

4

FuzzyFuture: Ferramenta de Previsão de Séries Temporais

4.1.

Introdução

O FuzzyFuture é uma ferramenta computacional que tem como objetivo realizar previsões de séries temporais utilizando Sistemas de Inferência Fuzzy com otimização de parâmetros por Algoritmos Genéticos. O FuzzyFuture foi desenvolvido em linguagem de programação C# para ambiente Windows. Seu código é aberto, porém restrito para uso acadêmico apenas.

O módulo de otimização de parâmetros por Algoritmos Genéticos foi desenvolvido utilizando a biblioteca GCom, desenvolvida pelo Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada (ICA) do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC - Rio.

A instalação da ferramenta é realizada a partir da execução do arquivo “setup.exe” presente no diretório raiz. Ao final da instalação é criado um atalho no menu iniciar do Windows, assim como um registro na lista de programas instalados, para fácil remoção utilizando o recurso “Adicionar/Remover Programas” do Painel de Controle.

4.2. Estrutura e Metodologia

O FuzzyFuture está estruturado em seis módulos, conforme ilustrado na Figura 19:

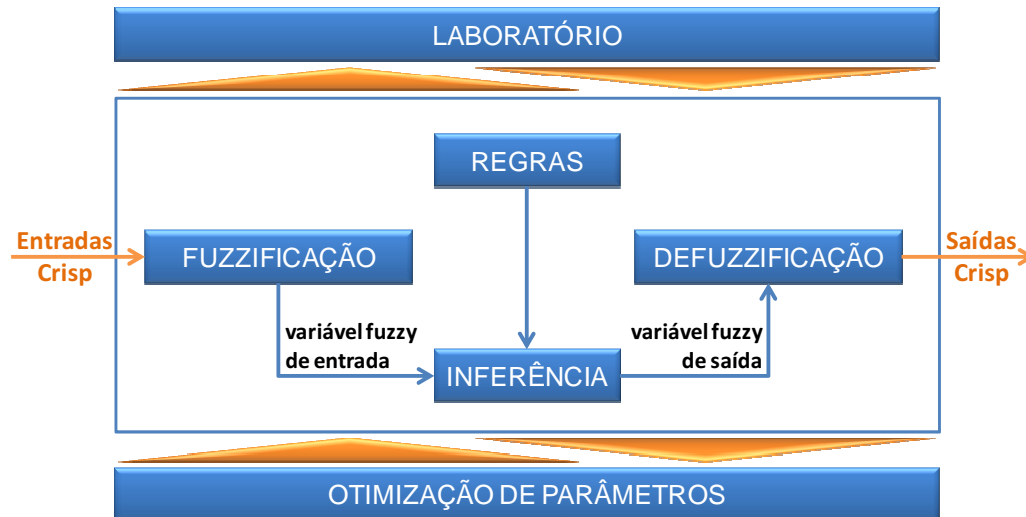


Figura 19 – Os seis módulos do FuzzyFuture

No módulo de Fuzzificação configura-se a variável fuzzy de entrada, definindo a função de pertinência (triangular, trapezoidal ou sino) e seus parâmetros. Os conjuntos são apresentados graficamente e podem ser editados arrastando-se seus pontos no gráfico.

No módulo de Regras, as regras podem ser geradas automaticamente a partir da definição do tamanho da janela e do horizonte de previsão e do tipo de previsão (*singlestep* ou *multistep*). Qualquer regra pode ser excluída sem alterar as demais. O usuário pode definir uma regra e adicioná-la às regras já geradas.

O módulo de Inferência calcula o grau de ativação de cada regra gerada, resultando na previsão representada por uma variável fuzzy. O módulo de Defuzzificação traduz a saída fuzzy em uma saída numérica. As previsões então são apresentadas de forma gráfica para cada período da série.

O módulo Laboratório permite a geração de diversos previsores, com diferentes variáveis fuzzy, diferentes tamanhos de janela e horizontes. Os experimentos gerados podem ser testados em série de forma automática e ordenados por qualquer indicador de erro do grupo de validação. Qualquer experimento pode ser aberto, exibindo a tela padrão com o gráfico comparativo, tabela de dados e indicadores de erros por grupo (treinamento, validação e teste);

O módulo de Otimização de Parâmetros possibilita a otimização dos parâmetros dos conjuntos fuzzy, quando definidos por funções de pertinência triangulares. Combinado com o módulo de experimentos representa um eficiente método para se obter uma configuração, senão ótima, ao menos bastante eficaz do Sistema de Inferência Fuzzy a ser utilizado para realizar previsões. O uso desses dois módulos de forma combinada será detalhado e demonstrado no capítulo 6.

As seções seguintes detalham cada um dos módulos aqui apresentados.

4.2.1. Módulo de Fuzzificação

O Processo de fuzzificação no FuzzyFuture é realizado a partir da variável fuzzy configurada pelo usuário. Pode-se escolher três tipos de conjuntos fuzzy para compor a variável: conjunto triangular, conjunto trapezoidal e conjunto sino. Uma vez definida a variável, a ferramenta a utiliza como variável de entrada e de saída. É importante ressaltar que o módulo de otimização de parâmetros é compatível somente com variáveis fuzzy compostas exclusivamente de conjuntos triangulares.

Para a geração automática de variáveis fuzzy, a partir do número desejado de conjuntos e do tipo de função de pertinência, deve-se definir mais dois parâmetros: margem e sobreposição.

A margem é utilizada para calcular o universo de discurso da variável fuzzy. A ferramenta calcula automaticamente o menor e o maior valor presente na série temporal trabalhada. No entanto, como valores futuros podem estar um pouco acima do maior valor observado, ou um pouco abaixo do menor valor observado, a variável fuzzy deve cobrir um intervalo maior do que o observado na série real. Assim, dada uma série $x(t)$, onde x^- é o menor valor observado e x^+ é o maior, o domínio da variável fuzzy é definido por $[f^+, f^-]$, onde:

$$\begin{aligned} f^+ &= x^+ + m \cdot (x^+ - x^-) \\ f^- &= x^- - m \cdot (x^+ - x^-) \end{aligned}$$

Sendo m a margem percentual definida pelo usuário.

A sobreposição indica quanto um conjunto fuzzy estará sobreposto nos conjuntos adjacentes. Uma sobreposição de 0% resulta em uma composição de conjuntos fuzzy com o comportamento ilustrado na Figura 20:

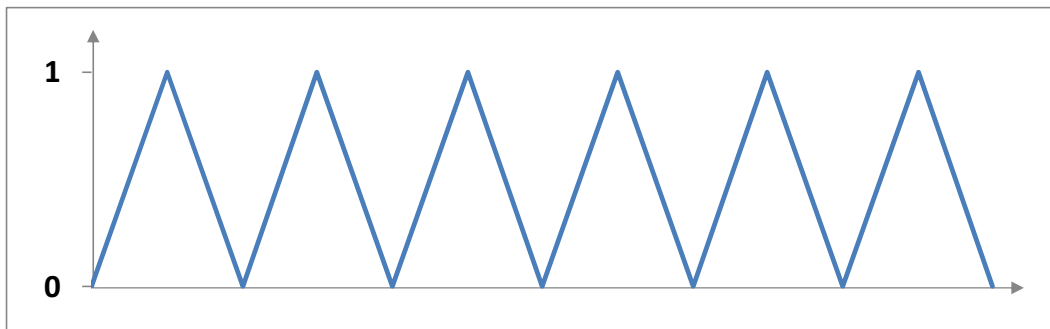


Figura 20 – Conjuntos fuzzy com sobreposição de 0%

Já conjuntos fuzzy com sobreposição de 50% apresentam o comportamento exibido na Figura 21. Devem-se evitar sobreposições mais agressivas, de forma a não prejudicar a interpretabilidade do modelo.

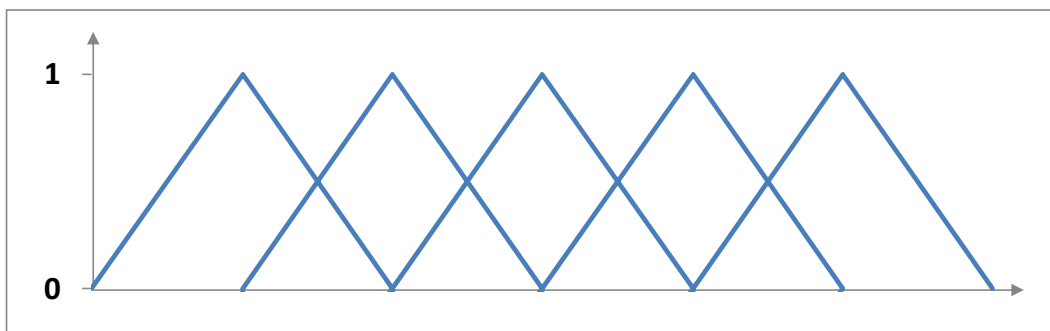


Figura 21 – Conjuntos fuzzy com sobreposição de 50%

4.2.2. Módulo de Extração de Regras

As regras são extraídas automaticamente pela ferramenta considerando o conjunto de treino delimitado pelo usuário, o tamanho da janela definido pelo mesmo e o tipo de previsão selecionado (*single* ou *multi-step*).

Caso seja selecionado o tipo de previsão *multistep*, as regras são geradas considerando o horizonte de um passo à frente, isto é, as regras serão geradas utilizando como variável de saída (conseqüente da regra) o valor da série no instante seguinte ao último valor observado.

Neste caso, após a geração da base de regras, a previsão em $k + h$ é calculada usando as previsões realizadas entre $k + 1$ e $k + h - 1$, onde k é o último valor observado e h é o horizonte de previsão desejado. Logo, a partir do 2º passo a frente, os valores previstos nos passos anteriores são usados na janela. Assim, dada a série $x(t)$ abaixo, considerando uma janela de 5 períodos, a previsão de um horizonte $h = 3$ é realizada em 3 passos:

Primeiro passo – calcula-se a previsão em $k + 1$ (Figura 22)

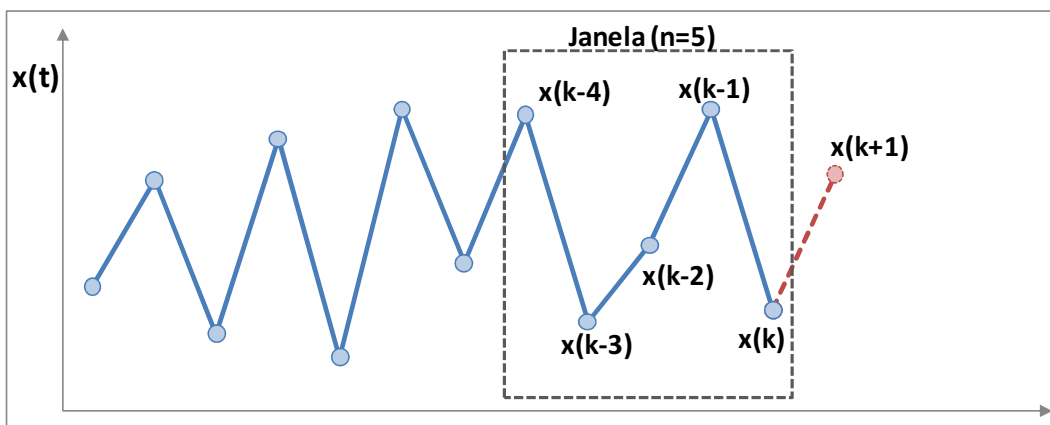


Figura 22 – Previsão multistep, passo 1

Segundo passo – calcula-se a previsão em $k + 2$, considerando o valor previsto em $k + 1$ na janela (Figura 23)

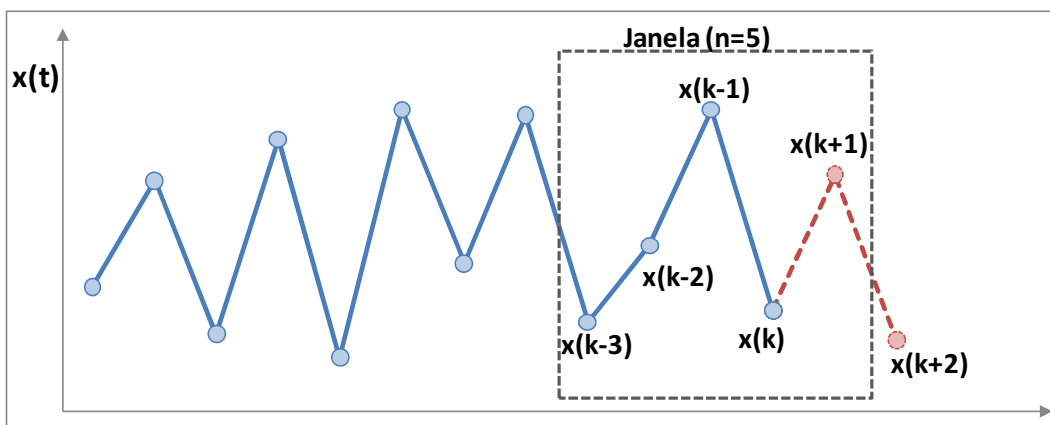


Figura 23 – Previsão multistep, passo 2

Terceiro passo – calcula-se a previsão em $k + 3$ considerando os valores previstos em $k + 1$ e $k + 2$ (Figura 24)

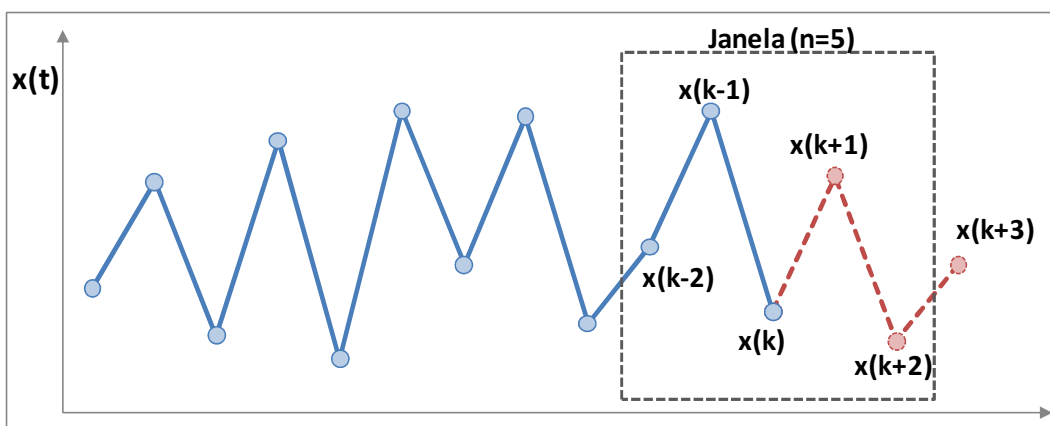
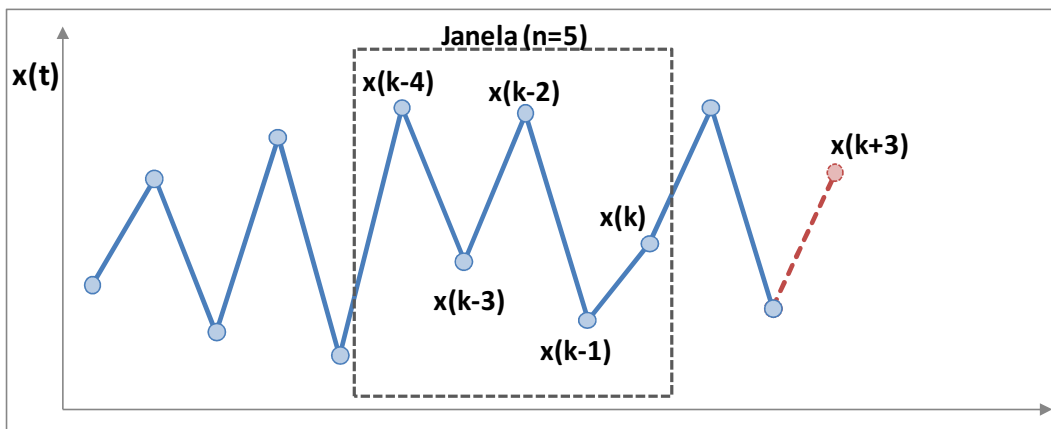
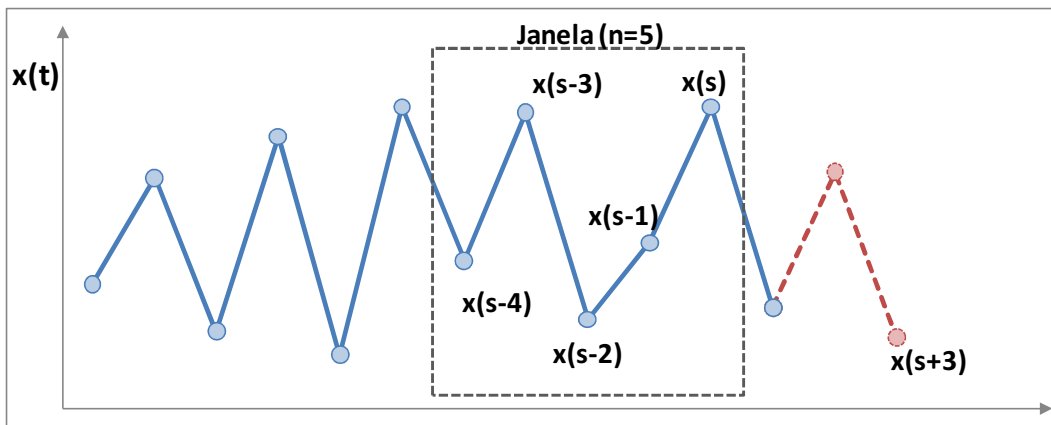


Figura 24 – Previsão multistep, passo 3

Enquanto que no *multistep* os valores do horizonte são previstos sempre 1 passo à frente da janela, no *singlestep* são realizadas h previsões do h -ésimo valor à frente, onde h é o horizonte de previsão. As regras são geradas considerando o horizonte h informado pelo usuário. Como resultado, a base de regras criada após o término do treinamento é utilizada para calcular a previsão para o horizonte definido previamente. Assim, dada a mesma série $x(t)$, as o previsões em um horizonte $h = 3$ são calculadas conforme ilustrado na Figura 25, na Figura 26 e na Figura 27.

**Figura 25 – Previsão singlestep, 1º valor do horizonte****Figura 26 – Previsão singlestep, 2º valor do horizonte**

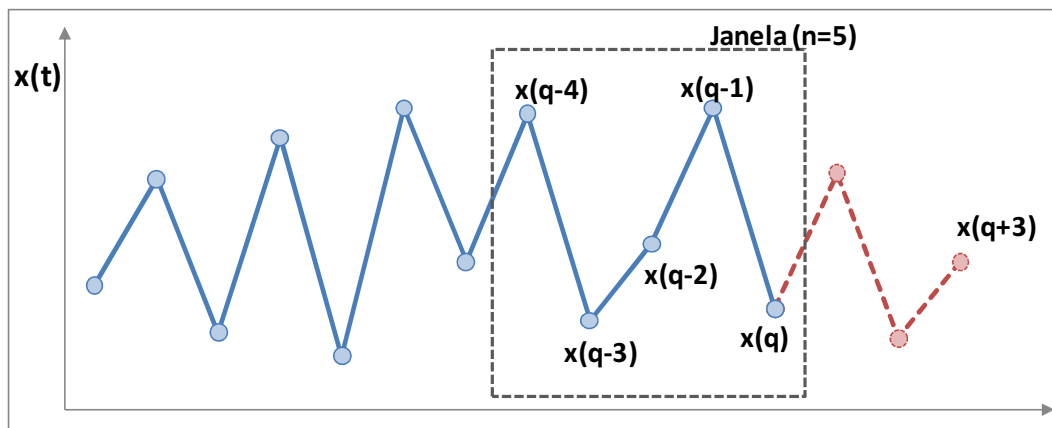


Figura 27 Previsão singlestep, 3º valor do horizonte

Como se pode notar, diferentemente do *multistep*, no *singlestep* os valores previstos nunca são utilizados na janela. Essa diferença é fundamental e tem grande impacto no desempenho do previsor. Espera-se que para determinadas séries a previsão por *singlestep* gere melhores resultados, enquanto que em outras, previsões mais acuradas sejam calculadas utilizando o *multistep*.

Independentemente do tipo de previsão, o grau de cada regra é calculado pela ferramenta como sendo o produto dos graus de pertinência de cada valor da janela a cada respectivo conjunto antecedente, conforme descrito na seção 3.3.1 deste texto.

A ferramenta identifica automaticamente regras conflitantes, ou seja, regras com os mesmos antecedentes, porém com conseqüentes diferentes. Nesses casos, a ferramenta exclui as regras de menor grau.

Além das regras extraídas do conjunto de treino, a ferramenta possibilita ao usuário a inclusão de regras adicionais às geradas – possivelmente informadas por especialistas – gerando uma base de regras híbrida.

4.2.3. Módulo de Inferência

O estágio de inferência implementado na ferramenta considera o operador produto – parâmetro fixo, a ferramenta não pode ser configurada pelo usuário para o uso de outro operador – para calcular o grau de ativação de cada regra testada, ou seja, o grau de ativação de uma regra é dado pelo produto dos graus de pertinência de cada um dos conjuntos dos antecedentes.

Para cada regra com grau de ativação maior que zero, o conjunto conseqüente alterado pela inferência é armazenado, compondo a saída fuzzy

que passará pelo estágio de defuzzificação.

Se, para um determinado período t a ser previsto, nenhuma regra for ativada, a ferramenta repete a previsão do período $t-1$ para o período em questão. É importante ressaltar que esse procedimento foi implementado visando a não descartar configurações de FIS que eventualmente não são capazes de gerar previsões para alguns poucos pontos do conjunto de validação e teste. No entanto, esse procedimento pode gerar previsões constantes em casos de muitos ou todos os pontos não serem previstos pelo FIS.

4.2.4. Módulo de Defuzzificação

Os conjuntos fuzzy de saída e os graus de ativação das respectivas regras calculados pelo módulo de inferência são convertidos em uma saída numérica pelo módulo de defuzzificação. Para isso, utiliza-se o método do centróide, conforme descrito na seção 3.3.1 deste texto.

4.2.5. Módulo Laboratório para Avaliação de Configurações

O objetivo do módulo laboratório é avaliar diversas configurações diferentes, chamadas de experimentos, de forma automatizada. Para isso, com um único comando, a ferramenta executa os 5 passos do método de Mendel, conforme descrito no item 3.3.1, para cada um dos experimentos definidos, retornando o desempenho no conjunto de validação. Para cada experimento a ser criado, devem ser informados todos os parâmetros de fuzzificação (número de conjuntos, formato dos conjuntos, margem de domínio, sobreposição) e de extração de regras (tamanho da janela, horizonte, tipo de previsão).

Após a realização de cada experimento, as diferentes métricas de erro no conjunto de validação são exibidas (MPE, MAPE, RMSE e SMAPE). A ferramenta também apresenta o valor do indicador “capacidade de previsão” (cp) de cada experimento. O indicador “cp” mede o percentual de pontos de dados no conjunto de validação para os quais o FIS foi capaz de realizar a previsão, isto é, pelo menos uma regra foi ativada. Esse indicador pode ser utilizado para descartar aqueles previsores que, apesar de apresentarem um erro médio baixo, provavelmente não serão eficientes para prever o comportamento da série futura.

4.2.6. Módulo de Otimização de Parâmetros

A definição dos parâmetros dos conjuntos fuzzy tem impacto direto no desempenho do sistema de inferência fuzzy. Apesar de ser possível realizar ajustes manuais nas funções de pertinência até que se alcance um desempenho satisfatório, é mais interessante e prático empregar métodos automáticos.

Assim, este módulo tem como objetivo otimizar os parâmetros dos conjuntos fuzzy que compõem a variável fuzzy de um determinado previsor, de forma a melhorar seu desempenho. Para isso, foi aplicada a técnica de inteligência computacional de algoritmos genéticos.

Esse módulo foi desenvolvido usando o GCom, biblioteca desenvolvida pelo Laboratório ICA do Departamento de Engenharia Elétrica da PUC - Rio[117]. Essa biblioteca foi fundamental para o desenvolvimento desta parte da ferramenta, pois possibilitou grande agilidade na programação necessária para a implementação dessa funcionalidade na ferramenta.

Apesar de a ferramenta possibilitar a criação de variáveis fuzzy utilizando conjuntos triangulares, trapezoidais e sinos, o módulo de otimização foi desenvolvido somente para o caso de conjuntos triangulares.

A seguir são descritos os principais componentes da modelagem do algoritmo genético que compõe o módulo de otimização.

- **Representação:** Foi considerada a representação real, onde o tamanho do cromossomo é definido pelo número de parâmetros a serem otimizados, sendo que cada gene representa um desses parâmetros. Como cada conjunto triangular possui 3 parâmetros, conforme descrito no item 2.2.2 deste texto, tem-se:

$$\text{tamanho do cromossomo} = 3 * \text{num_conjuntos}$$

Assim, uma variável fuzzy com 3 conjuntos terá 9 parâmetros a serem otimizados (Figura 28).

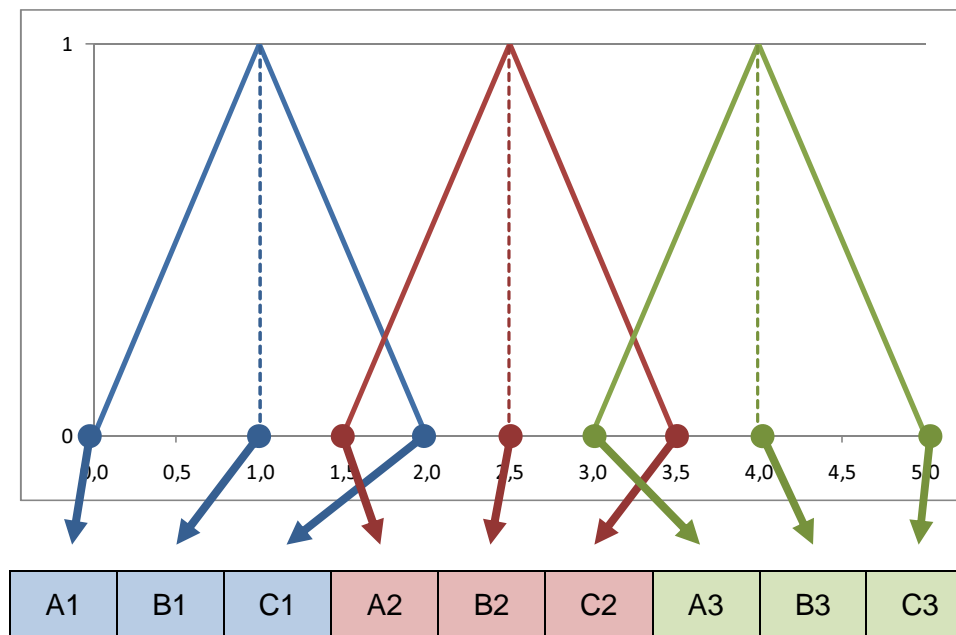


Figura 28 – Exemplo de representação com variável fuzzy de 3 conjuntos

- **Decodificação:** a solução é reconstruída a partir do cromossoma, considerando que cada conjunto de 3 genes sequenciais representa os valores dos parâmetros de cada conjunto da variável fuzzy otimizada.
- **Avaliação:** a função de avaliação utilizada é a média dos erros percentuais absolutos (MAPE) no conjunto de validação:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|R_i - P_i|}{R_i}}{n}$$

Onde:

- R_i : observação no i -ésimo período do conjunto de validação
 - P_i : valor previsto para o i -ésimo período do conjunto de validação
 - n : número de períodos no conjunto de validação
- **Seleção e Reprodução:** A seleção dos genitores foi implementada com o método da roleta. Já a técnica empregada para reprodução dos indivíduos foi a troca parcial da população a cada geração

(*steady state*). A parcela da população trocada a cada geração (GAP) pode ser parametrizada pelo usuário usando a interface da ferramenta.

- **Operadores:** Foram implementados dois operadores: o cruzamento aritmético e a mutação *creep*. A descrição desses operadores está detalhada no item 2.3.6 desta dissertação.
- **Parâmetros da Evolução:** Todos os principais parâmetros da evolução podem ser facilmente modificados pelo usuário, usando a interface da ferramenta: número de experimentos, número de gerações, tamanho da população, taxas iniciais e finais de *crossover*, taxas iniciais e finais de mutação e taxas iniciais e finais de *steady state*.

A geração da população inicial é feita por um algoritmo auxiliar, elaborado para criar variações de um indivíduo inicial, respeitando algumas restrições para evitar a geração de parâmetros inconsistentes em um indivíduo. Dado um conjunto fuzzy triangular i , dentre os n conjuntos que compõem a variável fuzzy, definido por três parâmetros a_i , b_i e c_i , as seguintes restrições são respeitadas pelo algoritmo:

$$a_i \leq b_i \leq c_i, \forall i$$

$$a_1 \leq a_2 \leq \dots \leq a_n$$

$$b_1 \leq b_2 \leq \dots \leq b_n$$

$$c_1 \leq c_2 \leq \dots \leq c_n$$

O algoritmo auxiliar de geração da população inicial tem extrema importância, pois garante que a evolução iniciar-se-á somente com indivíduos válidos, favorecendo a interpretabilidade do modelo. A seleção do *crossover* do tipo aritmético como operador tem papel semelhante, pois uma combinação linear de dois cromossomos genitores válidos gera cromossomos filhos também válidos. Assim, a única possibilidade de geração de soluções com parâmetros inconsistentes durante a evolução seria em função da mutação *creep*. Para minimizar essa possibilidade, a mutação *creep* foi implementada de forma a garantir variações pequenas ao redor do valor original. Assim, garante-se que a geração de soluções com parâmetros inconsistentes é bem pequena, podendo-se então supor que todos os cromossomos gerados são válidos, preservando o

desempenho do GA e a interpretabilidade do modelo. É importante ressaltar que aqueles cromossomos que representam soluções com parâmetros inconsistentes, além de serem gerados com baixa frequência, tendem a ser eliminados da população por apresentarem baixa aptidão.

4.3. Funcionalidades Básicas

O FuzzyFuture foi criado com foco na interface e na personalização de todos os elementos do Sistema de Inferência Fuzzy para a previsão da série temporal de interesse. As funcionalidades básicas que contribuem para uma interface amigável são:

- **Importação da Série:** O FuzzyFuture permite a importação de arquivos em formato txt, com valores separados em linhas e separador de decimal igual ao do sistema;
- **Visualização dos dados:** a série real e a série prevista podem ser visualizadas de forma gráfica e seus valores são exibidos em tabelas;
- **Definição dos grupos de treinamento, validação e teste:** a série temporal pode ser facilmente dividida nos três grupos necessários para uma boa modelagem da série, conforme descrito no capítulo anterior;
- **Avaliação do previsor:** a série prevista é calculada e plotada no mesmo gráfico da série real para facilitar comparação. Os indicadores de erro MAPE, MPE, RMSE e SMAPE são calculados para os três grupos previamente definidos (treinamento, validação e teste);
- **Comparação de previsores:** diversos previsores podem ser configurados simultaneamente, em diferentes janelas, permitindo a comparação dos resultados. Um previsor pode ser duplicado para uma nova janela, possibilitando que sua configuração possa ser alterada, sem que se perca o previsor original, facilitando assim uma comparação direta;

A seção seguinte mostra o passo a passo para a configuração de um previsor, detalhando o uso de cada um dos módulos da ferramenta e destacando as funcionalidades básicas apresentadas.

4.4. Utilização da Ferramenta

Ao abrir o programa, a tela abaixo é exibida, informando a versão e algumas informações sobre a ferramenta, conforme Figura 29.

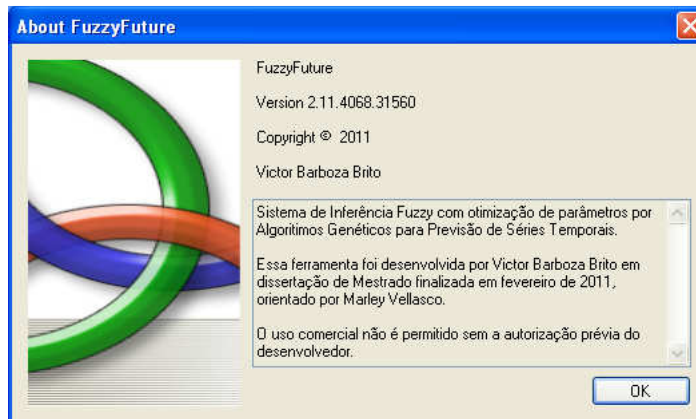



Figura 29 – Tela de abertura

Após clicar em OK, a tela principal é aberta (Figura 30). Para iniciar a criação de um Previsor Fuzzy, basta clicar no botão .

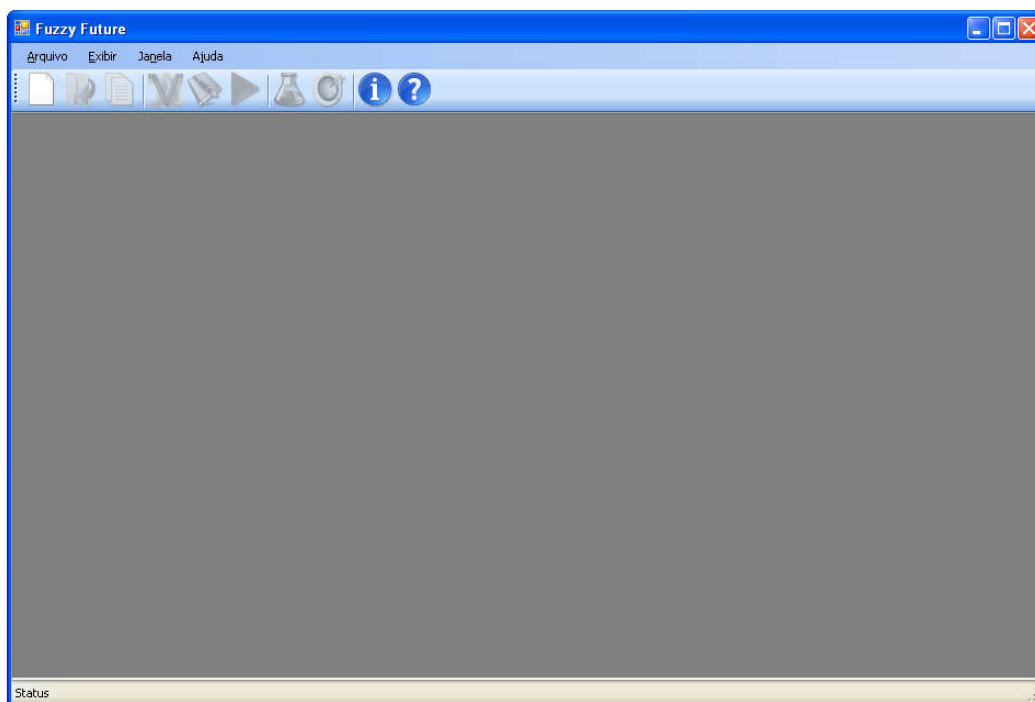


Figura 30 – Tela principal

Após clicar no botão, uma janela se abrirá (Figura 31). Cada janela aberta desta forma corresponde a um previsor. É possível configurar e testar diferentes

previsores simultaneamente, bastando criar novas janelas. Esse funcionamento é parecido com os softwares utilizados normalmente, como Excel e Word. Como comentado anteriormente, a implementação desse tipo de interface teve como objetivo tornar a ferramenta o mais amigável possível.

A janela de um predictor é composta basicamente por três partes:

1. Gráfico real x previsto: exibe a série real importada e, após o teste, a série prevista.
2. Tabela de dados: situada na parte lateral direita, exibe os valores plotados no gráfico e o erro percentual de cada previsão.
3. Tabela de erros: situada na parte inferior, calcula o número de pontos e os erros (MPE, MAPE, RMSE, SMAPE) de cada conjunto (treino, validação e teste).

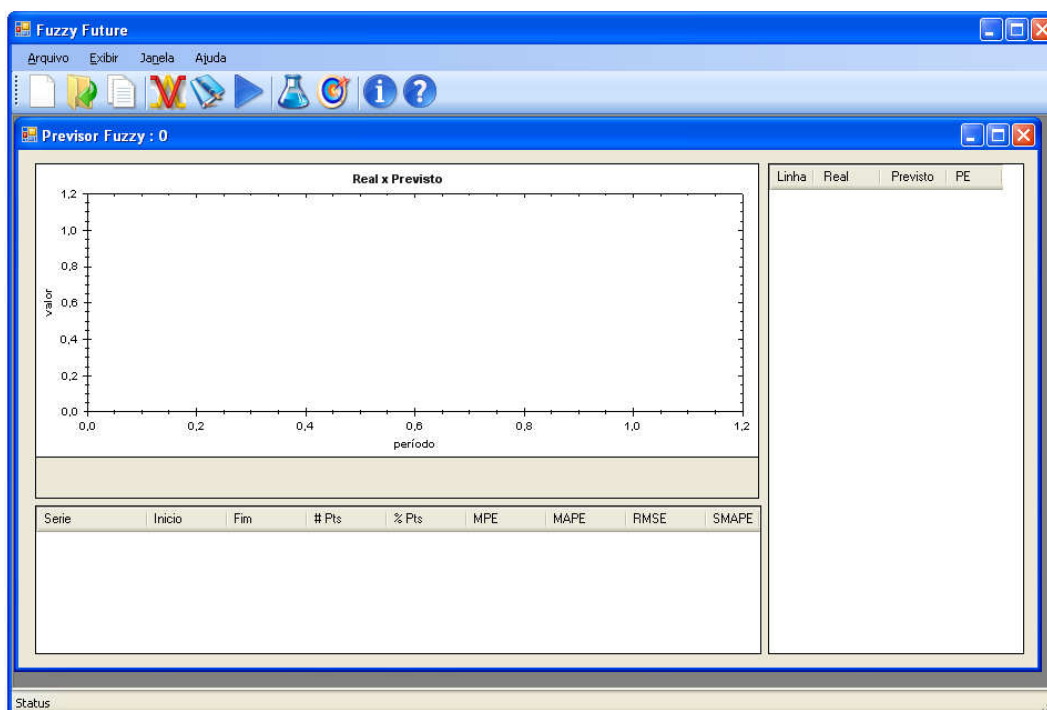



Figura 31 – Novo predictor

Em seguida, o usuário deve importar a série a ser estudada. Para isso, deve-se clicar no botão . Uma janela padrão de abertura de arquivos é exibida (Figura 32), para procura e seleção do arquivo que contém a série. O arquivo deve estar no formato “txt”, com cada valor em uma linha, com separadores de decimais iguais ao configurado no sistema operacional. Os valores não devem estar separados por vírgulas ou qualquer outro caractere.

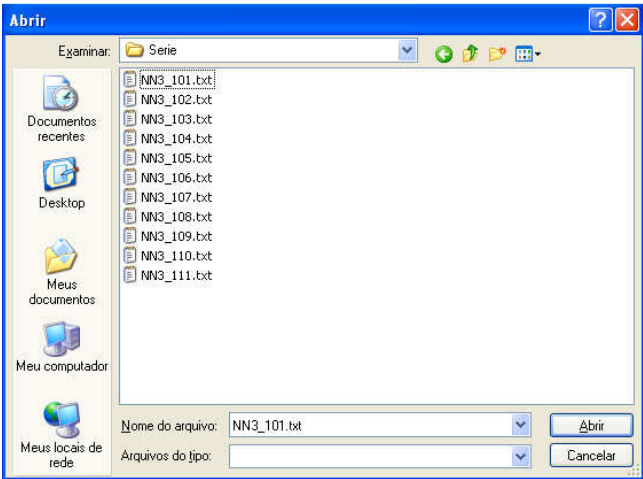


Figura 32 – Abertura de um arquivo de dados

Ao clicar em OK, a série de dados contida no arquivo é plotada na janela do previsor ativo (Figura 33). A série é automaticamente dividida em três grupos: treino (pontos em azul), validação (pontos em verde) e teste (pontos em vermelho). O tamanho dos grupos pode ser alterado movendo-se os separadores presentes na barra de intervalo abaixo do gráfico. Ao alterar o intervalo dos grupos, o número e o percentual de pontos em cada grupo é calculado na tabela abaixo do gráfico. A tabela à direita do gráfico é atualizada com os valores da série importada.

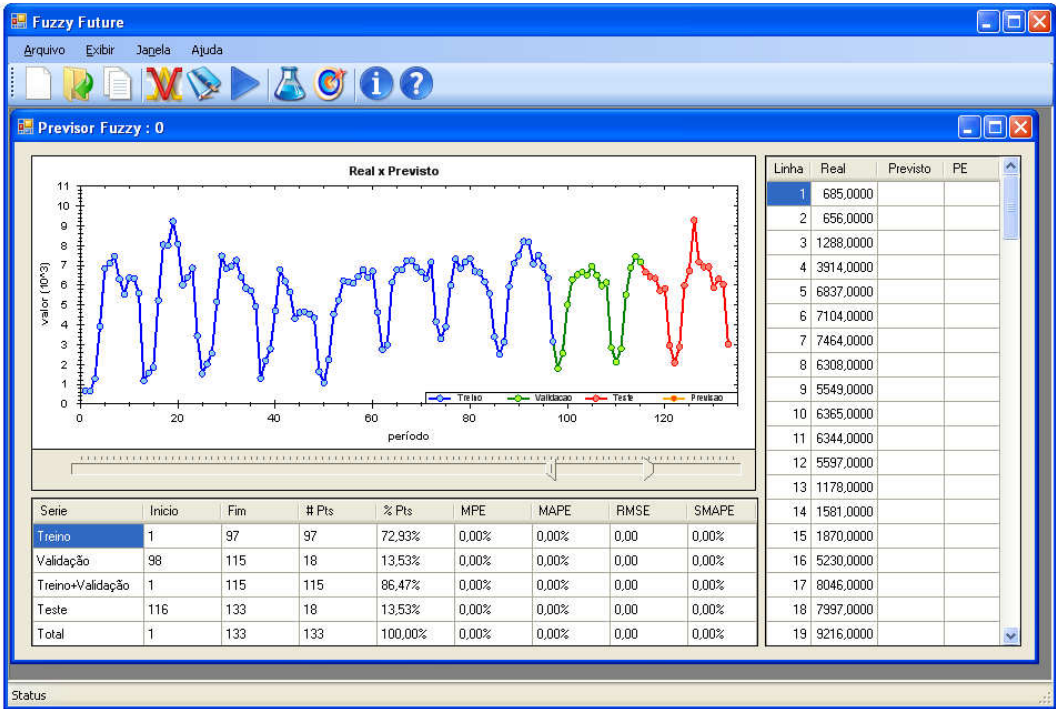



Figura 33 – Dados importados

O próximo passo consiste na definição dos conjuntos fuzzy, o que é feito clicando-se no botão  da janela principal. A janela de definição dos conjuntos fuzzy é composta pela lista de conjuntos na lateral esquerda e pelo gráfico, conforme Figura 34.

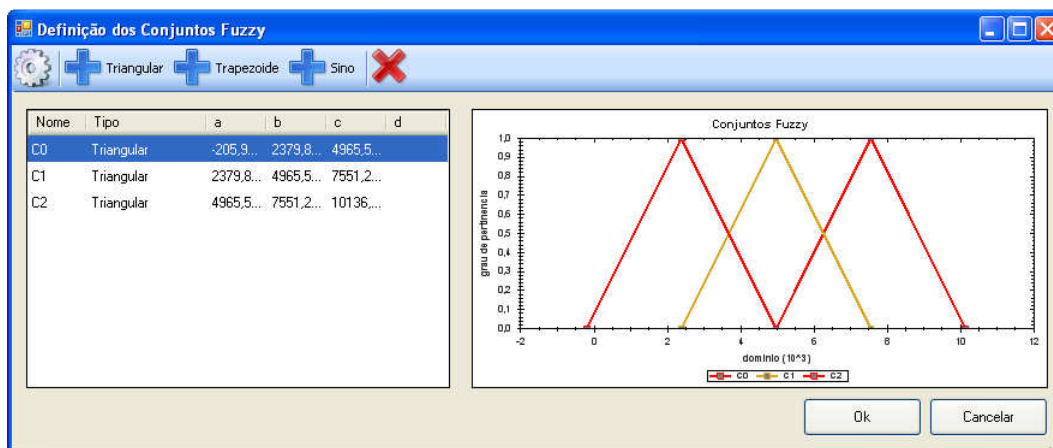

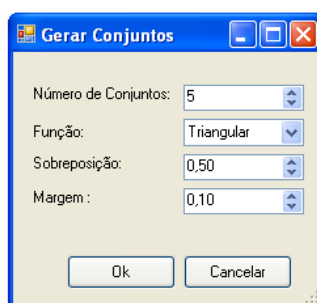


Figura 34 – Definição dos conjuntos fuzzy

Para configurar os conjuntos deve-se clicar em . A janela "Gerar Conjuntos" é exibida (Figura 35). Nesta janela deve-se definir o número de conjuntos, a função de pertinência (triangular, trapezoidal ou sino, conforme definidas no item 2.2.2 deste texto), a sobreposição dos conjuntos e a margem de segurança para o domínio observado na série importada.







A janela "Gerar Conjuntos" contém os seguintes campos de configuração:

- Número de Conjuntos: 5
- Função: Triangular
- Sobreposição: 0,50
- Margem: 0,10

Existem botões "Ok" e "Cancelar" na base da janela.

Figura 35 – Geração de conjuntos fuzzy

Após clicar em OK, os novos conjuntos fuzzy são listados e plotados, substituindo os antigos (Figura 36).

Ainda na janela de definição de conjuntos fuzzy, é possível inserir um conjunto aos já presentes utilizando os botões ,  e . Pode-se também excluir um conjunto selecionando-o na lista e depois clicando em .

Para editar qualquer conjunto basta selecioná-lo no gráfico e arrastar os vértices (com exceção de conjuntos sinos).

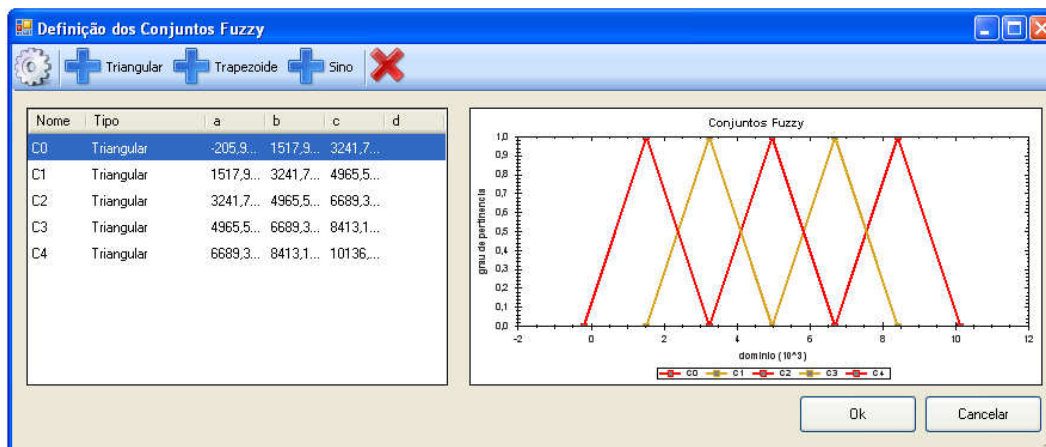


Figura 36 – Novos conjuntos fuzzy criados

Clicando em OK, a janela de definição de conjuntos é fechada e a janela do previsor é novamente exibida.


O passo seguinte é a geração das regras. Ao clicar no botão  a janela de definição de regras é aberta, conforme Figura 37.



Figura 37 – Definição da base de regras




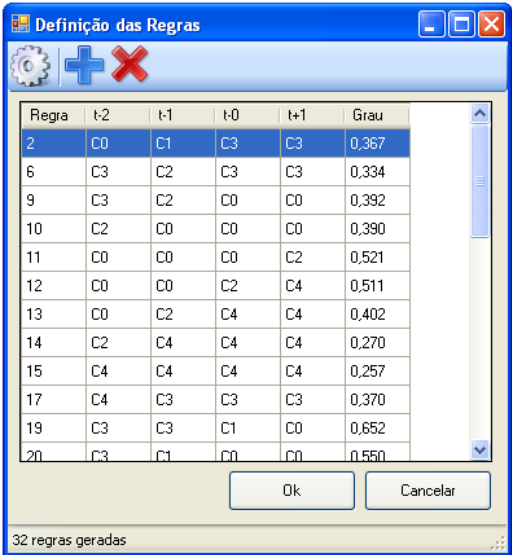
Para gerar uma base de regras automaticamente, basta clicar em . Na tela que se abrirá (Figura 38), deve-se definir o tamanho da janela, o horizonte de previsão e o tipo de previsão.



Figura 38 – Geração da base de regras

Ao clicar em OK, as regras geradas são exibidas na tela (Figura 39). Cada linha na tabela se refere a uma regra diferente, com os conjuntos que constituem o antecedente (no exemplo, “t-2”, “t-1”, e “t-0”), o conjunto do conseqüente (“t+1”) e o grau da regra. Por exemplo, a primeira regra deve ser lida da seguinte forma: “Se o valor em t-2 é C0 E o valor em t-1 é C1 E o valor em t-0 é C3, Então o valor em t+1 é C3”.


No processo de geração de regras, as regras repetidas com menor grau de ativação são excluídas. O número de regras geradas pode ser observado na barra de status na parte inferior da janela. Uma regra pode ser excluída pelo usuário selecionando-a na tabela e depois clicando em . Caso o usuário deseje inserir uma nova regra, basta clicar em  e, na tela que se abrirá, definir o conjunto de cada valor no antecedente, o conjunto do conseqüente e o grau da regra.



Regra	t-2	t-1	t-0	t+1	Grau
2	C0	C1	C3	C3	0.367
6	C3	C2	C3	C3	0.334
9	C3	C2	C0	C0	0.392
10	C2	C0	C0	C0	0.390
11	C0	C0	C0	C2	0.521
12	C0	C0	C2	C4	0.511
13	C0	C2	C4	C4	0.402
14	C2	C4	C4	C4	0.270
15	C4	C4	C4	C4	0.257
17	C4	C3	C3	C3	0.370
19	C3	C3	C1	C0	0.652
20	C3	C1	C0	C0	0.550

Figura 39 – Base de regras gerada

Com os conjuntos e regras gerados, o Previsor está pronto para ser

testado. Para isso, deve-se clicar no botão . Assim, o valor previsto para cada linha é calculado, plotado no gráfico e exibido na tabela ao lado, em conjunto com erro percentual (Figura 40). Além disso, os erros médios (MPE, MAPE, RMSE, SMAPE) são calculados para cada grupo da série (treino, validação e teste) assim como para a série como um todo.

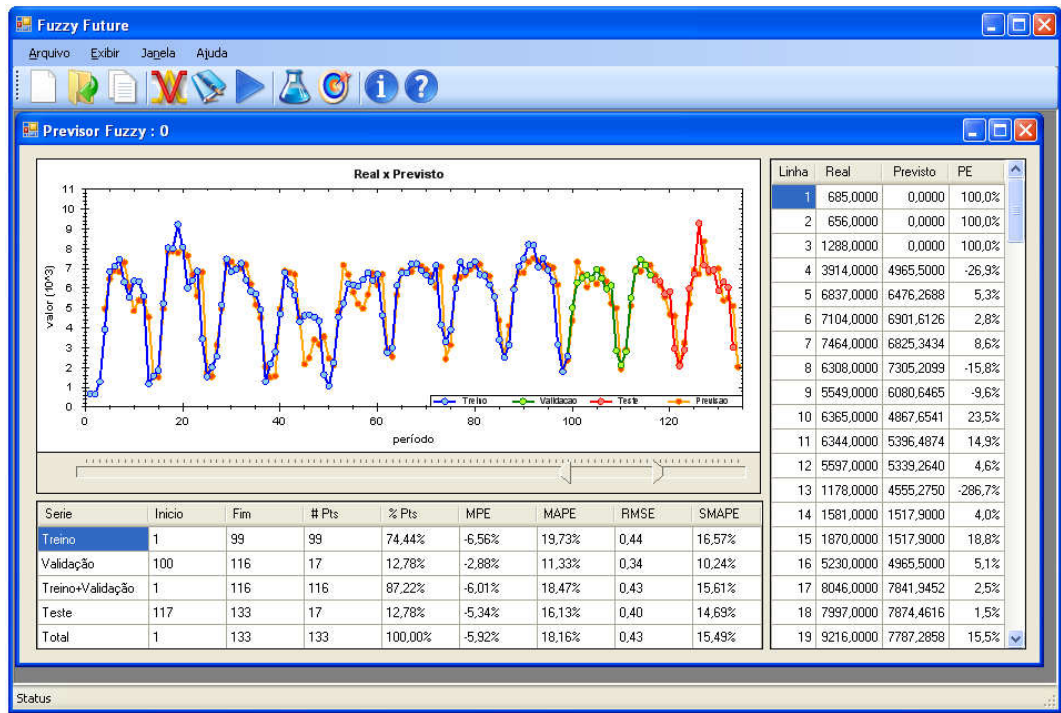



Figura 40 – Teste do previsor configurado

A qualquer momento um Previsor pode ser duplicado utilizando-se o botão , podendo-se, assim, avaliar alterações de configuração sem perder o Previsor original. A Figura 41 ilustra o resultado desta operação, na qual o “Previsor Fuzzy : 0” foi duplicado, gerando o “Previsor Fuzzy : 1”

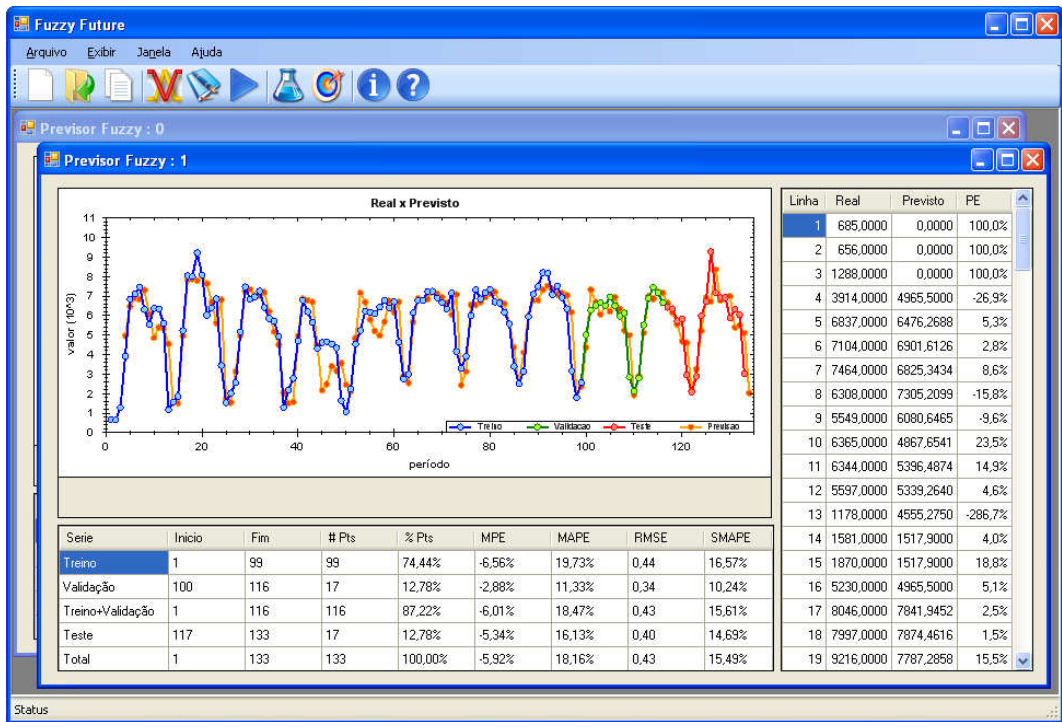



Figura 41 - Duplicação de Previsores

Caso o usuário deseje avaliar diversas configurações de forma automática, deve utilizar o módulo laboratório (Figura 42) que é aberto clicando-se em . Os experimentos são configurações de previsores que podem ser gerados automaticamente para depois serem testados seqüencialmente.

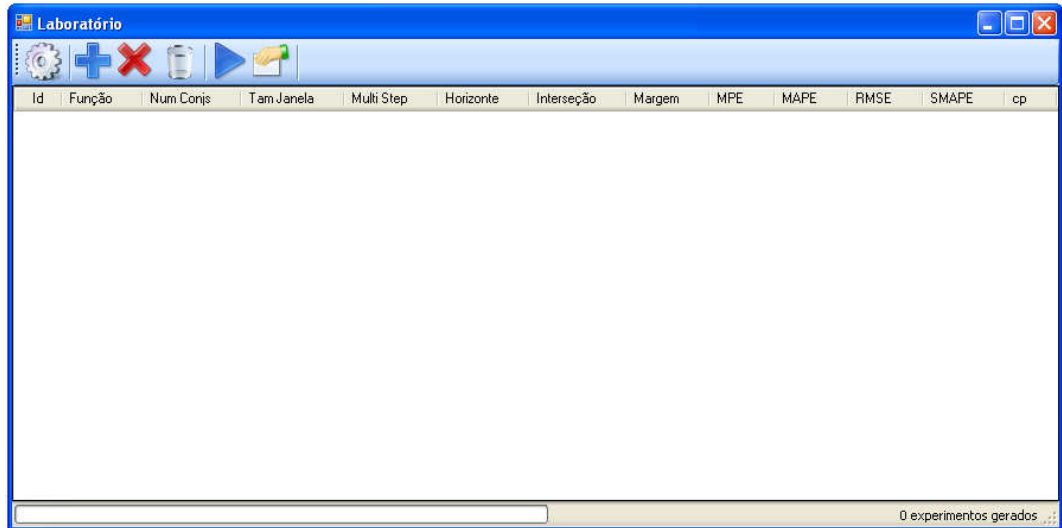



Figura 42 – Laboratório

Para gerar os experimentos deve-se clicar no botão . Na janela que se abre (Figura 43), o usuário deve determinar a faixa de números de conjuntos fuzzy a serem testados, os tipos de função de pertinência, a faixa de valores

para interseção, a faixa de tamanho de janelas, a margem de segurança para o domínio e o horizonte de previsão, e os tipos de previsão desejados. Por exemplo: colocando o número de conjuntos fuzzy de 3 a 9, serão avaliadas 7 configurações diferentes (3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 conjuntos fuzzy). Para a interseção, os valores testados são múltiplos de 0,05. Ao se alterar qualquer um dos parâmetros, o número de experimentos a serem gerados é calculado e exibido na barra de status da janela. Os experimentos são gerados considerando todas as combinações possíveis dos parâmetros. Para a parametrização apresentada na figura abaixo, serão gerados 1400 experimentos, pois tem-se 7 valores para número de conjuntos fuzzy, 2 valores para tipo de função, 5 valores para interseção (0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60) e 10 valores para tamanho de janela e 2 tipos de previsão (singlestep e multistep). Assim, $7 \times 2 \times 5 \times 10 \times 2 = 1400$ experimentos.

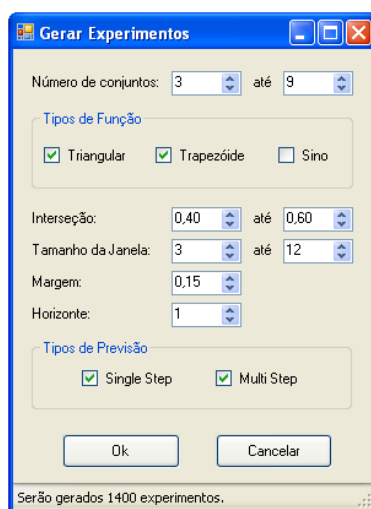


Figura 43 – Geração de experimentos

Após clicar em OK, todos os experimentos gerados e suas respectivas configurações são listados na tabela, conforme ilustrado na Figura 44.

Laboratório													
Id	Função	Num Conjs	Tam Janela	Multi Step	Horizonte	Interseção	Margem	MPE	MAPE	RMSE	SMAPE	cp	
1	Triangular	3	3	Não	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
2	Triangular	3	3	Sim	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
3	Triangular	3	4	Não	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
4	Triangular	3	4	Sim	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
5	Triangular	3	5	Não	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
6	Triangular	3	5	Sim	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
7	Triangular	3	6	Não	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
8	Triangular	3	6	Sim	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
9	Triangular	3	7	Não	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
10	Triangular	3	7	Sim	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
11	Triangular	3	8	Não	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
12	Triangular	3	8	Sim	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
13	Triangular	3	9	Não	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
14	Triangular	3	9	Sim	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	
15	Triangular	3	10	Não	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0	

1400 experimentos gerados

Figura 44 – Experimentos gerados

O usuário pode inserir um novo experimento aos experimentos já gerados clicando em e configurando o experimento na tela que é aberta (Figura 45).

Adicionar Experimento

Número de conjuntos: 3

Tipo de Função

☒ Triangular

☐ Trapezoide

☐ Sino

Interseção: 0,50

Margem: 0,10

Tamanho da Janela: 5

Horizonte: 1

Tipo de Previsão

☐ Single Step

☐ Multi Step

Ok

Cancelar

Figura 45 – Adição de um experimento


Pode-se também remover um experimento selecionando-o na tabela e depois clicando em . Para remover todos os experimentos, basta clicar em .


Ao clicar em todos os experimentos são calculados e os erros médios encontrados no conjunto de validação (definido na janela ativa antes de abrir o módulo de experimentos) são exibidos para cada um, conforme ilustrado na Figura 46.

Laboratório												
Id	Função	Num Conj	Tam Janela	Multi Step	Horizonte	Interseção	Margem	MPE	MAPE	RMSE	SMAPE	cp
1	Triangular	3	3	Não	1	0,4	0,1	-0,0911	0,1771	0,4208	0,1479	1
2	Triangular	3	3	Sim	1	0,4	0,1	-0,4966	0,5173	0,7192	0,3169	1
3	Triangular	3	4	Não	1	0,4	0,1	-0,0247	0,1766	0,4202	0,166	1
4	Triangular	3	4	Sim	1	0,4	0,1	0,0526	0,1265	0,3557	0,1395	1
5	Triangular	3	5	Não	1	0,4	0,1	0,002	0,1974	0,4443	0,1984	1
6	Triangular	3	5	Sim	1	0,4	0,1	-0,4576	0,5403	0,7351	0,3504	1
7	Triangular	3	6	Não	1	0,4	0,1	-0,0051	0,1878	0,4333	0,1821	1
8	Triangular	3	6	Sim	1	0,4	0,1	0,0826	0,2427	0,4926	0,2666	1
9	Triangular	3	7	Não	1	0,4	0,1	-0,011	0,1814	0,4259	0,1809	1
10	Triangular	3	7	Sim	1	0,4	0,1	0,0552	0,1963	0,4431	0,223	1
11	Triangular	3	8	Não	1	0,4	0,1	-0,0175	0,1677	0,4095	0,1721	1
12	Triangular	3	8	Sim	1	0,4	0,1	0,1263	0,3677	0,6063	0,4617	0,7647
13	Triangular	3	9	Não	1	0,4	0,1	-0,0101	0,1417	0,3765	0,1474	1
14	Triangular	3	9	Sim	1	0,4	0,1	0,0373	0,1881	0,4337	0,202	1
15	Triangular	3	10	Não	1	0,4	0,1	-0,0306	0,1527	0,3907	0,1564	1

1400 experimentos gerados

Figura 46 - Experimentos calculados

Neste momento pode-se selecionar qualquer experimento e clicar em  para abrir uma nova janela com todas as informações detalhadas do Previsor selecionado.

Com um previsor aberto, configurado e testado, pode-se executar a otimização dos parâmetros dos conjuntos. Para isso basta selecionar o previsor que se deseja otimizar e clicar em . Uma cópia do previsor é gerada automaticamente, de forma a possibilitar uma comparação do previsor otimizado com o previsor original. Na janela que se abre (Figura 47), o usuário deve definir a configuração do GA: número de gerações, tamanho da população, número de experimentos, taxas iniciais e finais de *crossover* e mutação e gap inicial e final do *steady state*.

Configurações do GA

Parâmetros Gerais

Número de gerações: 40

Tamanho da população: 100

Número de experimentos: 10

Taxa de Crossover

Inicial: 0,90 Final: 0,70

Taxa de Mutação


Inicial: 0,01 Final: 0,10

Taxa de Steady State

Inicial: 0,70 Final: 0,70

Ok Cancelar

Figura 47 – Configuração do GA

Concluída a configuração, deve-se clicar em OK para dar início à otimização. Ao término da otimização, o previsor com os parâmetros ajustados é exibido. Para avaliar as modificações que foram feitas aos parâmetros dos conjuntos, basta selecionar o previsor otimizado e clicar em . Assim, a tela representada na Figura 34 se abrirá, mostrando o gráfico dos conjuntos e os valores dos parâmetros otimizados.