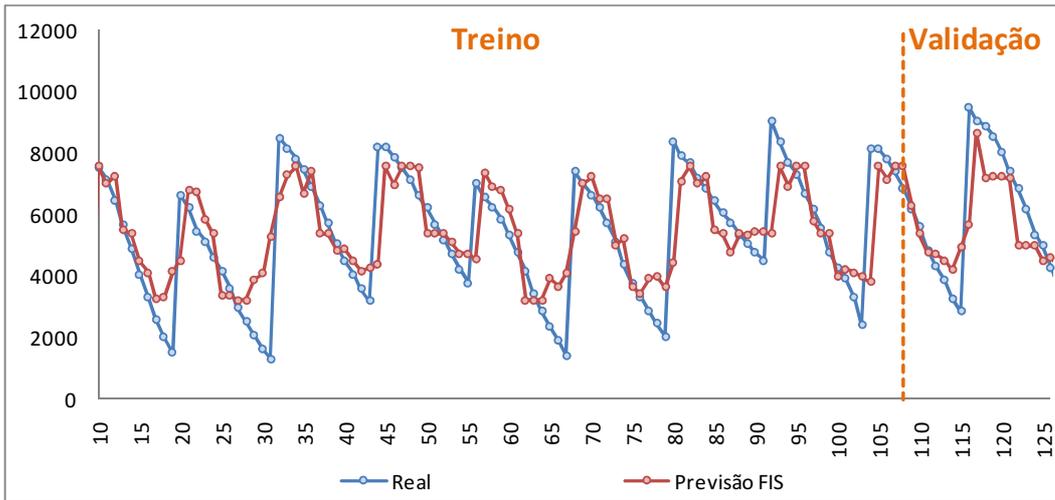


Figura 72 – NN3_102: Série Real x Série Prevista (FIS Selecionado)

A Figura 73 mostra graficamente os conjuntos fuzzy considerados na configuração #36.

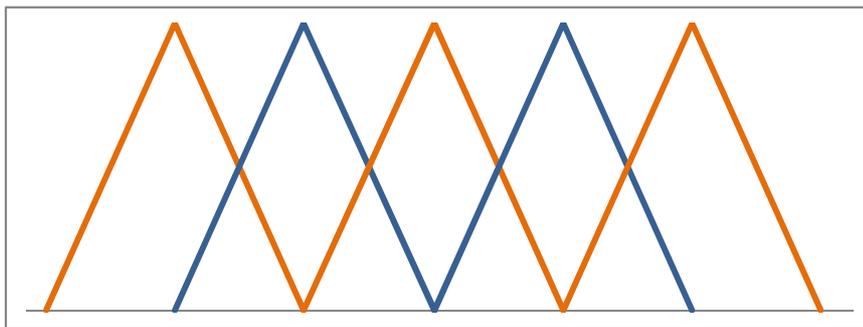


Figura 73 – NN3_102: Conjuntos Fuzzy do FIS Selecionado

Após a execução do módulo de otimização, a previsão obtida com o FIS otimizado foi significativamente modificada, conforme apresentado na Figura 74.

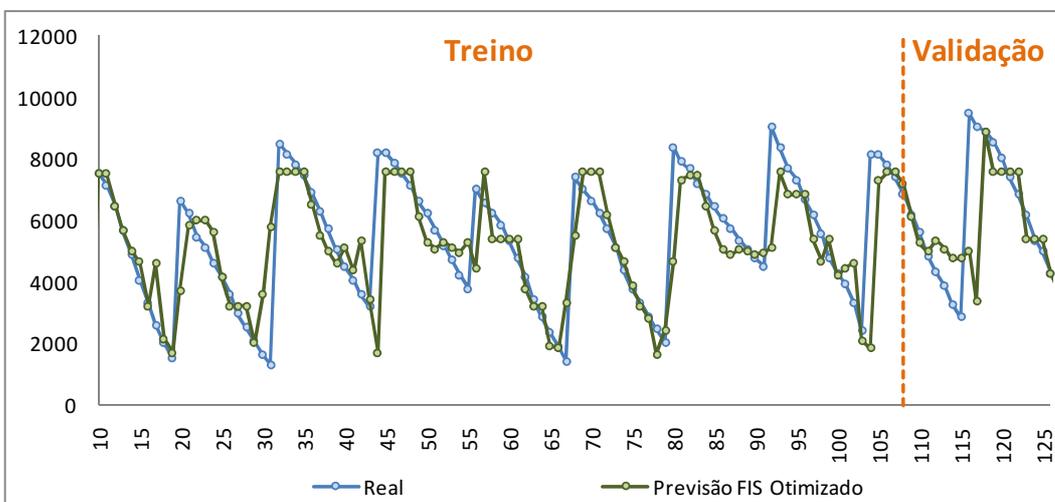


Figura 74 – NN3_102: Série Real x Série Prevista (FIS Otimizado)

A configuração dos cinco conjuntos fuzzy associados à variável foi modificada conforme ilustrado na Figura 75.

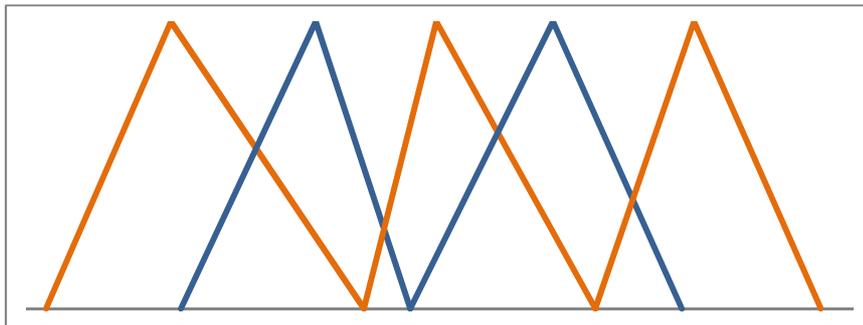


Figura 75 – NN3_102: Conjuntos Fuzzy do FIS Otimizado

A Figura 76 compara graficamente a série real, a previsão do FIS selecionado e a previsão do FIS otimizado no conjunto de teste.

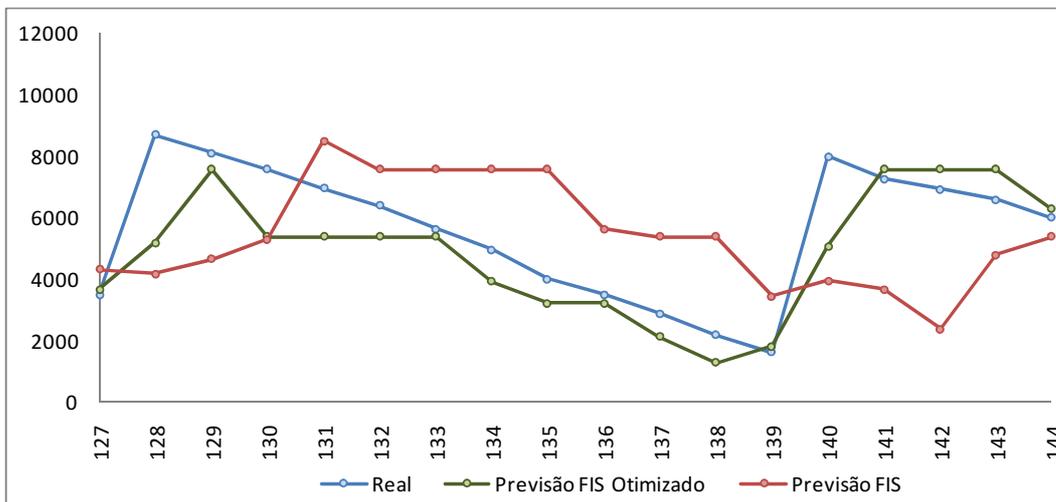


Figura 76 – NN3_102: Séries no conjunto de teste

Conforme exibido na Tabela 8, a otimização por GA resultou em uma redução de 20,3% do MAPE nos conjuntos de treino e validação, levando a um erro 66,9% menor no conjunto de teste.

	FIS Selecionado	FIS Otimizado	Variação %	Diferença
Treino	25.55%	19.29%	-24.5%	-6,26%
Validação	16.46%	18.96%	15.2%	2,5%
Treino + Validação	24.15%	19.24%	-20.3%	-4,91%
Teste	54.28%	17.94%	-66.9%	-36,34%

Tabela 8 – NN3_102: Erro FIS Selecionado x Erro FIS Otimizado

Os resultados do teste de hipótese, mostrados na Tabela 9, permitem concluir que pode-se rejeitar a hipótese H_0 com nível de significância de até 0,01%. Assim, pode-se considerar que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS otimizado é realmente menor que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS selecionado.

observações	135
graus de liberdade	134
t calculado	3.7241
t crítico uni-caudal (alfa = 10%)	1.2879
valor-p uni-caudal	0.01%

Tabela 9 – NN3_102: Teste de hipótese para médias dos erros

5.5.3. Série NN3_103

Como pode ser observado na Tabela 10 a configuração que apresentou o menor MAPE no conjunto de validação para a série NN3_103 foi a Configuração #13, com previsão por singlestep, janela de 9 meses e 5 conjuntos fuzzy.

Config	Multi Step	# Conjuntos	Tamanho Janela	MAPE Validação	Capacidade de Previsão
13	Não	5	9	35.21%	100.0%
14	Sim	5	9	36.45%	100.0%
16	Sim	5	12	37.87%	100.0%
15	Não	5	12	43.11%	100.0%
40	Sim	11	12	43.29%	100.0%
12	Sim	5	6	44.62%	100.0%
48	Sim	13	12	44.99%	94.4%
46	Sim	13	9	44.99%	100.0%
58	Sim	17	3	45.12%	100.0%
82	Sim	23	3	45.83%	100.0%
10	Sim	5	3	46.38%	100.0%
34	Sim	11	3	46.38%	100.0%
36	Sim	11	6	48.83%	100.0%
66	Sim	19	3	49.22%	100.0%
42	Sim	13	3	54.54%	100.0%

Tabela 10 – NN3_103: Desempenho das melhores 15 configurações

A série real e a série prevista pela configuração #13 podem ser comparadas na Figura 77. Os cinco conjuntos fuzzy desta configuração foram parametrizados conforme a Figura 78.

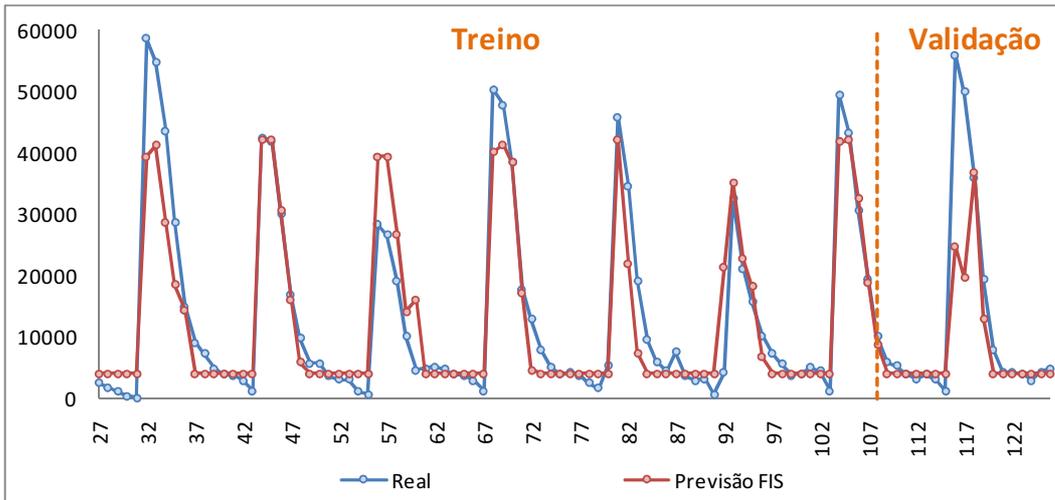


Figura 77 – NN3_103: Série Real x Série Prevista (FIS Selecionado)

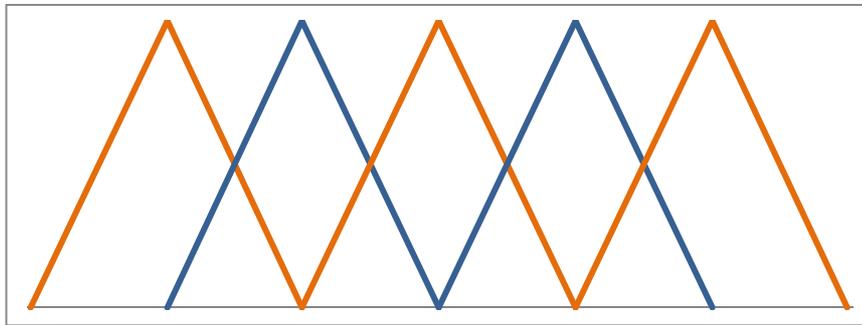


Figura 78 – NN3_103: Conjuntos Fuzzy do FIS Selecionado

Após executar o módulo de otimização por GA, a previsão obtida com o FIS otimizado foi sensivelmente modificada. A Figura 79 e a Figura 80 apresentam o gráfico comparativo da série real com a série prevista e a configuração final dos cinco conjuntos fuzzy após a otimização, respectivamente.

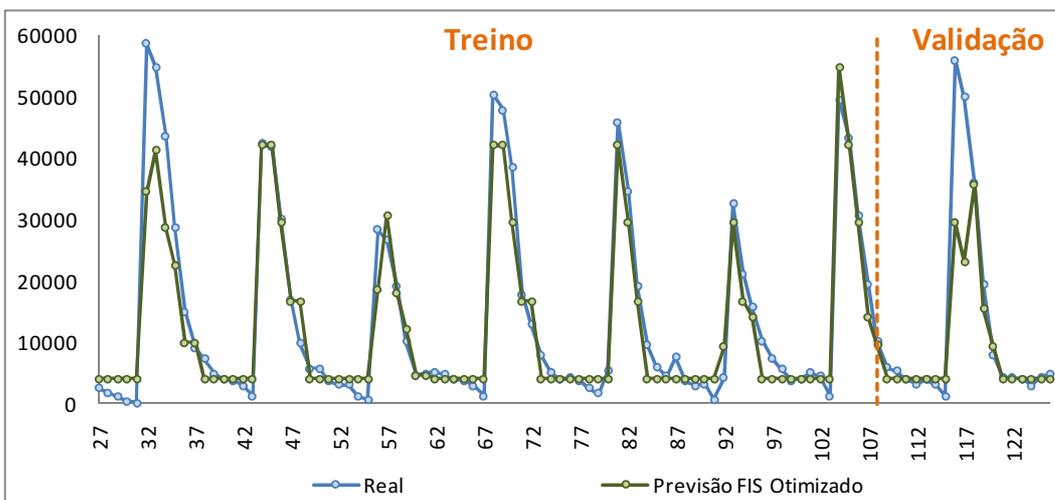


Figura 79 – NN3_103: Série Real x Série Prevista (FIS Otimizado)

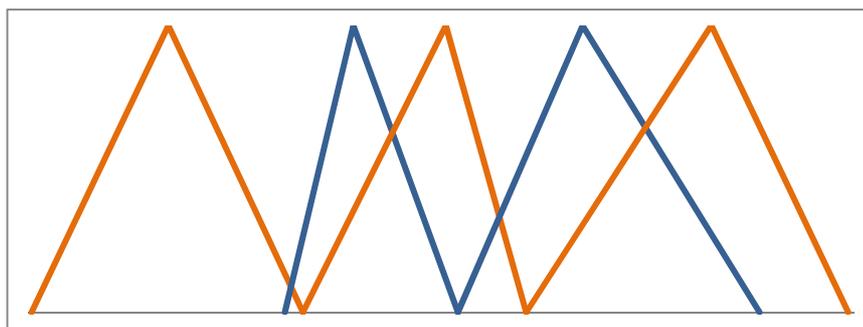


Figura 80 – NN3_103: Conjuntos Fuzzy do FIS Otimizado

A Figura 81 compara graficamente a série real, a previsão do FIS selecionado e a previsão do FIS otimizado no conjunto de teste.

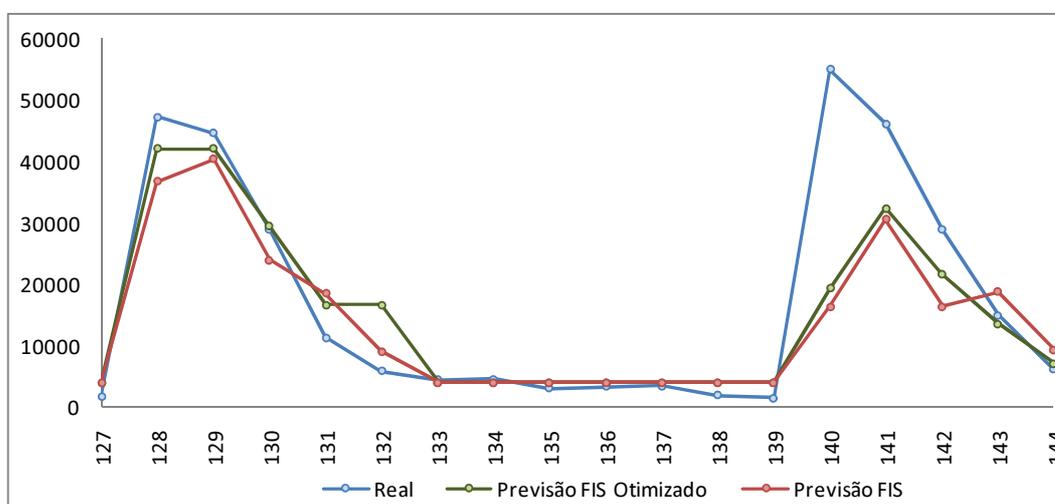


Figura 81 – NN3_103: Séries no conjunto de teste

Dessa forma, conforme exibido na Tabela 11, apesar da otimização por GA ter resultado em uma redução de 6,9% do MAPE nos conjuntos de treino e validação, no conjunto de teste isso não se repetiu, havendo até um aumento do erro em 0,1%.

	FIS Selecionado	FIS Otimizado	Varição %	Diferença
Treino	121,25%	113,12%	-6,7%	-8,13%
Validação	35,21%	31,85%	-9,5%	-3,36%
Treino + Validação	105,77%	98,50%	-6,9%	-7,27%
Teste	49,03%	49,07%	0,1%	+0,04%

Tabela 11 – NN3_103: Erro FIS Selecionado x Erro FIS Otimizado

5.5.4. Série NN3_104

As precisões obtidas nas 15 configurações que apresentaram melhor desempenho estão representadas na Tabela 12.

Config	Multi Step	# Conjuntos	Tamanho Janela	MAPE Validação	Capacidade de Previsão
5	Não	3	9	9.92%	100.0%
7	Não	3	12	10.01%	100.0%
8	Sim	3	12	10.13%	100.0%
19	Não	7	6	12.66%	88.2%
16	Sim	5	12	13.25%	100.0%
11	Não	5	6	14.29%	100.0%
15	Não	5	12	14.59%	100.0%
13	Não	5	9	14.84%	100.0%
3	Não	3	6	15.45%	100.0%
6	Sim	3	9	15.56%	100.0%
14	Sim	5	9	15.74%	100.0%
28	Sim	9	6	18.53%	94.1%
9	Não	5	3	18.93%	100.0%
36	Sim	11	6	21.41%	94.1%
68	Sim	19	6	22.01%	94.1%

Tabela 12 – NN3_104: Desempenho das melhores 15 configurações

Como pode ser observado, a configuração que apresentou o menor MAPE no conjunto de validação foi a Configuração #5, cujas previsões resultantes podem ser observadas na Figura 82.

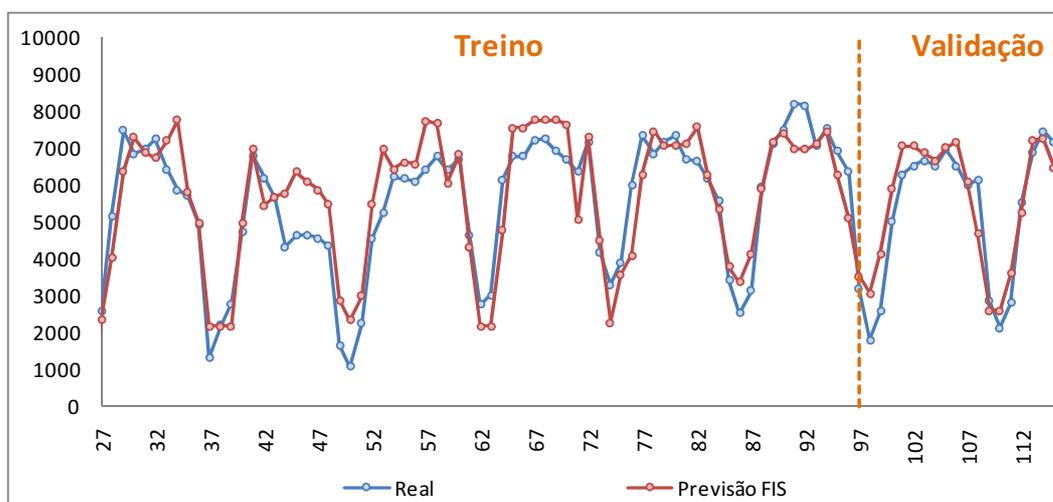


Figura 82 – NN3_104: Série Real x Série Prevista (FIS Selecionado)

Os três conjuntos que compõem a variável fuzzy do FIS selecionado estão representados na Figura 83.

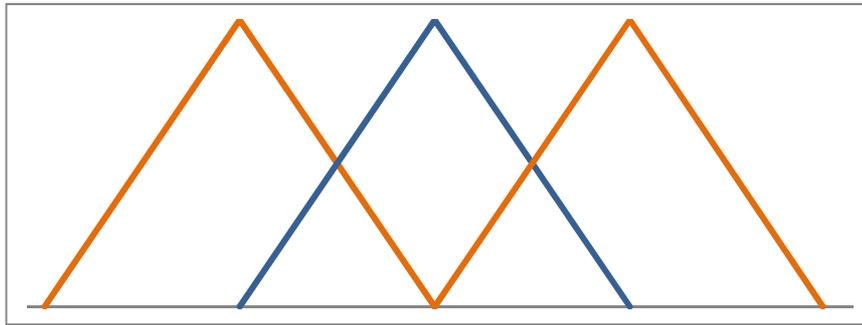


Figura 83 – NN3_104: Conjuntos Fuzzy do FIS Selecionado

Com a otimização dos parâmetros dos conjuntos, a nova série prevista apresentou uma aproximação maior aos dados reais, conforme pode ser visto na Figura 84.

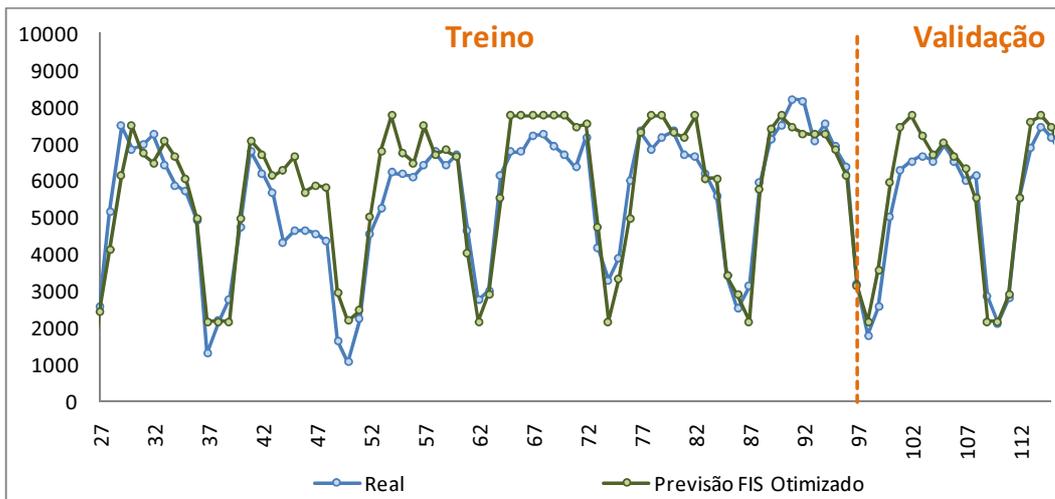


Figura 84 – NN3_104: Série Real x Série Prevista (FIS Otimizado)

Essa nova previsão foi resultado do ajuste nos parâmetros dos conjuntos fuzzy, conforme Figura 85.

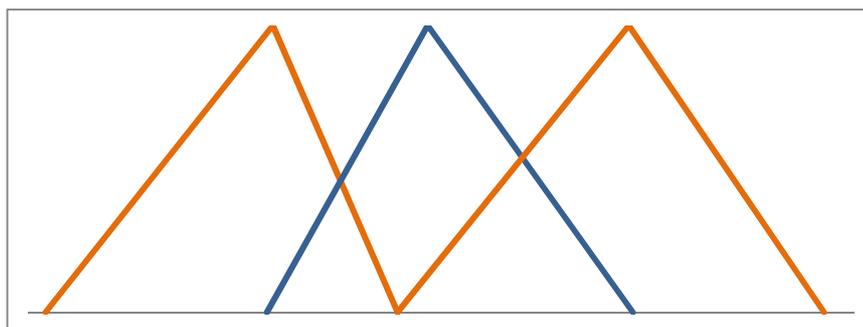


Figura 85 – NN3_104: Conjuntos Fuzzy do FIS Otimizado

Diferentemente do que ocorreu na série NN3_103, pode-se observar pela Figura 86 que na série NN3_104 o comportamento da série prevista pelo FIS otimizado nos conjuntos de treino e de validação se repetiu no conjunto de teste, ou seja, houve uma redução dos desvios frente à série real.

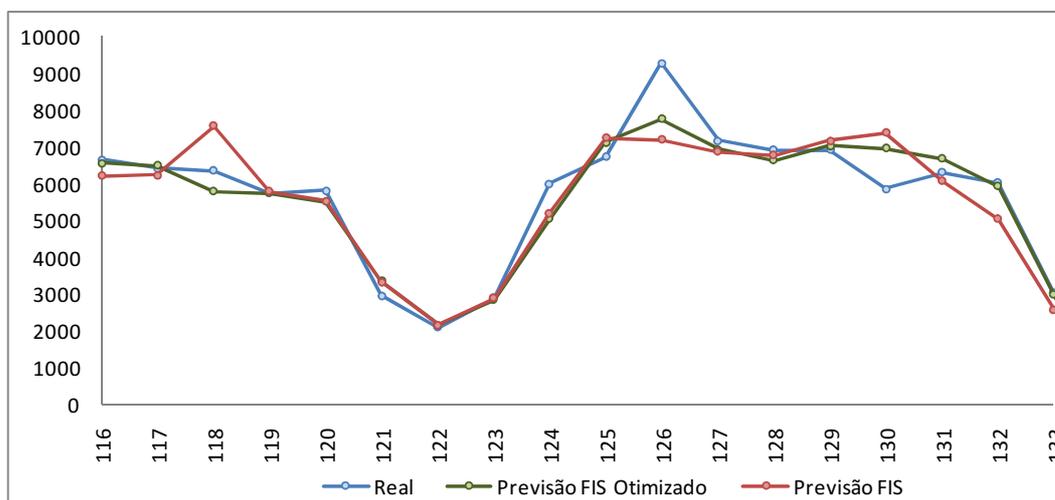


Figura 86 – NN3_104: Séries no conjunto de teste

Assim sendo, a redução de 14,5% do MAPE nos conjuntos de treino e validação gerada pela otimização por GA, levou a um erro 31,3% menor no conjunto de teste, conforme mostrado na Tabela 13.

	FIS Selecionado	FIS Otimizado	Variação %	Diferença
Treino	17,69%	15,26%	-13,7%	-2,43%
Validação	9,92%	7,94%	-20,0%	-1,98%
Treino + Validação	16,23%	13,88%	-14,5%	-2,35%
Teste	9,28%	6,38%	-31,3%	-2,90%

Tabela 13 – NN3_104: Erro FIS Selecionado x Erro FIS Otimizado

De acordo com os valores exibidos na Tabela 14, é possível concluir que se pode rejeitar a hipótese H_0 com nível de significância de até 0,5%. Assim, é correto considerar que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS otimizado é realmente menor que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS selecionado.

observações	107
graus de liberdade	106
t calculado	2,6517
t crítico uni-caudal (alfa = 10%)	1,2896
valor-p uni-caudal	0,5%

Tabela 14 – NN3_104: Teste de hipótese para médias dos erros

5.5.5. Série NN3_105

Conforme dito no item 5.3, a série NN3_105 passou por um tratamento de dados com objetivo de se retirar a tendência. Os procedimentos foram executados aplicando-se a ferramenta na série tratada, porém os resultados finais (séries previstas e erros) mostrados aqui foram calculados após a recomposição da tendência, pelo método descrito também no item 5.3.

Como pode ser observado na Tabela 15, a configuração que apresentou o menor MAPE no conjunto de validação foi a Configuração #16, com previsão por multistep, janela de 12 meses e 5 conjuntos fuzzy.

Config	Multi Step	# Conjuntos	Tamanho Janela	MAPE Validação	Capacidade de Previsão
16	Sim	5	12	1.71%	100.0%
7	Não	3	12	1.73%	100.0%
15	Não	5	12	1.77%	100.0%
36	Sim	11	6	1.81%	100.0%
13	Não	5	9	1.94%	100.0%
28	Sim	9	6	1.97%	100.0%
12	Sim	5	6	2.02%	100.0%
5	Não	3	9	2.09%	100.0%
14	Sim	5	9	2.09%	100.0%
20	Sim	7	6	2.09%	100.0%
8	Sim	3	12	2.25%	100.0%
11	Não	5	6	2.29%	100.0%
6	Sim	3	9	2.36%	100.0%
19	Não	7	6	2.41%	88.9%
41	Não	13	3	2.46%	100.0%

Tabela 15 – NN3_105: Desempenho das melhores 15 configurações

O gráfico da Figura 87 compara a série real com a série prevista pela configuração #16, enquanto que a Figura 88 apresenta o formato dos cinco conjuntos fuzzy considerados.

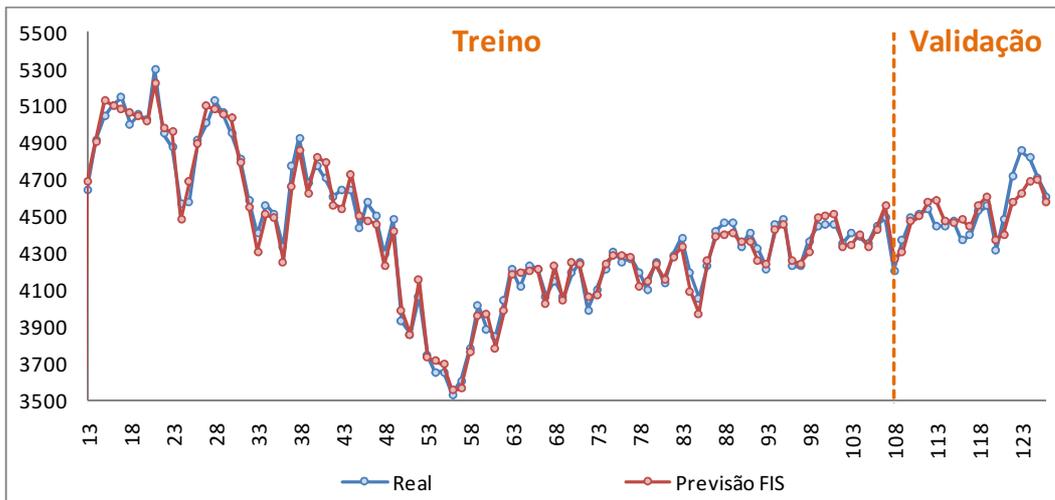


Figura 87 – NN3_105: Série Real x Série Prevista (FIS Selecionado)

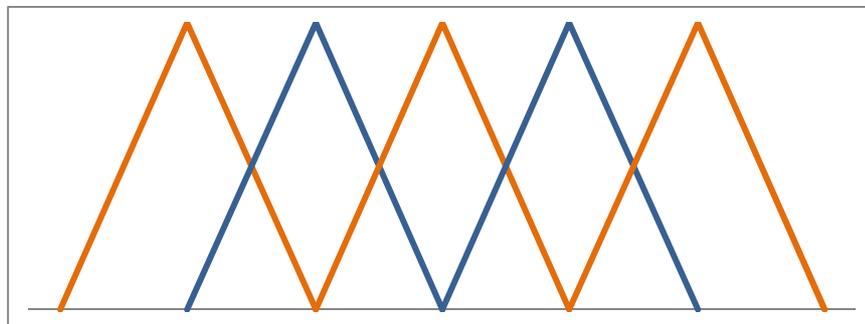


Figura 88 – NN3_105: Conjuntos Fuzzy do FIS Selecionado

Após a otimização, os conjuntos fuzzy foram significativamente modificados (Figura 90). No entanto, a série prevista pelo FIS otimizado não apresentou grandes variações quando comparada à série prevista pelo FIS selecionado (Figura 90 e Figura 91).



Figura 89 – NN3_105: Série Real x Série Prevista (FIS Otimizado)

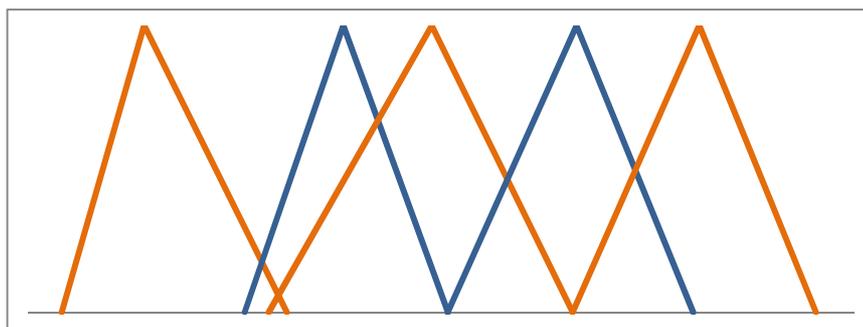


Figura 90 – NN3_105: Conjuntos Fuzzy do FIS Otimizado

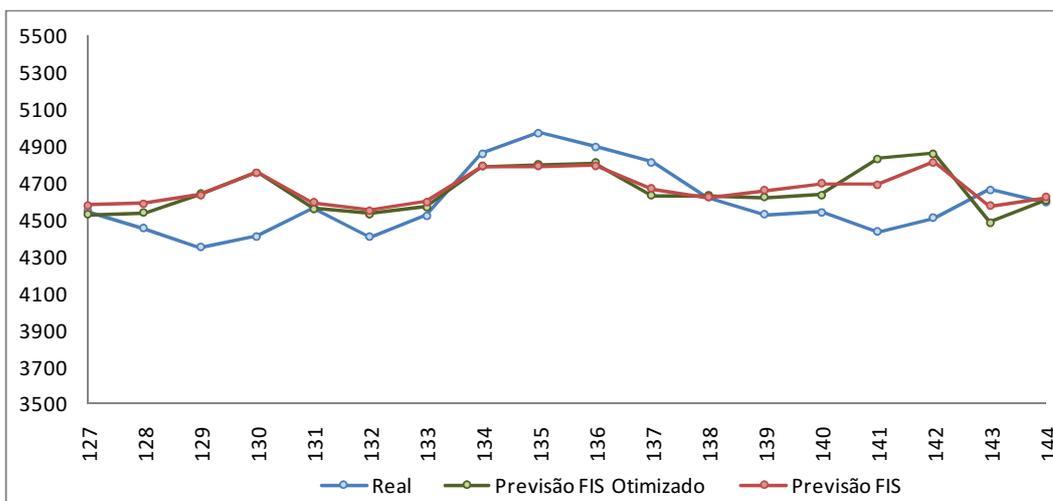


Figura 91 – NN3_105: Séries no conjunto de teste

A otimização por GA resultou em uma redução de 6,5% do MAPE nos conjuntos de treino e validação, conforme Tabela 16. No entanto essa redução não foi repetida no conjunto de teste, no qual houve uma redução de apenas 1,6%.

	FIS Selecionado	FIS Otimizado	Variação %	Diferença
Treino	1,15%	1,08%	-6,1%	-0,07%
Validação	1,71%	1,53%	-10,5%	-0,18%
Treino + Validação	1,24%	1,16%	-6,5%	-0,08%
Teste	3,14%	3,09%	-1,6%	-0,05%

Tabela 16 – NN3_105: Erro FIS Selecionado x Erro FIS Otimizado

Os resultados do teste de hipótese, mostrados na Tabela 17, permitem concluir que se pode rejeitar a hipótese H0 com nível de significância de até

6,2%. Assim, pode-se considerar que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS otimizado é realmente menor que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS selecionado.

observações	132
graus de liberdade	131
t calculado	1,5506
t crítico uni-caudal (alfa = 10%)	1,2880
valor-p uni-caudal	6,2%

Tabela 17 – NN3_105: Teste de hipótese para médias dos erros

5.5.6. Série NN3_106

As precisões obtidas nas 15 configurações que apresentaram melhor desempenho estão representadas na Tabela 18.

Config	Multi Step	# Conjuntos	Tamanho Janela	MAPE Validação	Capacidade de Previsão
3	Não	3	6	6.25%	100.0%
7	Não	3	12	6.48%	100.0%
4	Sim	3	6	6.76%	100.0%
2	Sim	3	3	6.92%	100.0%
5	Não	3	9	7.11%	100.0%
17	Não	7	3	7.41%	100.0%
12	Sim	5	6	7.68%	100.0%
6	Sim	3	9	7.84%	100.0%
8	Sim	3	12	7.88%	100.0%
9	Não	5	3	7.91%	100.0%
25	Não	9	3	8.23%	100.0%
26	Sim	9	3	9.45%	100.0%
18	Sim	7	3	9.62%	100.0%
1	Não	3	3	9.65%	100.0%
66	Sim	19	3	10.76%	100.0%

Tabela 18 – NN3_106: Desempenho das melhores 15 configurações

Como pode ser observado, a configuração que apresentou o menor MAPE no conjunto de validação foi a Configuração #3. A série prevista por essa configuração está representada na Figura 92.

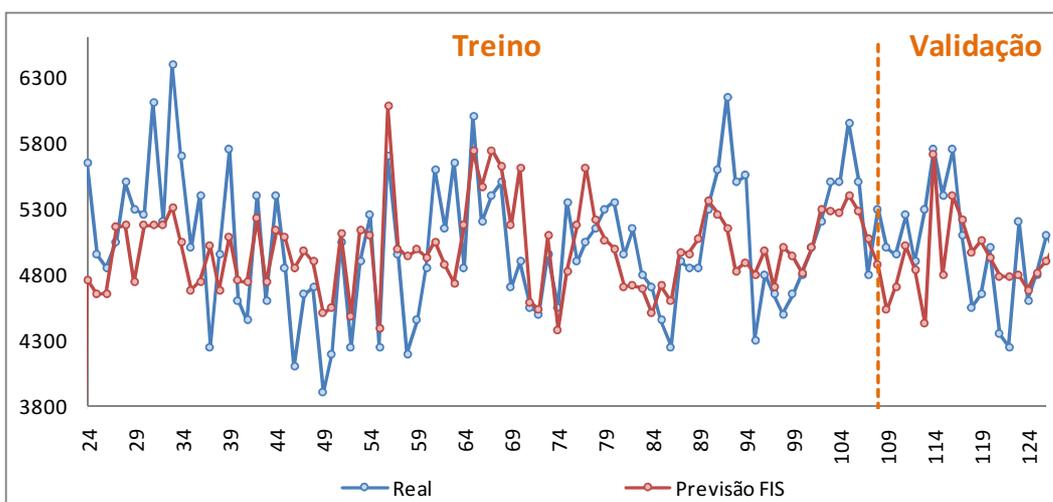


Figura 92 – NN3_106: Série Real x Série Prevista (FIS Selecionado)

Os três conjuntos que compõe a variável fuzzy do FIS selecionado estão representados na Figura 93.

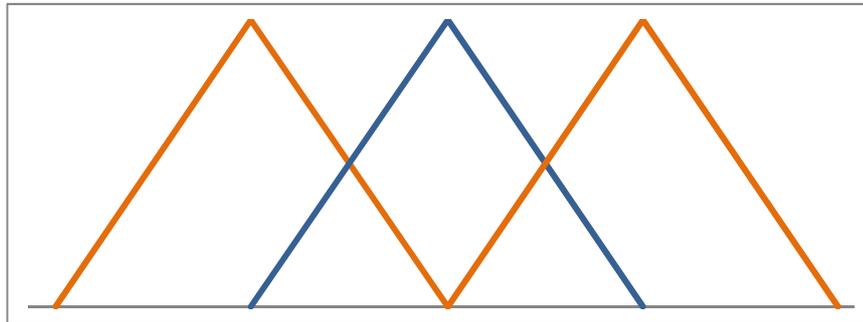


Figura 93 – NN3_106: Conjuntos Fuzzy do FIS Selecionado

Após executar o módulo de otimização por GA, a previsão obtida com o FIS otimizado foi sensivelmente modificada, tanto nos conjuntos de treino e validação (Figura 94), quanto no conjunto de teste (Figura 95).

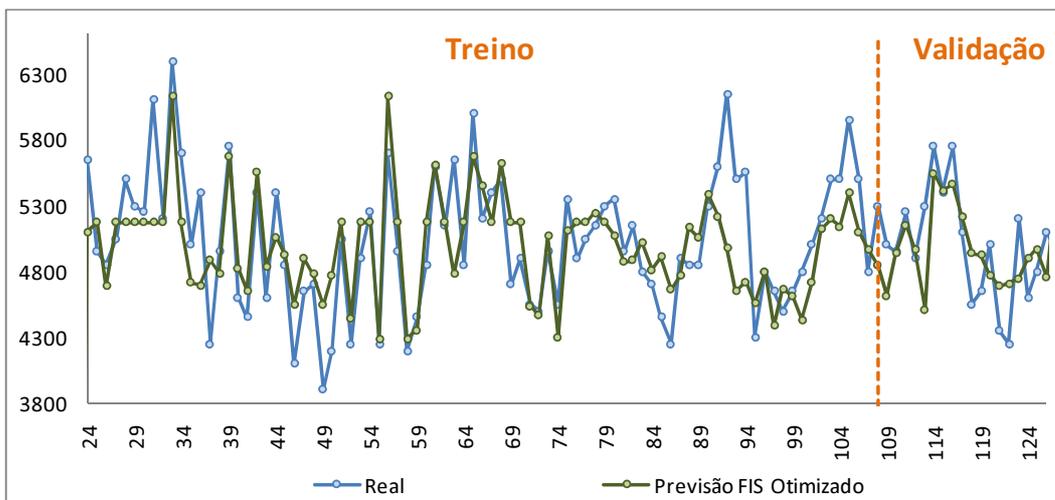


Figura 94 – NN3_106: Série Real x Série Prevista (FIS Otimizado)

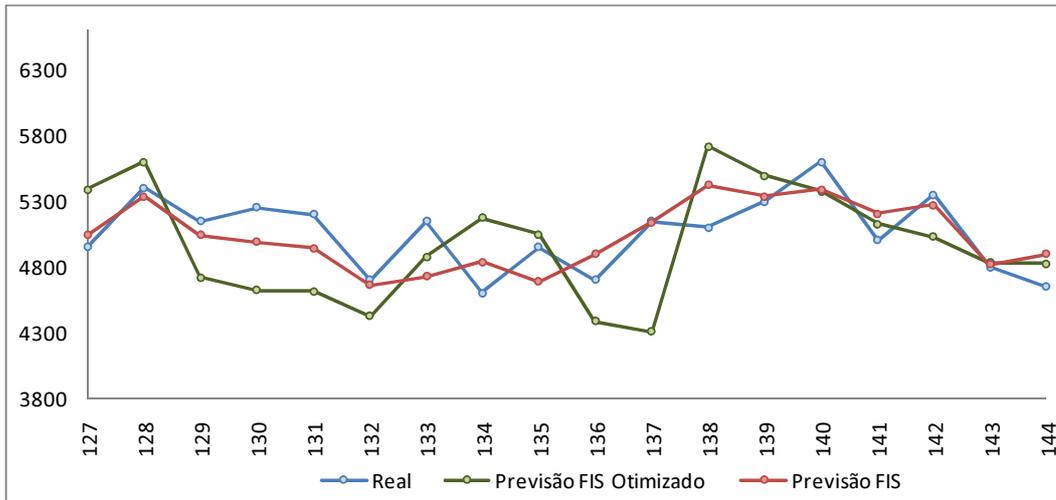


Figura 95 – NN3_106: Séries no conjunto de teste

O resultado do ajuste dos conjuntos pode ser visto na Figura 96.

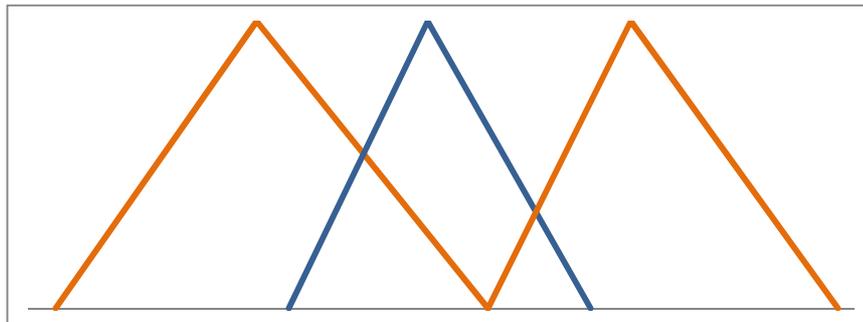


Figura 96 – NN3_106: Conjuntos Fuzzy do FIS Otimizado

As precisões resultantes das duas previsões podem ser comparadas na Tabela 19.

	FIS Selecionado	FIS Otimizado	Variação %	Diferença
Treino	6,69%	5,55%	-17,0%	-1,14%
Validação	6,25%	5,57%	-10,9%	-0,68%
Treino + Validação	6,62%	5,55%	-16,2%	-1,07%
Teste	3,39%	6,96%	105,3%	3,57%

Tabela 19 – NN3_106: Erro FIS Selecionado x Erro FIS Otimizado

Apesar da otimização ter resultado em uma redução de 16,2% do MAPE nos conjuntos de treino e validação, os ajustes nos parâmetros dos conjuntos fuzzy não contribuíram para uma maior exatidão das previsões no conjunto de teste, que piorou em 105,3%.

5.5.7. Série NN3_107

Conforme detalhado no item 6.3, a série NN3_107 foi pré-processada de forma a se retirar sua tendência. O FuzzyFuture foi aplicado na série tratada, porém os resultados finais (séries previstas e erros) mostrados nesta seção foram calculados após a recomposição da tendência, pelo método descrito também no item 6.3.

Para esta série, a configuração que apresentou o menor MAPE no conjunto de validação foi a Configuração #5, com previsão por singlestep, janela de 9 meses e 3 conjuntos fuzzy (Tabela 20).

Config	Multi Step	# Conjuntos	Tamanho Janela	MAPE Validação	Capacidade de Previsão
5	Não	3	9	3.35%	100.0%
7	Não	3	12	3.47%	100.0%
11	Não	5	6	3.54%	100.0%
17	Não	7	3	3.74%	88.9%
10	Sim	5	3	3.79%	100.0%
3	Não	3	6	4.05%	100.0%
18	Sim	7	3	4.23%	100.0%
1	Não	3	3	4.24%	100.0%
2	Sim	3	3	4.28%	100.0%
20	Sim	7	6	4.67%	100.0%
12	Sim	5	6	4.71%	100.0%
8	Sim	3	12	4.71%	100.0%
6	Sim	3	9	4.74%	100.0%
4	Sim	3	6	4.86%	100.0%
9	Não	5	3	4.90%	100.0%

Tabela 20 – NN3_107: Desempenho das melhores 15 configurações

A Figura 97 compara a série real com a série prevista pela configuração #5. Os três conjuntos fuzzy parametrizados nesta configuração são mostrados na Figura 98.

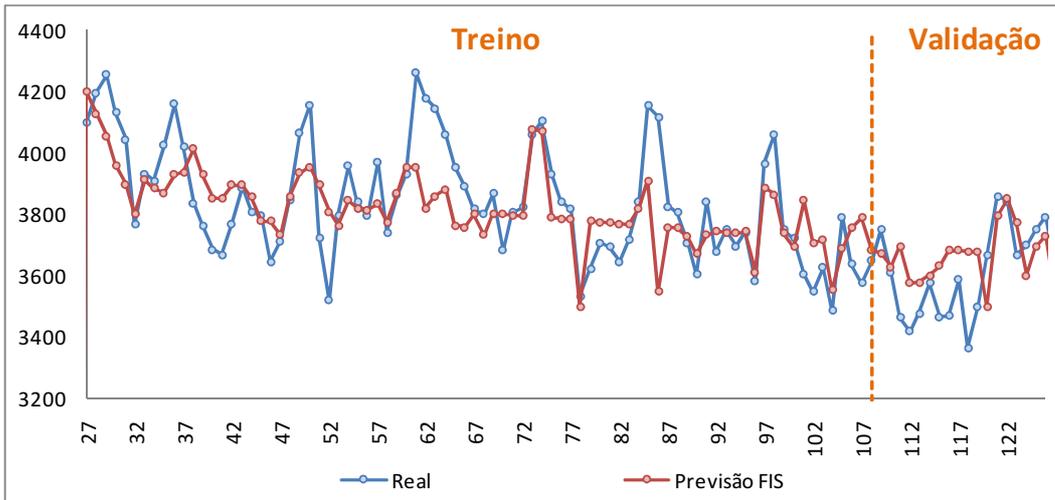


Figura 97 – NN3_107: Série Real x Série Prevista (FIS Selecionado)

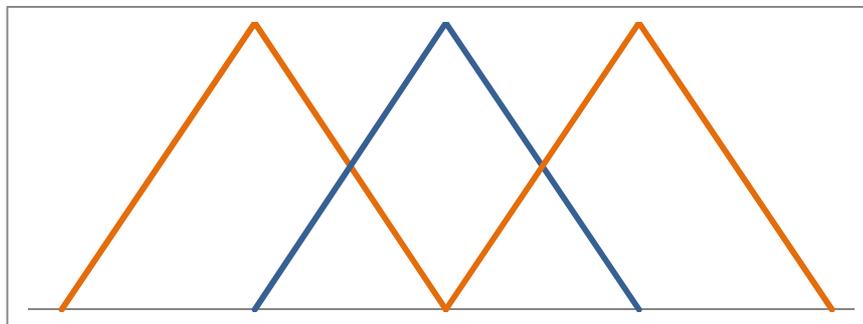


Figura 98 – NN3_107: Conjuntos Fuzzy do FIS Selecionado

Analisando visualmente a Figura 99 pode-se perceber que o FIS otimizado gerou previsões significativamente mais próximas aos dados reais em vários períodos.

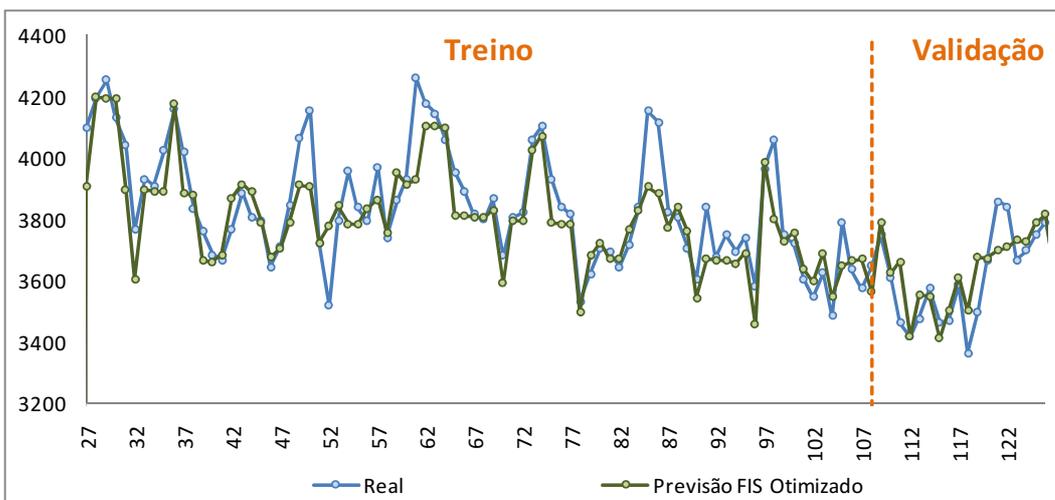


Figura 99 – NN3_107: Série Real x Série Prevista (FIS Otimizado)

Para isso, os parâmetros originais dos conjuntos fuzzy foram bastante modificados (Figura 100).

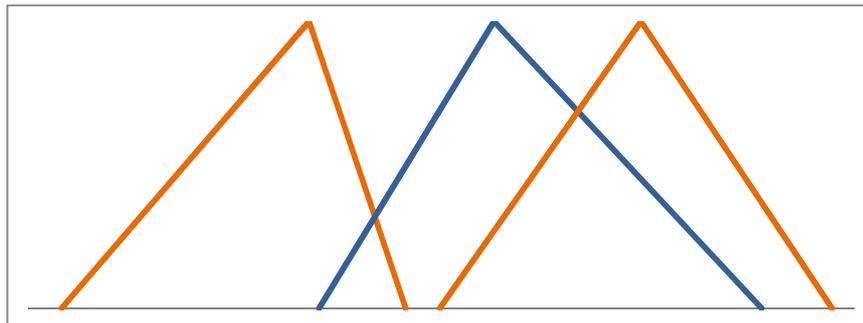


Figura 100 – NN3_107: Conjuntos Fuzzy do FIS Otimizado

No entanto, como pode ser visto na Figura 101, o comportamento identificado nos conjuntos de treino e validação não se repetiu no conjunto de teste, uma vez que os valores previstos pelo FIS otimizado para os últimos 18 períodos não ficaram tão próximos aos valores reais.

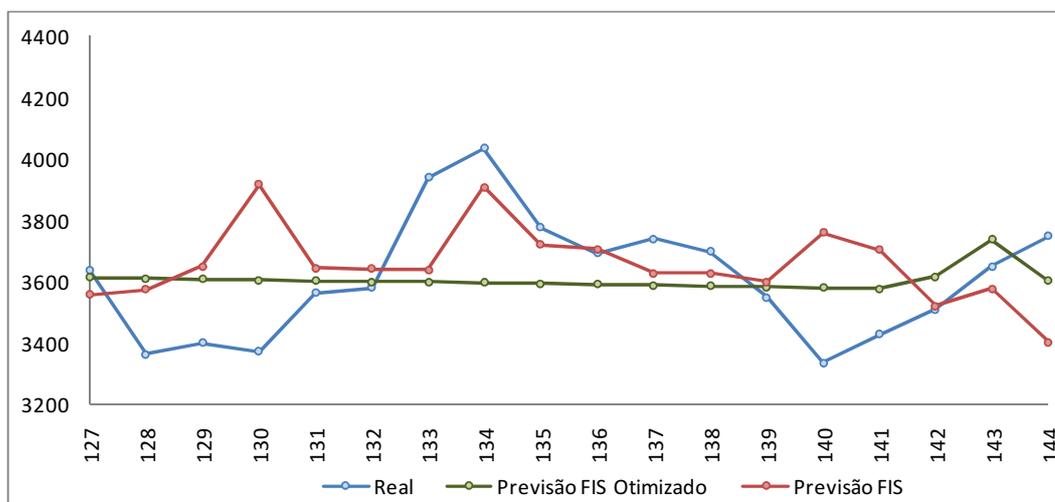


Figura 101 – NN3_107: Séries no conjunto de teste

Essa conclusão é ratificada pelos valores dos erros mostrados na Tabela 21. Enquanto que a otimização por GA resultou em uma redução de 31,9% do MAPE nos conjuntos de treino e validação, no conjunto de teste essa redução foi de apenas 9,3%.

	FIS Selecionado	FIS Otimizado	Variação %	Diferença
Treino	2,71%	1,92%	-29,2%	-0,79%
Validação	3,35%	1,92%	-42,7%	-1,43%
Treino + Validação	2,82%	1,92%	-31,9%	-0,90%
Teste	4,84%	4,39%	-9,3%	-0,45%

Tabela 21 – NN3_107: Erro FIS Selecionado x Erro FIS Otimizado

Os resultados do teste de hipótese, mostrados na Tabela 22, permitem concluir que se pode rejeitar a hipótese H0 com nível de significância de até 0,02%. Assim, pode-se considerar que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS otimizado é realmente menor que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS selecionado.

observações	118
graus de liberdade	117
t calculado	3,6353
t crítico uni-caudal (alfa = 10%)	1,2888
valor-p uni-caudal	0,02%

Tabela 22 – NN3_107: Teste de hipótese para médias dos erros

5.5.8. Série NN3_108

Como pode ser observado na Tabela 23, a configuração que apresentou o menor MAPE no conjunto de validação foi a Configuração #3.

Config	Multi Step	# Conjuntos	Tamanho Janela	MAPE Validação	Capacidade de Previsão
3	Não	3	6	13.79%	100.0%
10	Sim	5	3	15.66%	100.0%
2	Sim	3	3	15.74%	100.0%
90	Sim	25	3	16.87%	100.0%
6	Sim	3	9	17.16%	100.0%
5	Não	3	9	17.40%	100.0%
50	Sim	15	3	17.42%	100.0%
4	Sim	3	6	17.53%	100.0%
34	Sim	11	3	17.59%	100.0%
18	Sim	7	3	17.68%	100.0%
26	Sim	9	3	17.93%	100.0%
33	Não	11	3	18.55%	100.0%
13	Não	5	9	18.69%	100.0%
9	Não	5	3	18.79%	100.0%
12	Sim	5	6	18.88%	100.0%

Tabela 23 – NN3_108: Desempenho das melhores 15 configurações

A Figura 102 mostra a série prevista e a Figura 103 os conjuntos fuzzy parametrizados nesta configuração.

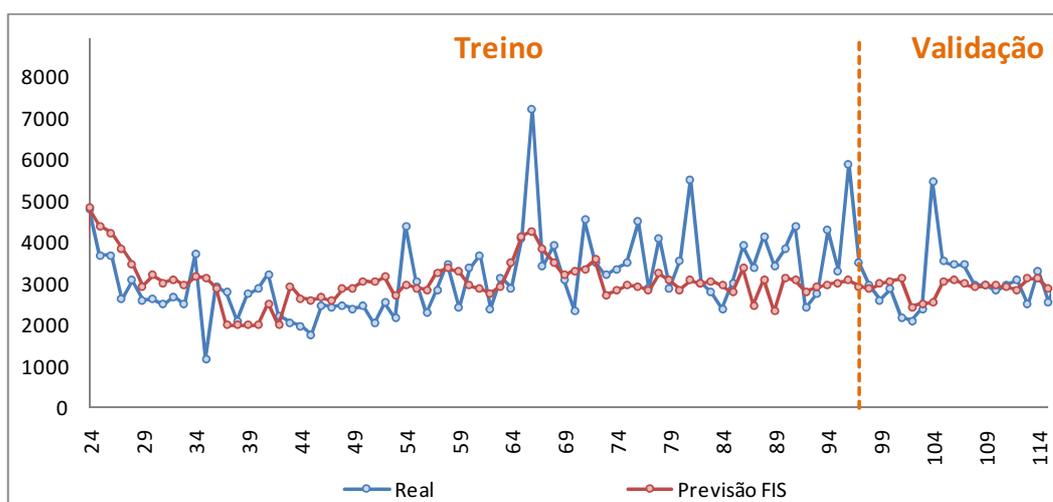


Figura 102 – NN3_108: Série Real x Série Prevista (FIS Selecionado)

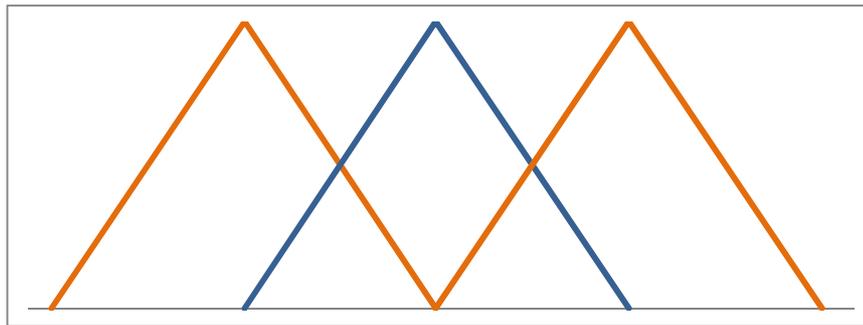


Figura 103 – NN3_108: Conjuntos Fuzzy do FIS Selecionado

Após executar o módulo de otimização por GA, a previsão obtida com o FIS otimizado foi levemente modificada (Figura 104). Os parâmetros ajustados dos conjuntos fuzzy, resultantes da otimização, estão representados na Figura 105.

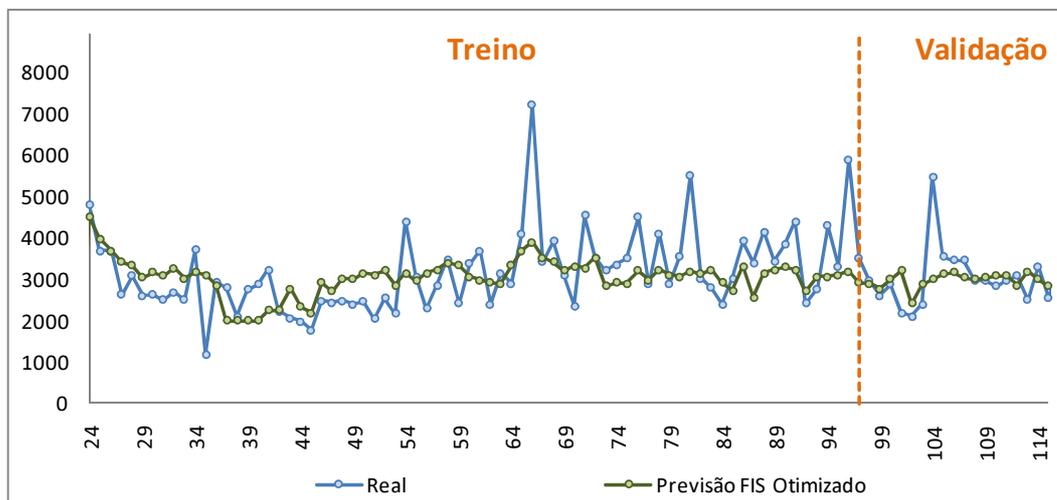


Figura 104 – NN3_108: Série Real x Série Prevista (FIS Otimizado)

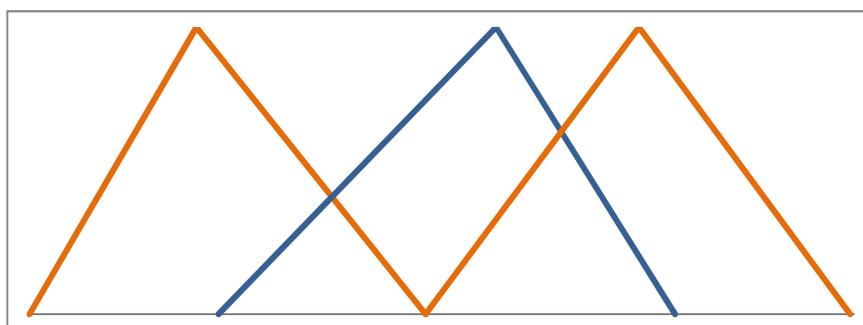


Figura 105 – NN3_108: Conjuntos Fuzzy do FIS Otimizado

A partir da Figura 106 pode-se notar que a série prevista pelo FIS otimizado ficou muito semelhante à série prevista pelo FIS selecionado no conjunto de teste.

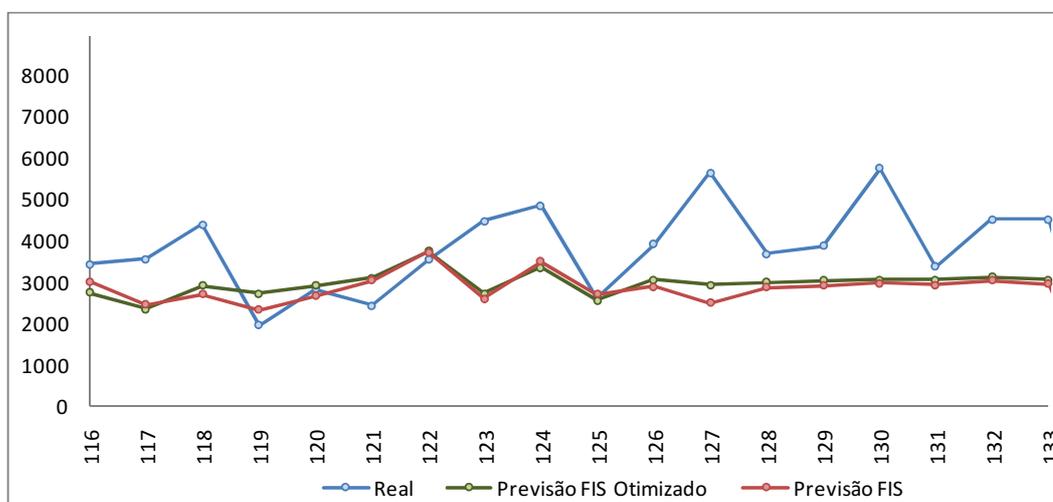


Figura 106 – NN3_108: Séries no conjunto de teste

Dessa forma, a otimização por GA resultou em uma redução de apenas 2,7% do MAPE no conjunto de teste (Tabela 24).

	FIS Selecionado	FIS Otimizado	Variação %	Diferença
Treino	21,32%	20,24%	-5,1%	-1,08%
Validação	13,79%	15,14%	9,8%	1,35%
Treino + Validação	19,94%	19,31%	-3,2%	-0,63%
Teste	26,84%	26,12%	-2,7%	-0,72%

Tabela 24 – NN3_108: Erro FIS Selecionado x Erro FIS Otimizado

No entanto, conforme pode ser observado na Tabela 25, a hipótese H_0 não pode ser rejeitada com nível de significância de 10%. Assim, não se pode afirmar que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS otimizado é realmente menor que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS selecionado.

observações	110
graus de liberdade	109
t calculado	1.0596
t crítico uni-caudal (alfa = 10%)	1.2894
valor-p uni-caudal	14.58%

Tabela 25 – NN3_108: Teste de hipótese para médias dos erros

5.5.9. Série NN3_109

A Tabela 26 mostra que, a configuração #66 foi a que apresentou o menor MAPE no conjunto de validação para a série NN3_109.

Config	Multi Step	# Conjuntos	Tamanho Janela	MAPE Validação	Capacidade de Previsão
66	Sim	19	3	3.48%	100.0%
16	Sim	5	12	3.76%	88.9%
4	Sim	3	6	4.30%	100.0%
14	Sim	5	9	4.32%	100.0%
20	Sim	7	6	4.79%	100.0%
26	Sim	9	3	5.02%	100.0%
18	Sim	7	3	5.07%	100.0%
42	Sim	13	3	5.30%	100.0%
74	Sim	21	3	5.36%	100.0%
82	Sim	23	3	6.31%	88.9%
41	Não	13	3	6.61%	88.9%
8	Sim	3	12	7.04%	100.0%
25	Não	9	3	7.43%	88.9%
12	Sim	5	6	7.45%	100.0%
34	Sim	11	3	7.58%	94.4%

Tabela 26 – NN3_109: Desempenho das melhores 15 configurações

O gráfico da Figura 107 compara a série real com a série prevista pela configuração #66.

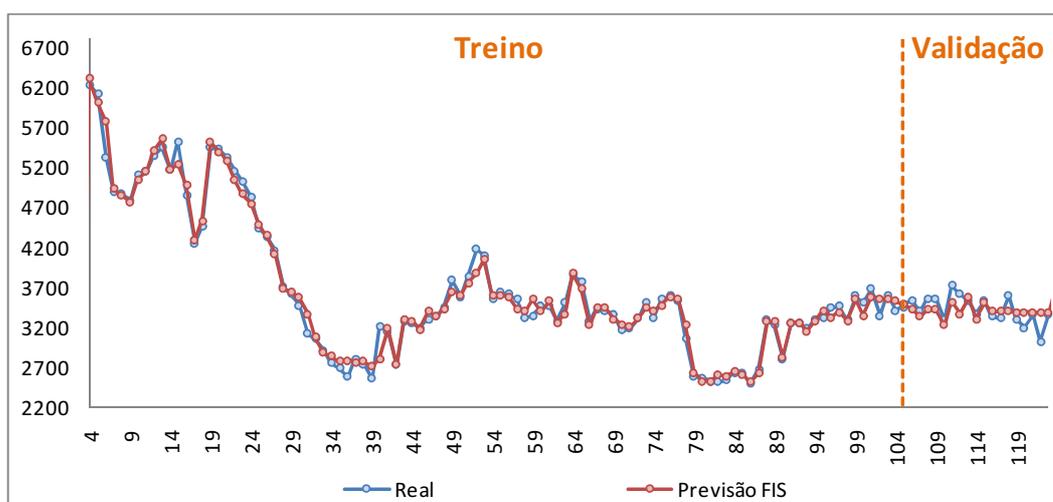


Figura 107 – NN3_109: Série Real x Série Prevista (FIS Selecionado)

Na Figura 108 está a representação dos conjuntos que compõe a variável fuzzy do FIS selecionado.

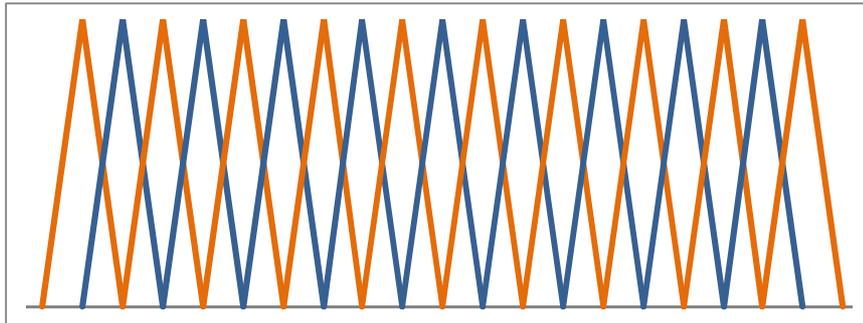


Figura 108 – NN3_109: Conjuntos Fuzzy do FIS Selecionado

Após executar o módulo de otimização por GA, a previsão obtida com o FIS otimizado foi sensivelmente modificada, conforme Figura 109. A modificação nos parâmetros dos conjuntos fuzzy pode ser observada na Figura 110.

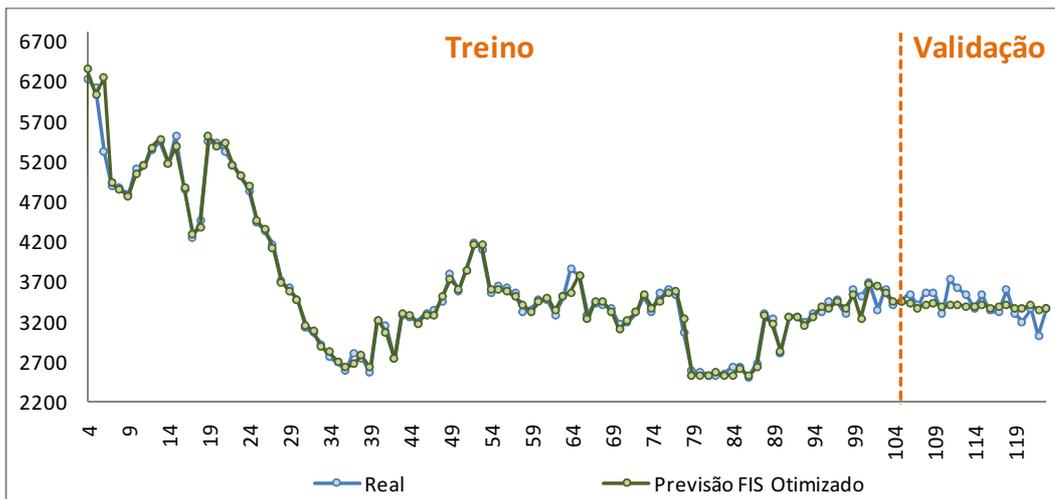


Figura 109 – NN3_109: Série Real x Série Prevista (FIS Otimizado)

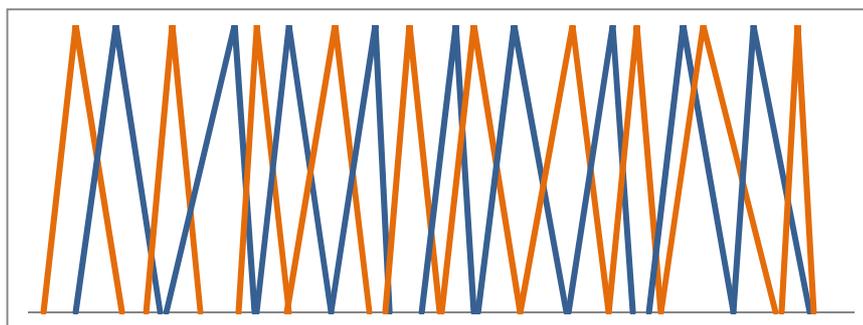


Figura 110 – NN3_109: Conjuntos Fuzzy do FIS Otimizado

Na Figura 111 a série real, a previsão do FIS selecionado e a previsão do FIS otimizado são comparadas no conjunto de teste.

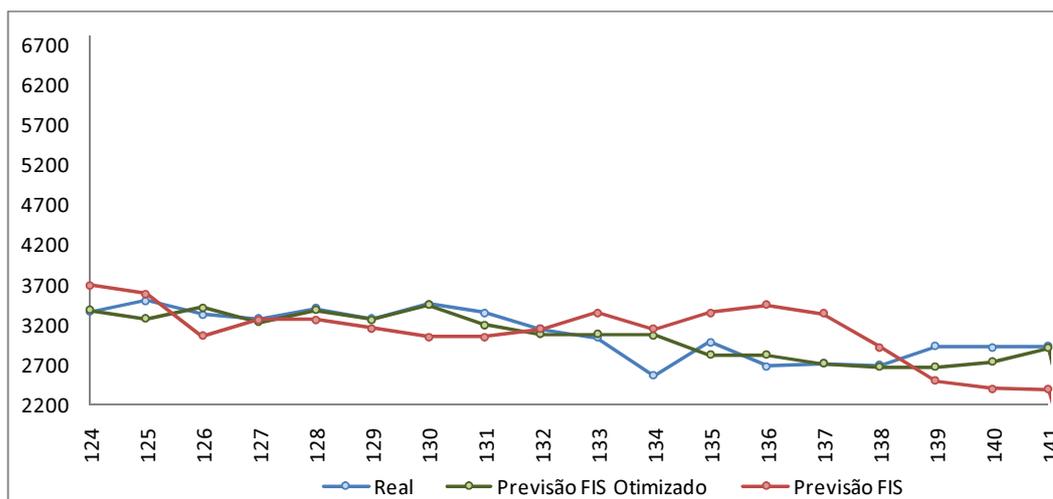


Figura 111 – NN3_109: Séries no conjunto de teste

A otimização por GA resultou em uma redução de 18,3% do MAPE nos conjuntos de treino e validação, levando a um erro 66,9% menor no conjunto de teste (Tabela 27).

	FIS Selecionado	FIS Otimizado	Variação %	Diferença
Treino	2,02%	1,52%	-24,8%	-0,50%
Validação	3,48%	3,54%	1,7%	0,06%
Treino + Validação	2,24%	1,83%	-18,3%	-0,41%
Teste	11,43%	3,78%	-66,9%	-7,65%

Tabela 27 – NN3_109: Erro FIS Selecionado x Erro FIS Otimizado

Os resultados do teste de hipótese, mostrados na Tabela 28, permitem concluir que se pode rejeitar a hipótese H_0 com nível de significância de até 0,01%. Assim, pode-se considerar que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS otimizado é realmente menor que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS selecionado.

observações	138
graus de liberdade	137
t calculado	3.7786
t crítico uni-caudal (alfa = 10%)	1.2878
valor-p uni-caudal	0.01%

Tabela 28 – NN3_109: Teste de hipótese para médias dos erros

5.5.10. Série NN3_110

Conforme a Tabela 29, a configuração que apresentou o menor MAPE no conjunto de validação foi a Configuração #33, com previsão por singlestep, janela de 3 meses e 11 conjuntos fuzzy.

Config	Multi Step	# Conjuntos	Tamanho Janela	MAPE Validação	Capacidade de Previsão
33	Não	11	3	18.18%	94.4%
1	Não	3	3	24.79%	100.0%
8	Sim	3	12	24.79%	94.4%
7	Não	3	12	24.79%	94.4%
5	Não	3	9	24.79%	100.0%
3	Não	3	6	24.79%	100.0%
2	Sim	3	3	24.79%	100.0%
6	Sim	3	9	24.79%	100.0%
4	Sim	3	6	24.79%	100.0%
25	Não	9	3	25.56%	94.4%
35	Não	11	6	31.22%	94.4%
29	Não	9	9	34.20%	94.4%
15	Não	5	12	36.28%	88.9%
19	Não	7	6	37.68%	94.4%
13	Não	5	9	38.85%	94.4%

Tabela 29 – NN3_110: Desempenho das melhores 15 configurações

O gráfico da Figura 112 compara a série real com a série prevista pela configuração #33:

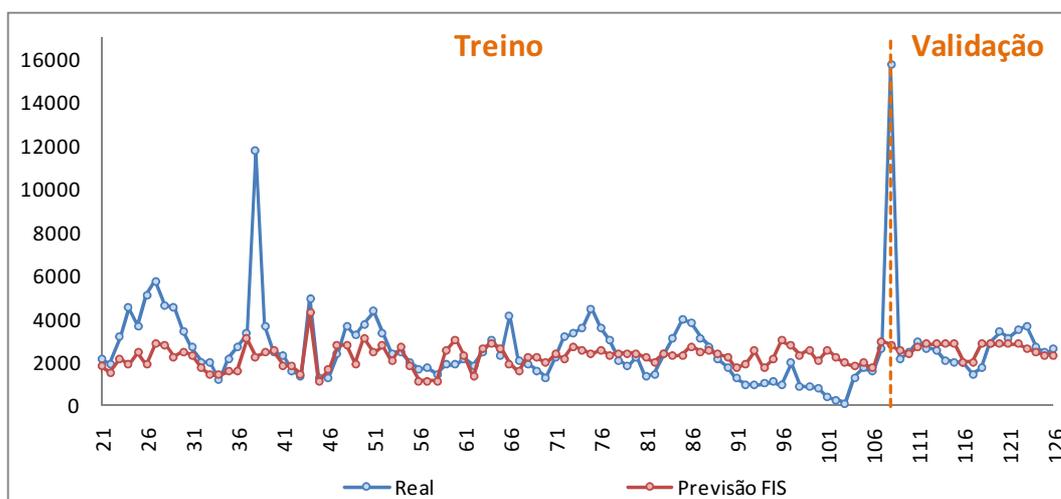


Figura 112 – NN3_110: Série Real x Série Prevista (FIS Selecionado)

Os onze conjuntos fuzzy do FIS selecionado estão representados na Figura 113.

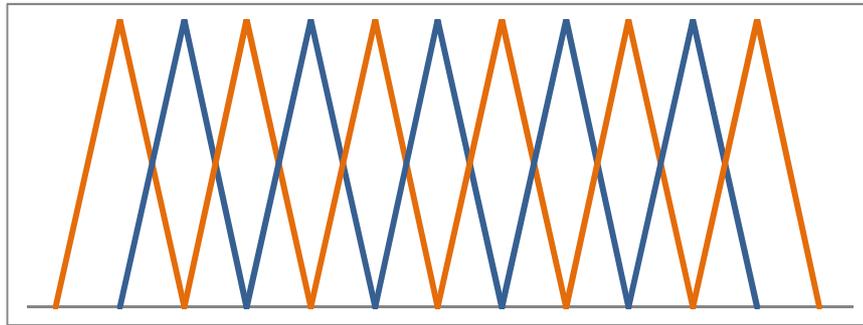


Figura 113 – NN3_110: Conjuntos Fuzzy do FIS Selecionado

Após executar o módulo de otimização por GA, a previsão obtida com o FIS otimizado foi sensivelmente modificada (Figura 114).

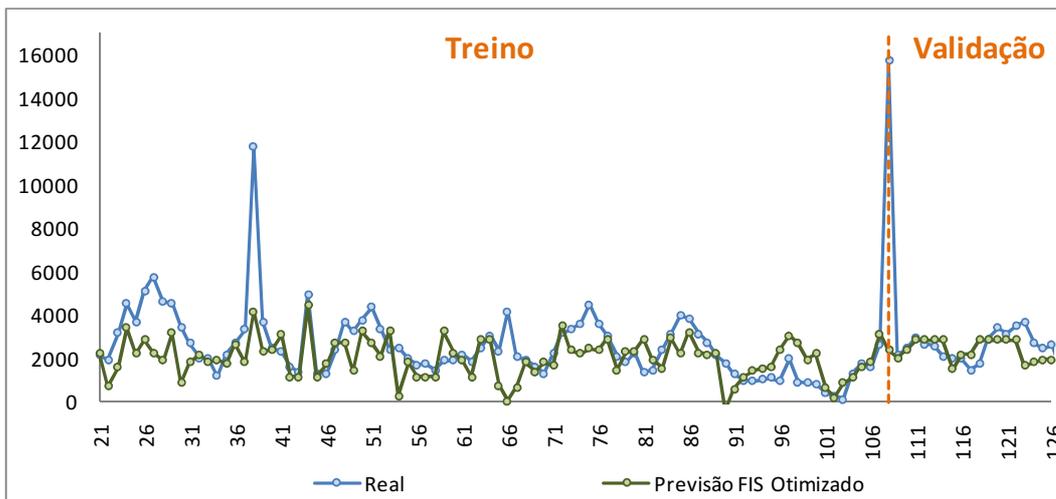


Figura 114 – NN3_110: Série Real x Série Prevista (FIS Otimizado)

Os parâmetros dos conjuntos fuzzy sofreram significativas alterações (Figura 115).

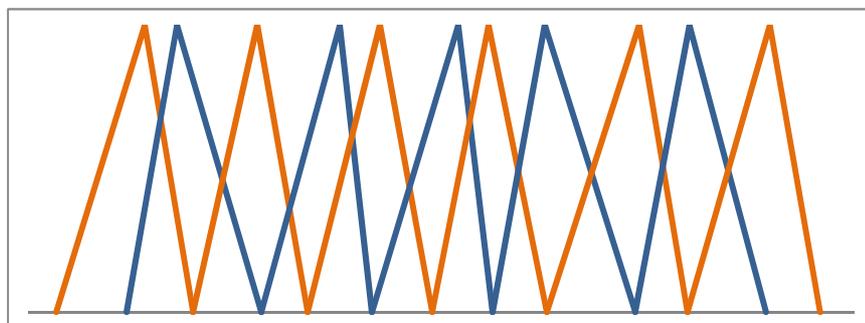


Figura 115 – NN3_110: Conjuntos Fuzzy do FIS Otimizado

Na Figura 116 são exibidas a série real, a previsão do FIS selecionado e a previsão do FIS otimizado no conjunto de teste.

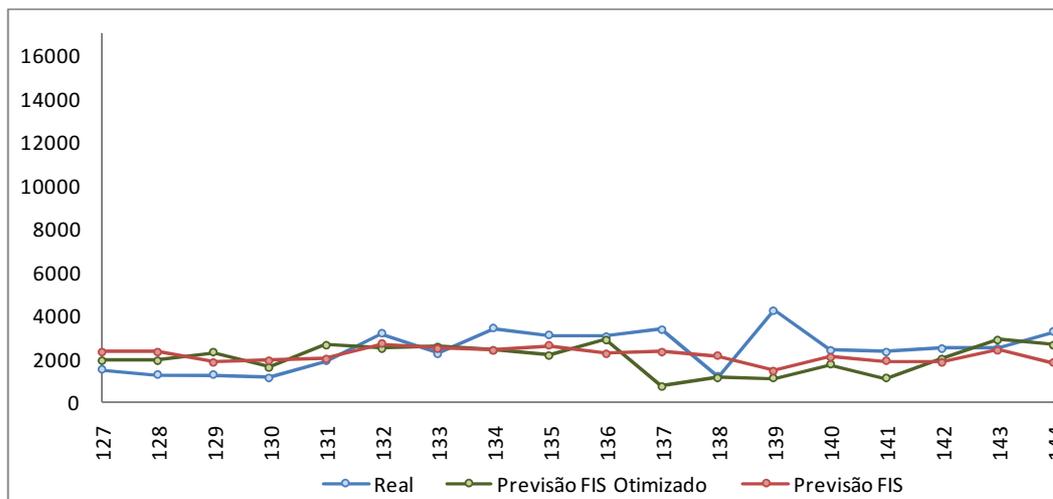


Figura 116 – NN3_110: Séries no conjunto de teste

A otimização por GA resultou em uma redução de 29,4% do MAPE nos conjuntos de treino e validação. No entanto, o erro no conjunto de teste quase não sofreu alteração, sendo reduzido em apenas 0,4% (Tabela 30).

	FIS Selecionado	FIS Otimizado	Variação %	Diferença
Treino	71,88%	48,86%	-32,0%	-23,02%
Validação	18,18%	21,90%	20,5%	3,72%
Treino + Validação	62,76%	44,28%	-29,4%	-18,48%
Teste	35,83%	35,70%	-0,4%	-0,13%

Tabela 30 – NN3_110: Erro FIS Selecionado x Erro FIS Otimizado

Os resultados do teste de hipótese, mostrados na Tabela 31, permitem concluir que se pode rejeitar a hipótese H_0 com nível de significância de até 7,9%. Assim, pode-se considerar que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS otimizado é realmente menor que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS selecionado.

observações	124
graus de liberdade	123
t calculado	1,4211
t crítico uni-caudal (alfa = 10%)	1,2885
valor-p uni-caudal	7,9%

Tabela 31 – NN3_110: Teste de hipótese para médias dos erros

5.5.11. Série NN3_111

As precisões obtidas nas 15 configurações que apresentaram melhor desempenho estão representadas na Tabela 32.

Config	Multi Step	# Conjuntos	Tamanho Janela	MAPE Validação	Capacidade de Previsão
20	Sim	7	6	16.63%	100.0%
90	Sim	25	3	19.26%	88.9%
8	Sim	3	12	20.13%	100.0%
25	Não	9	3	22.69%	100.0%
1	Não	3	3	22.81%	100.0%
3	Não	3	6	23.30%	100.0%
5	Não	3	9	24.77%	100.0%
33	Não	11	3	27.19%	88.9%
4	Sim	3	6	27.42%	100.0%
9	Não	5	3	27.46%	94.4%
17	Não	7	3	31.83%	100.0%
6	Sim	3	9	32.43%	100.0%
74	Sim	21	3	32.57%	88.9%
18	Sim	7	3	32.70%	100.0%
26	Sim	9	3	33.01%	100.0%

Tabela 32 – NN3_111: Desempenho das melhores 15 configurações

A configuração que apresentou o menor MAPE no conjunto de validação foi a Configuração #20. A Figura 117 e a Figura 118 mostram a série prevista gerada por essa configuração e os seus conjuntos fuzzy, respectivamente.

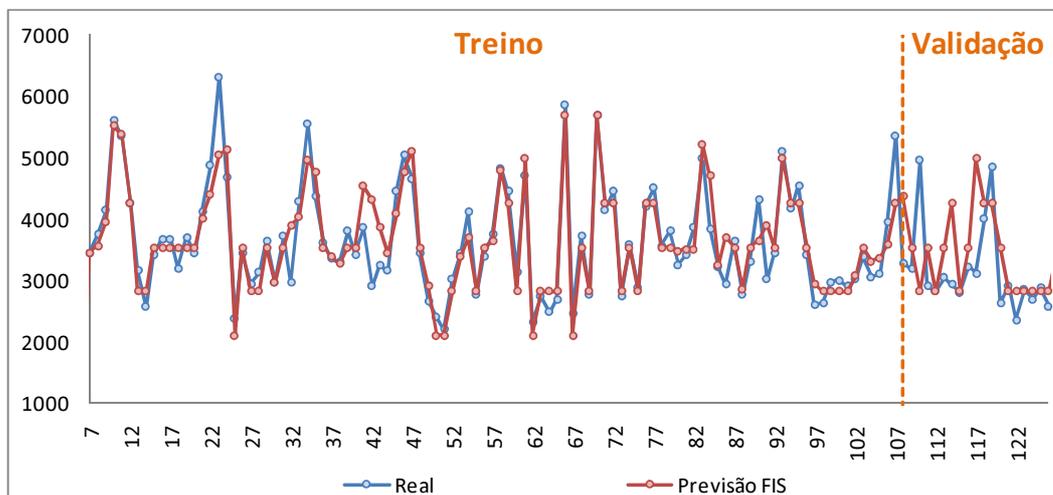


Figura 117 – NN3_111: Série Real x Série Prevista (FIS Seleccionado)

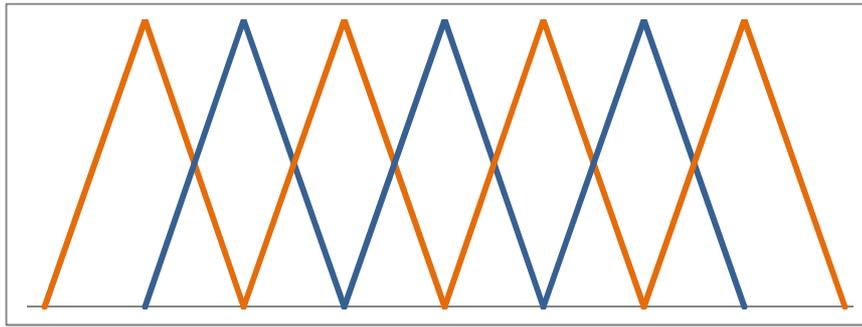


Figura 118 – NN3_111: Conjuntos Fuzzy do FIS Seleccionado

Pela Figura 119 pode-se notar que as previsões calculadas pelo FIS otimizado estão visivelmente mais próximas aos dados reais em diversos períodos.

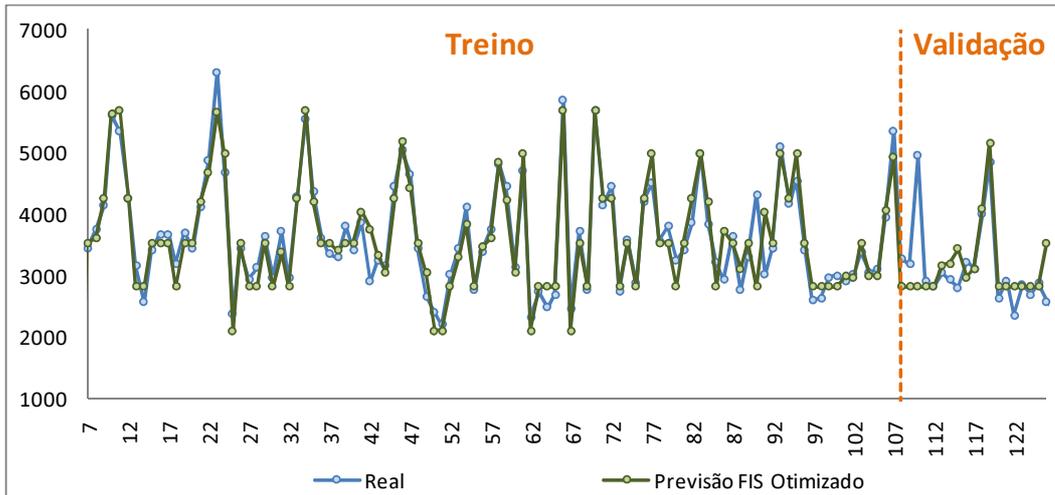


Figura 119 – NN3_111: Série Real x Série Prevista (FIS Otimizado)

Os ajustes realizados nos parâmetros nos conjuntos fuzzy para se obter esse resultado são mostrados na Figura 120.

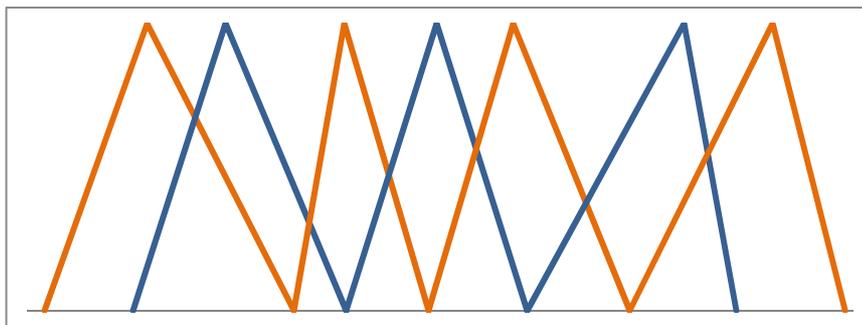


Figura 120 – NN3_111: Conjuntos Fuzzy do FIS Otimizado

No conjunto de teste, verifica-se o mesmo comportamento identificado nos conjuntos de treino e validação, ou seja, a série prevista pelo FIS otimizado ficou mais próxima à série real na maioria dos pontos (Figura 121).

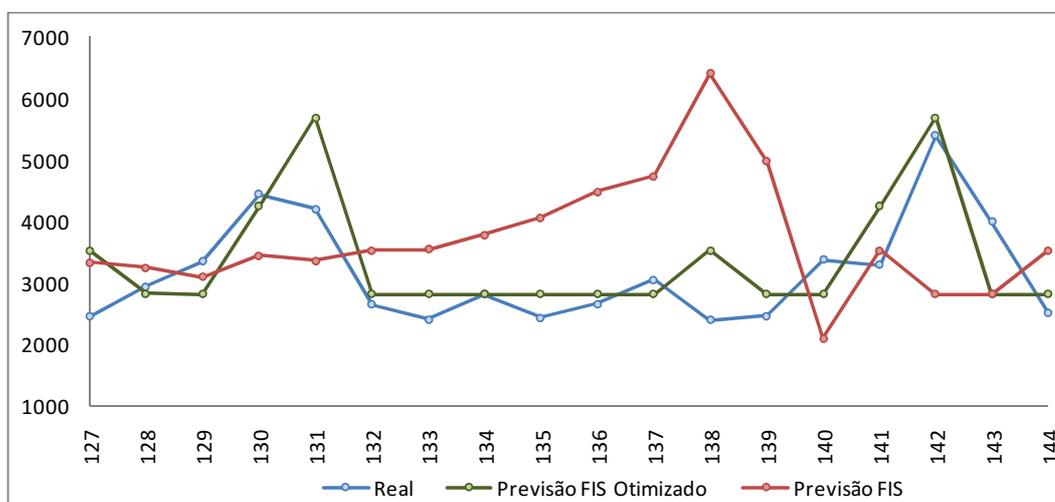


Figura 121 – NN3_111: Séries no conjunto de teste

Isso fica claro analisando o impacto da otimização no MAPE. Nos conjuntos de treino e validação ocorreu uma redução de 22,3% e no conjunto de teste a redução foi de 62,8 (Tabela 33).

	FIS Selecionado	FIS Otimizado	Variação %	Diferença
Treino	7,47%	6,26%	-16,2%	-1,21%
Validação	16,63%	10,33%	-37,9%	-6,30%
Treino + Validação	8,84%	6,87%	-22,3%	-1,97%
Teste	46,34%	17,25%	-62,8%	-29,09%

Tabela 33 – NN3_111: Erro FIS Selecionado x Erro FIS Otimizado

Os resultados do teste de hipótese, mostrados na Tabela 34, permitem concluir que se pode rejeitar a hipótese H0 com nível de significância de até 0,02%. Assim, pode-se considerar que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS otimizado é realmente menor que a média dos erros percentuais das previsões geradas pelo FIS selecionado.

observações	138
graus de liberdade	137
t calculado	3.5829
t crítico uni-caudal (alfa = 10%)	1.2878
valor-p uni-caudal	0.02%

Tabela 34 – NN3_111: Teste de hipótese para médias dos erros

5.5.12. Resumo dos resultados

A Tabela 35 resume os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta nas séries selecionadas.

Série	MAPE Treino+Validação			MAPE Teste			Resultado Teste-t valor-p
	FIS Selecionado	FIS Otimizado	Var %	FIS Selecionado	FIS Otimizado	Var %	
NN3_101	2.2%	1.9%	-14.0%	3.4%	3.1%	-10.5%	4.4%
NN3_102	24.2%	19.2%	-20.3%	54.3%	17.9%	-66.9%	0.0%
NN3_103	105.8%	98.5%	-6.9%	49.0%	49.1%	0.1%	NA
NN3_104	16.2%	13.9%	-14.5%	9.3%	6.4%	-31.3%	0.5%
NN3_105	1.2%	1.2%	-6.5%	3.1%	3.1%	-1.6%	6.2%
NN3_106	6.6%	5.6%	-16.2%	3.4%	7.0%	105.3%	NA
NN3_107	2.8%	1.9%	-31.9%	4.8%	4.4%	-9.3%	0.0%
NN3_108	19.9%	19.3%	-3.2%	26.8%	26.1%	-2.7%	14.6%
NN3_109	2.2%	1.8%	-18.3%	11.4%	3.8%	-66.9%	0.0%
NN3_110	62.8%	44.3%	-29.4%	35.8%	35.7%	-0.4%	7.9%
NN3_111	8.8%	6.9%	-22.3%	46.3%	17.3%	-62.8%	0.0%
Média 1	23.0%	19.5%	-16.7%	22.5%	15.8%	-13.4%	2.4%
Média 2	15.1%	11.4%	-19.6%	21.1%	11.5%	-31.2%	2.4%

Tabela 35 – Resumo dos resultados

Pode-se perceber que, para a maioria das séries, a otimização dos parâmetros, visando à minimização do MAPE nos conjuntos de treino e validação, ocasionou uma redução do erro no conjunto de teste. As exceções foram nas séries NN3_103, NN3_106, nas quais apesar do erro da previsão ter-se reduzido nos conjuntos de treino e validação, houve um aumento do MAPE no conjunto de teste; e a série NN3_108, na qual o teste de hipótese não indicou que o erro obtido com a otimização é estatisticamente menor quando comparado ao erro resultante do FIS selecionado. Dessa forma, em oito das onze séries testadas o procedimento de otimização dos parâmetros teve como consequência o aumento do grau de exatidão dos valores previstos no conjunto de teste.

Com isso, a média do MAPE entre todas as 11 séries (Média 1) reduziu-se de 22,5% para 15,8% no conjunto de teste. Considerando apenas as 8 séries que apresentaram redução do erro no conjunto de teste (Média 2), o MAPE foi reduzido de 21,1% para 11,5%. Esses resultados comprovam o potencial do módulo de otimização do FuzzyFuture.