

Capítulo 5

Análise de Pontos por Função *Fuzzy*

Este capítulo propõe a extensão da análise de pontos por função utilizando a teoria fuzzy, objetivando melhor representar a funcionalidade de um projeto de desenvolvimento, de um projeto de manutenção ou de uma aplicação instalada.

Muitos modelos de estimativas são desenvolvidos com a utilização de análise de regressão linear sobre dados históricos para projetos similares. Em termos reais, valores exatos não são esperados, pois estimar é uma tarefa de previsão. No entanto, observa-se que os resultados de modelos largamente utilizados, como COCOMO e FPA (Análise de Pontos por Função), podem apresentar, em algumas situações, resultados com margens de erro elevadas. Devido a esses resultados, percebe-se um interesse crescente em explorar técnicas alternativas ou complementares às existentes, como redes neurais, raciocínio baseado em casos, árvores de regressão, analogias e lógica *fuzzy* (Schofield, 1995; Shepperd, 1996; Mair, 1999; Briand, 1999; Kadoda, 2000; Idri, 2000b). A busca por modelos alternativos também é incentivada por algumas deficiências dos modelos de regressão linear, a saber (Gray, 1997):

- Dificuldade em determinar os valores exatos das métricas, que serão usadas como entrada;
- A utilização de valores nítidos provoca uma expectativa de que os resultados são precisos; e
- Dificuldade de tratar pequenos volumes de dados ou quando esses dados são muito heterogêneos para o desenvolvimento destes modelos.

Particularmente, dentre as vantagens de se usar conceitos da teoria *fuzzy* em modelos e métricas de software, pode-se citar (Gray, 1997; Macdonell, 1999):

- O uso de termos lingüísticos nas variáveis independentes permite que os gerentes de projeto classifiquem seus sistemas com mais acurácia e consistência;
- À medida que o grau de incerteza diminua a respeito dos valores das variáveis que influenciam o projeto, as funções de pertinência ou as operações de desfuzificação podem ser alteradas para produzir resultados mais precisos;
- O modelo torna-se mais claro, promovendo seu entendimento, sua avaliação e sua adaptação;
- A lógica *fuzzy* permite a execução de estimativas nos estágios iniciais do processo de desenvolvimento;
- O modelo pode ser construído com uma pequena amostra de dados, e
- O modelo é uma ferramenta de comunicação para a gerência mais legível do que os modelos de regressão e redes neurais.

Com base na literatura existente, verifica-se que é possível aplicar a teoria *fuzzy* sobre modelos tradicionais como COCOMO e FPA. COCOMO utiliza intervalos clássicos para representar os termos lingüísticos “muito baixo”, “baixo”, “normal”, “alto”, “muito alto” e “extremamente alto” para classificar os direcionadores de custos.

De forma semelhante, FPA aplica os termos “baixa”, “média” e “alta” para em seguida pontuar a complexidade funcional relativa das funções de dados e transacionais. O uso de termos lingüísticos permite a substituição dos intervalos clássicos por conjuntos *fuzzy*, criando-se uma extensão do modelo original. Dentre as vantagens iniciais de se elaborar tal extensão pode-se citar:

- O modelo se torna mais genérico;
- O modelo simula a maneira como os seres humanos interpretam termos lingüísticos, e
- A transição de um termo lingüístico para um termo lingüístico contíguo se torna gradual, ao contrário da forma abrupta original.

Os primeiros resultados demonstram que estes modelos estendidos são mais tolerantes às imprecisões dos dados de entrada, além de produzirem resultados mais próximos da realidade (Idri, 2000a; Lima, 2001a; Lima, 2001b; Lima, 2001c; Lima, 2001d).

5.1 Objetivos da FFPA

A idéia central de se estender a Análise de Pontos por Função (FPA) para Análise de Pontos por Função *Fuzzy* (FFPA) é expandir a semântica da FPA tradicional, fazendo-se uso de conceitos e do formalismo matemático da teoria *fuzzy* já bem estabelecidos.

Durante o processo de medição, uma função (de dados ou transacional) em FPA passa por várias transformações implícitas (Abran, 1996), com o objetivo final de se obter sua complexidade funcional relativa representada através de pontos.

Conforme o Capítulo 3, antes de ser expressa através de pontos, a complexidade de uma função é caracterizada por um dos seguintes termos lingüísticos: *baixa*, *média* ou *alta*. A atribuição destes termos às funções segue o que determina a matriz de complexidade funcional de cada função. Como exemplo, a *Tabela 3.1* apresenta a matriz de complexidade de um ILF (Arquivo Lógico Interno), cujos termos *baixa*, *média* e *alta* complexidade correspondem, respectivamente, a 7, 10 e 15 pontos por função, segundo a *Tabela 3.2*.

Ainda de acordo com a *Tabela 3.1*, observa-se que a FPA possui uma forma abrupta e disjunta de classificar suas funções, o que provoca pelo menos duas situações indesejáveis no processo de medição de pontos por função:

- *Situação 1 (S_1)*: um ILF que possui 1 RET e 19 DETs (função f_1) é classificado como de complexidade *baixa*, o que é traduzido para 7 pontos por função. Pelo mesmo critério, um ILF que possui 1 RET e 50 DETs (f_2) também é classificado como de complexidade *baixa* (7 pontos por função). Porém, se houver um acréscimo de apenas um DET a este último caso, passando para 51 DETs, o ILF (f_3) passa a ser considerado de complexidade *média*, contribuindo com 10 pontos por função no processo de contagem. Assim sendo, a FPA considera que f_1 e f_2 possuem funcionalidades idênticas e que f_2 e f_3 têm funcionalidades

distintas. Caso isto se configure em um mesmo projeto, o resultado final de sua mensuração não corresponderá a um valor suficientemente acurado em pontos por função.

- *Situação 2 (S_2)*: um ILF com 6 RETs e 20 DETs possui o mesmo número de pontos por função de um ILF com 6 RETs e 70 DETs, isto é, têm a mesma funcionalidade. Neste caso, a quantidade de itens referenciados, que determina os limites inferiores da faixa de *alta* complexidade, pode conduzir às mesmas dificuldades na acurácia da medição, observadas na situação anterior, especialmente para sistemas que referenciam um grande número de itens de dados.

Embora pontos por função representem a funcionalidade de um sistema, muitos estudos empíricos apontam para uma relação existente entre esses pontos e o esforço de trabalho necessário para desenvolvê-los (Albrecht, 1983; Kemerer, 1997). Medidas derivadas a partir de pontos por função, como custo e prazo, podem estimar valores não factíveis em consequência deste modo atual de classificar a funcionalidade das funções que constituem o sistema.

Sistemas governamentais, por exemplo, especialmente os que controlam pagamentos de impostos e investigam a lisura de pessoas jurídicas em relação às suas transações financeiras, normalmente possuem uma grande quantidade de funções transacionais que ultrapassam o limite da complexidade *alta*, referenciando um número muito elevado de itens de dados e arquivos em um mesmo processo elementar. Este fato dispõe, em uma mesma categoria, funções que possuem intuitivamente tamanhos diferentes. Portanto, as estimativas apontam que essas funções deveriam ser construídas dentro de prazos e custos semelhantes, o que não se verifica na realidade.

Em sua forma original, a FPA também pode comprometer as estimativas para os projetos de manutenção. De acordo com a mesma *Tabela 3.1*, considere-se uma terceira situação, envolvendo agora a manutenção:

- *Situação 3 (S_3)*: um ILF que possui 1 RET e 19 DETs (função f_1) é classificado como de complexidade *baixa*, o que é traduzido para 7 pontos por função. Caso esta função sofra manutenção e passe a referenciar 50 DETs (f_1'), tal função continuará a ser classificada como de complexidade *baixa* (7 pontos por função). Este fato transmite a idéia de que não houve incremento de funcionalidade da função f_1 para a função f_1' .

Os tipos das funções de dados, ILF (Arquivo Lógico Interno) e EIF (Arquivo de Interface Externa) e das funções transacionais, EI (Entrada Externa), EO (Saída Externa) e EQ (Consulta Externa), em suas respectivas matrizes de complexidade funcional, podem ser mapeados no universo de discurso X , que corresponde aos Tipos de Elementos de Dados referenciados (DETs).

Como todas as matrizes de complexidade em FPA utilizam os mesmos termos lingüísticos *baixa*, *média* e *alta* para expressarem a sua complexidade, para cada uma das linhas dessas matrizes foram gerados números *fuzzy* para cada um de seus termos lingüísticos.

Ao se realizar vários experimentos para a extensão da FPA para FFPA, verificou-se que os números *fuzzy* triangulares são adequados quando se busca representar valores em torno de um ponto específico, fato que também pode ser observado através de suas propriedades geométricas. Esta característica levou a não utilização desses números *fuzzy* no modelo proposto, pois a FPA emprega intervalos de valores nas suas matrizes de complexidade.

Os números *fuzzy* representados pelas funções S e Γ (Seções 4.1) podem ser aplicados para faixas de valores. No entanto, estas funções passam a gerar o valor 1 quando o número de DETs ultrapassa uma determinada quantidade. Este resultado é desejável apenas nas funções que pertencem ao último intervalo de complexidade. Como se deseja manter a uniformidade ao longo do modelo, aplicando uma mesma classe de funções de pertinência para todos os intervalos das matrizes de complexidade da FPA, tais funções foram descartadas.

Seguindo estes critérios, os números *fuzzy* trapezoidais (Seções 4.1 e 4.6) foram selecionados para serem aplicados no modelo FFPA, pois se revelam apropriados para utilizar faixas de valores. Através dos números *fuzzy* trapezoidais, foi possível preservar os valores utilizados nas matrizes de complexidade em FPA, além de contornarem as dificuldades apresentadas nas situações apresentadas acima (S_1 , S_2 e S_3).

Neste caso, um número *fuzzy* trapezoidal pode ser representado por $\tilde{N}(a, m, n, b)$, conforme a Figura 4.1. Os valores a e b identificam, respectivamente, os limites inferior e superior da base maior do trapézio, onde $\mu_{\tilde{N}}(x) = 0$. Os valores m e n são, respectivamente, os limites inferior e superior da base menor do trapézio, onde $\mu_{\tilde{N}}(x) = 1$.

O modelo proposto para a extensão da Análise de Pontos por função (FPA), utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy*, isto é, a Análise de Pontos por Função *Fuzzy* (FFPA) consiste nas quatro etapas seguintes:

- i. *Fuzificação dos termos lingüísticos das matrizes de complexidade da FPA, através da geração de números fuzzy (trapezoidais);*
- ii. *Extensão das matrizes de complexidade da FPA, gerando-se novos termos lingüísticos;*
- iii. *Determinação do valor em pontos por função dos novos termos lingüísticos, gerados na etapa anterior; e*
- iv. *Desfuzificação dos valores dos termos lingüísticos da FFPA em pontos por função.*

5.2 Primeira Etapa

A primeira etapa é *fuzificação* dos termos lingüísticos das matrizes de complexidade da FPA, através da geração de números *fuzzy* trapezoidais. Nessa etapa, esses números *fuzzy* foram gerados para cada um dos termos lingüísticos pertencentes à matriz de complexidade das funções de dados e transacionais. O valor de m_i assume o limite inferior do termo lingüístico i da matriz de complexidade considerada. O valor de n_i é calculado a partir da média aritmética entre os valores de m_i e m_{i+1} , sendo que este resultado deve ser inteiro e arredondado. O valor de n_{i-1} e o valor de m_{i+1} foram atribuídos a a_i e b_i , respectivamente. Quando se trabalha com o primeiro ou o último termo lingüístico são feitos os devidos ajustes, segundo a equação da *função trapezoidal* (Seção 4.1). Assim, para cada um dos termos lingüísticos T_i , de cada linha das cinco matrizes de complexidade, deve-se executar os seguintes passos:

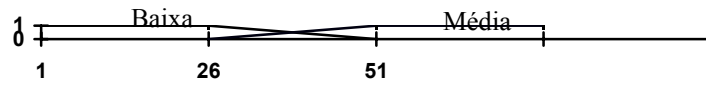
- $m_i = \text{limite inferior de } T_i$
- $n_i = (m_i + m_{i+1}) / 2$
- $a_i = n_{i-1}$
- $b_i = m_{i+1}$

5.2.1 Fuzzificação dos Termos Lingüísticos de um ILF

A matriz de complexidade de um ILF está representada na *Tabela 3.1*. A primeira linha dessa matriz, onde se enquadram os ILFs com 1 RET, possui os termos *baixa* (T_1) e *média* (T_2). Os números *fuzzy* trapezoidais gerados para esses termos foram obtidos do seguinte modo:

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 51) / 2 = 26$
- $a_1 = \neg E$
- $b_1 = 51$
- $m_2 = 51$
- $n_2 = \neg E$
- $a_2 = 26$
- $b_2 = \neg E$

A *Figura 5.1* apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima:



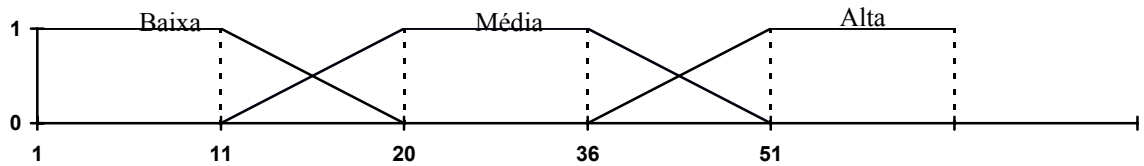
DETs

Figura 5.1 Números *fuzzy* trapezoidais gerados para ILFs com 1 RET

A segunda linha dessa matriz, definida para os ILFs com 2 a 5 RETs com os termos *baixa* (T_1), *média* (T_2) e *alta* (T_3), foi *fuzificada* seguindo os mesmos critérios:

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 20) / 2 = 11$
- $a_1 = \neg E$
- $b_1 = 20$

- $m_2 = 20$
- $n_2 = (20 + 51) / 2 = 36$
- $a_2 = 11$
- $b_2 = 51$
- $m_3 = 51$
- $n_3 = \neg E$
- $a_3 = 36$
- $b_3 = \neg E$



A Figura 5.2 apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima:

Figura 5.2: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para ILFs com 2 a 5 RETs

A terceira linha da matriz de complexidade de um ILF, onde se enquadram os ILFs com 6 ou mais RETs, possui os termos *média* (T_1) e *alta* (T_2). Os números *fuzzy* trapezoidais gerados para esses termos foram obtidos do seguinte modo:

DETs

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 20) / 2 = 11$
- $a_1 = \neg E$
- $b_1 = 20$
- $m_2 = 20$
- $n_2 = \neg E$
- $a_2 = 11$

- $b_2 = \neg E$

A *Figura 5.3* apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima:

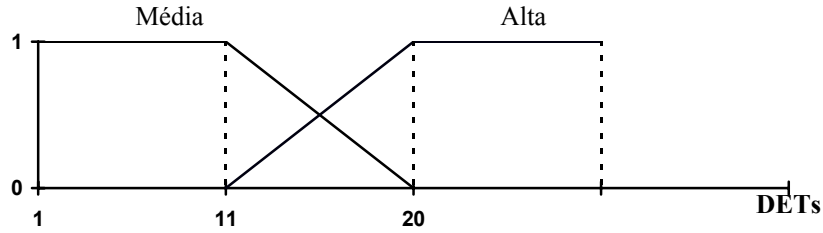


Figura 5.3: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para ILFs com 6 ou mais RETs

5.2.2 Fuzificação dos Termos Lingüísticos de um EIF

A matriz de complexidade de um EIF está representada na *Tabela 3.3*. A primeira linha dessa matriz de complexidade, onde se enquadram os ILFs com 1 RET, possui os termos *baixa* (T_1) e *média* (T_2). Os números *fuzzy* trapezoidais gerados para esses termos foram obtidos do seguinte modo:

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 51) / 2 = 26$
- $a_1 = \neg E$
- $b_1 = 51$
- $m_2 = 51$
- $n_2 = \neg E$
- $a_2 = 26$
- $b_2 = \neg E$

A Figura 5.4 apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima:

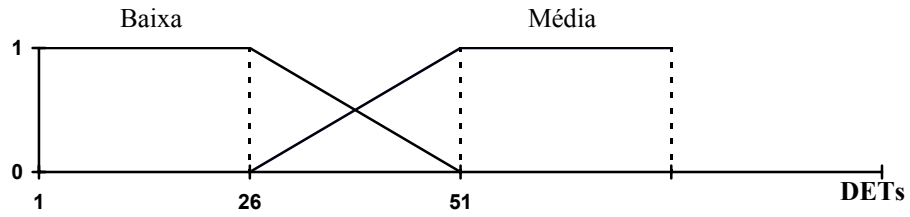


Figura 5.4: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EIFs com 1 RET

A segunda linha dessa matriz, definida para os EIFs com 2 a 5 RETs com os termos *baixa* (T_1), *média* (T_2) e *alta* (T_3), foi *fuzificada* seguindo os mesmos critérios:

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 20) / 2 = 11$
- $a_1 = \neg E$
- $b_1 = 20$
- $m_2 = 20$
- $n_2 = (20 + 51) / 2 = 36$
- $a_2 = 11$
- $b_2 = 51$
- $m_3 = 51$
- $n_3 = \neg E$
- $a_3 = 36$
- $b_3 = \neg E$

A *Figura 5.5* apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima:

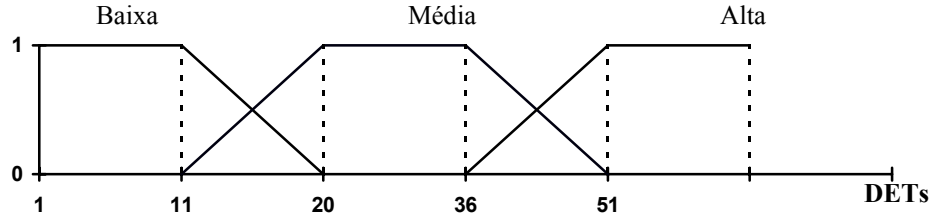


Figura 5.5: Números *Fuzzy* gerados para EIFs com 2 a 5 RETs

A terceira linha da matriz de complexidade de um EIF, onde se enquadram os EIFs com 6 ou mais RETs, possui os termos *média* (T_1) e *alta* (T_2). Os números *fuzzy* trapezoidais gerados para esses termos foram obtidos do seguinte modo:

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 20) / 2 = 11$
- $a_1 = \neg E$
- $b_1 = 20$
- $m_2 = 20$
- $n_2 = \neg E$
- $a_2 = 11$
- $b_2 = \neg E$

A *Figura 5.6* apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima:

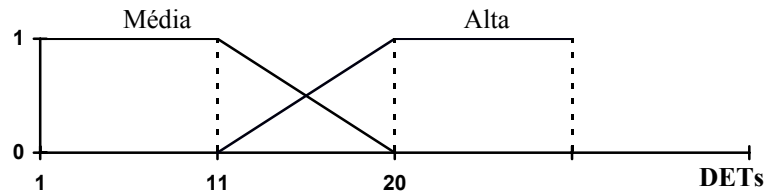


Figura 5.6: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EIFs com 6 ou mais RETs

5.2.3 Fuzificação dos Termos Lingüísticos de uma EI

A matriz de complexidade de uma EI está representada na *Tabela 3.5*. A primeira linha dessa matriz de complexidade, onde se enquadram as EIs com 0 ou 1 FTR, possui os termos *baixa* (T_1) e *média* (T_2). Os números *fuzzy* trapezoidais gerados para esses termos foram obtidos do seguinte modo:

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 16) / 2 = 9$
- $a_1 = \neg E$
- $b_1 = 16$
- $m_2 = 16$
- $n_2 = \neg E$
- $a_2 = 9$
- $b_2 = \neg E$

A *Figura 5.7* apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima.

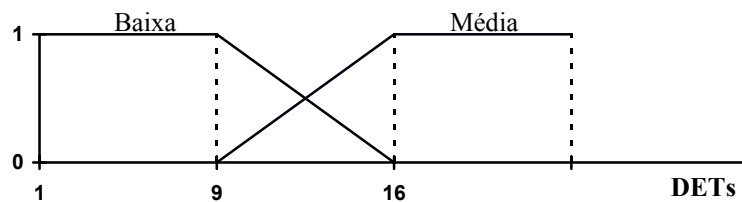


Figura 5.7: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EIs com 0 ou 1 FTR

A segunda linha dessa matriz, definida para as EIs com 2 FTRs com os termos *baixa* (T_1), *média* (T_2) e *alta* (T_3), foi *fuzificada* seguindo os mesmos critérios:

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 5) / 2 = 3$
- $a_1 = \neg E$

- $b_1 = 5$
- $m_2 = 5$
- $n_2 = (5 + 16) / 2 = 11$
- $a_2 = 3$
- $b_2 = 16$
- $m_3 = 16$
- $n_3 = \neg E$
- $a_3 = 11$
- $b_3 = \neg E$

A Figura 5.8 apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima:

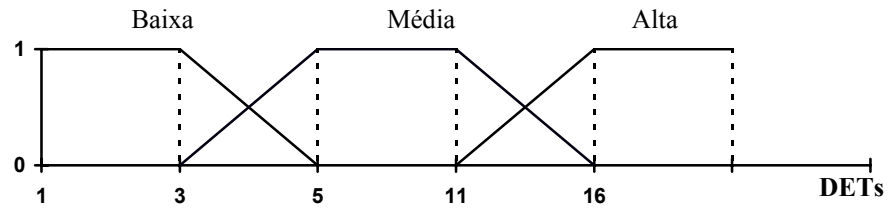


Figura 5.8: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EIs com 2 FTRs

A terceira linha da matriz de complexidade de uma EI, onde se enquadram as EIs com 3 ou mais FTRs, possui os termos *média* (T_1) e *alta* (T_2). Os números *fuzzy* trapezoidais gerados para esses termos foram obtidos do seguinte modo:

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 5) / 2 = 3$
- $a_1 = \neg E$
- $b_1 = 5$
- $m_2 = 5$

- $n_2 = \neg E$
- $a_2 = 3$
- $b_2 = \neg E$

A *Figura 5.9* apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima:

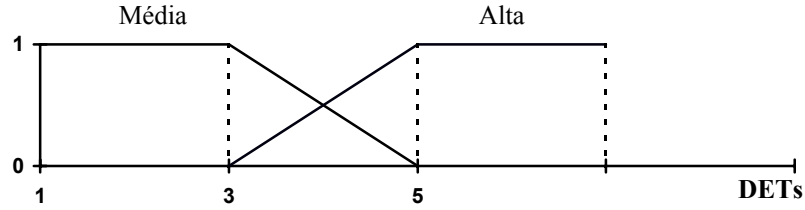


Figura 5.9: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EIs com 3 ou mais FTRs

5.2.4 Fuzificação dos Termos Lingüísticos de uma EO

A matriz de complexidade de uma EO está representada na *Tabela 3.7*. A primeira linha dessa matriz de complexidade, onde se enquadram as EIs com 0 ou 1 FTR, possui os termos *baixa* (T_1) e *média* (T_2). Os números *fuzzy* trapezoidais gerados para esses termos foram obtidos do seguinte modo:

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 20) / 2 = 11$
- $a_1 = \neg E$
- $b_1 = 20$
- $m_2 = 20$
- $n_2 = \neg E$
- $a_2 = 11$
- $b_2 = \neg E$

A Figura 5.10 apresenta os números *fuzzy* obtidos a partir dos cálculos acima:

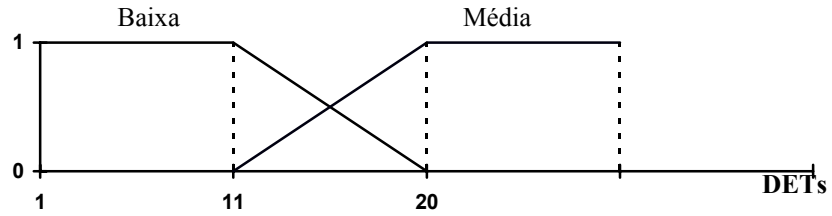


Figura 5.10: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EOs com 0 ou 1 FTR

A segunda linha dessa matriz, definida para as EOs com 2 ou 3 FTRs com os termos *baixa* (T_1), *média* (T_2) e *alta* (T_3), foi *fuzificada* seguindo os mesmos critérios:

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 6) / 2 = 4$
- $a_1 = \neg E$
- $b_1 = 6$
- $m_2 = 6$
- $n_2 = (6 + 20) / 2 = 13$
- $a_2 = 4$
- $b_2 = 20$
- $m_3 = 20$
- $n_3 = \neg E$
- $a_3 = 13$
- $b_3 = \neg E$

A *Figura 5.11* apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima:

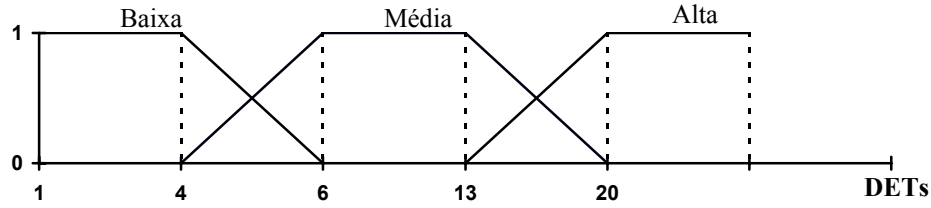


Figura 5.11: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EOs com 2 ou 3 FTRs

A terceira linha da matriz de complexidade de uma EO, onde se enquadram as EOs com 4 ou mais FTRs, possui os termos *média* (T_1) e *alta* (T_2). Os números *fuzzy* gerados para esses termos foram obtidos do seguinte modo:

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 6) / 2 = 4$
- $a_1 = \neg E$
- $b_1 = 6$
- $m_2 = 6$
- $n_2 = \neg E$
- $a_2 = 4$
- $b_2 = \neg E$

A *Figura 5.12* apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima:

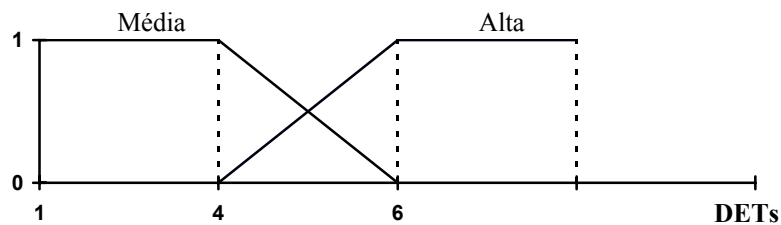


Figura 5.12: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EOs com 4 ou mais FTRs

5.2.5 Fuzificação dos Termos Lingüísticos de uma EQ

A matriz de complexidade de uma EQ está representada na *Tabela 3.9*. A primeira linha dessa matriz de complexidade, onde se enquadram as EQs com 0 ou 1 FTR, possui os termos *baixa* (T_1) e *média* (T_2). Os números *fuzzy* trapezoidais gerados para esses termos foram obtidos do seguinte modo:

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 20) / 2 = 11$
- $a_1 = \neg E$
- $b_1 = 20$
- $m_2 = 20$
- $n_2 = \neg E$
- $a_2 = 11$
- $b_2 = \neg E$

A *Figura 5.13* apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima:

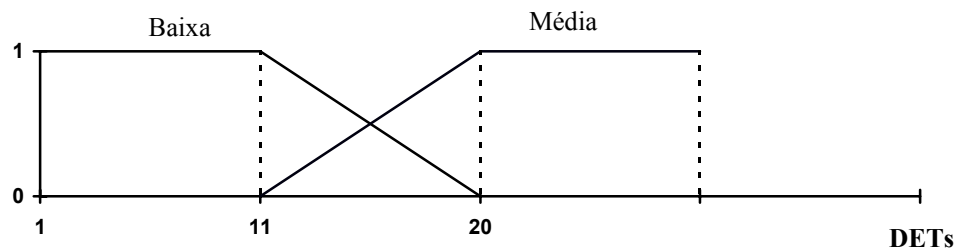


Figura 5.13: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EQs com 0 ou 1 FTR

A segunda linha dessa matriz, definida para as EQs com 2 ou 3 FTRs com os termos *baixa* (T_1), *média* (T_2) e *alta* (T_3), foi fuzificada seguindo os mesmos critérios:

- $m_1 = 1$

- $n_1 = (1 + 6) / 2 = 4$
- $a_1 = \neg E$
- $b_1 = 6$
- $m_2 = 6$
- $n_2 = (6 + 20) / 2 = 13$
- $a_2 = 4$
- $b_2 = 20$
- $m_3 = 20$
- $n_3 = \neg E$
- $a_3 = 13$
- $b_3 = \neg E$

A Figura 5.14 apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima:

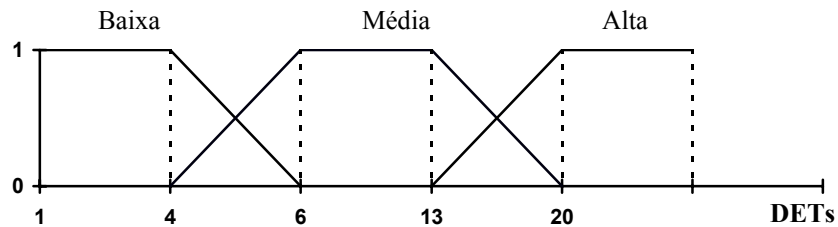


Figura 5.14: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EQs com 2 ou 3 FTRs

A terceira linha da matriz de complexidade de uma EQ, onde se enquadram as EQs com 4 ou mais FTRs, possui os termos *média* (T_1) e *alta* (T_2). Os números *fuzzy* trapezoidais gerados para esses termos foram obtidos do seguinte modo:

- $m_1 = 1$
- $n_1 = (1 + 6) / 2 = 4$
- $a_1 = \neg E$

- $b_1 = 6$
- $m_2 = 6$
- $n_2 = \neg E$
- $a_2 = 4$
- $b_2 = \neg E$

A Figura 5.15 apresenta os números *fuzzy* trapezoidais obtidos a partir dos cálculos acima:

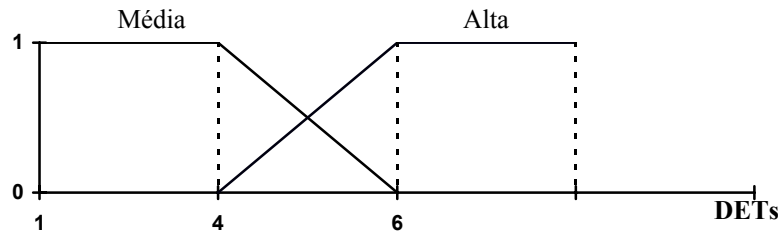


Figura 5.15: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EQs com 4 ou mais FTRs

5.3 Segunda etapa

A segunda etapa é a extensão das matrizes de complexidade da FPA, gerando-se novos termos lingüísticos. Essa etapa veio minimizar os problemas mencionados no início deste capítulo, particularmente o exemplo da situação S_2 , que se tornam mais críticos à medida que o número de tipos de registro lógicos (RETs) e o número de arquivos referenciados (FTRs) aumentam nas funções de dados e funções transacionais, respectivamente.

Neste contexto, acrescentou-se um novo intervalo de complexidade, isto é, o termo lingüístico *alta* para as funções de dados e transacionais, que contemplavam no máximo o intervalo de complexidade *média*. Pelo mesmo motivo, adicionou-se um novo intervalo de complexidade *muito alta* para as funções restantes, aplicando-se o modificador *muito* ao termo lingüístico *alta*.

Devido à semântica do novo número *fuzzy* gerado para a FPA tradicional (*muito alta*), não foram aplicadas as operações de transformação, indicadas pela literatura para o modificador

muito. A questão crítica desse novo número *fuzzy* trapezoidal \tilde{N}_i é o cálculo do valor mais adequado para m_i e n_{i-1} . O valor de n_{i-1} , pelo qual se calcula o valor de m_i , é o ponto a partir do qual a função de pertinência passaria a perder as características de complexidade *alta* e, conseqüentemente, começaria a adquirir as características de complexidade *muito alta*.

A última linha da matriz de complexidade de cada função foi o ponto de partida para a criação do novo número *fuzzy*. De acordo com o que está estabelecido em (IFPUG, 1999), as funções que se encaixam nas duas últimas células da matriz possuem complexidade *alta*. A fim de manter o uso dos valores utilizados pelo (IFPUG, 1999), decidiu-se que o número que indica o limite inferior da terceira coluna da matriz representa o valor de n_i do conjunto *fuzzy* das funções de complexidade *alta*.

Sabendo-se que o valor de n_{i-1} de um dado número *fuzzy* corresponde ao valor de a_i e que o valor de a_i é calculado pela média aritmética de m_i e m_{i-1} , gerou-se a *Tabela 5.1* abaixo, com os valores calculados para m_i de cada um dos cinco tipos de função pertencentes à FPA.

Tabela 5.1: Valores de m_i para $T_i = \textit{muito alta}$

Tipo da Função	T_{i-1}	n_{i-1}	m_{i-1}	T_i	m_i
ILF	Alta	51	20	Muito Alta	82
EIF	Alta	51	20	Muito Alta	82
EI	Alta	16	5	Muito Alta	27
EO	Alta	20	6	Muito Alta	34
EQ	Alta	20	6	Muito Alta	34

Deste momento em diante, o valor de m_i para o número *fuzzy* de complexidade *muito alta* será referenciado como k , para simplificar a condução deste trabalho. Abaixo seguem as matrizes estendidas de complexidade funcional relativa para cada um dos cinco tipos de funções da FPA.

A Tabela 5.2 apresenta a matriz estendida de complexidade funcional relativa de um ILF, juntamente com as Figuras 5.16, 5.17 e 5.18, que representam os números *fuzzy* trapezoidais gerados para ILFs estendendo as Figuras 5.1, 5.2 e 5.3.

Tabela 5.2: Matriz estendida de complexidade funcional relativa de um ILF

Número de registros lógicos (RET)	Item de Dados Referenciados (DET)			
	1 a 19	20 a 50	51 a $k-1$	k ou mais
1	Baixa	Baixa	Média	Alta
2 a 5	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
6 ou mais	Média	Alta	Alta	Muito Alta

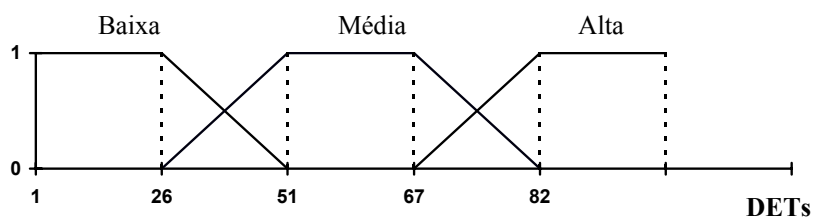


Figura 5.16: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para ILFs com 1 RET (estendido)

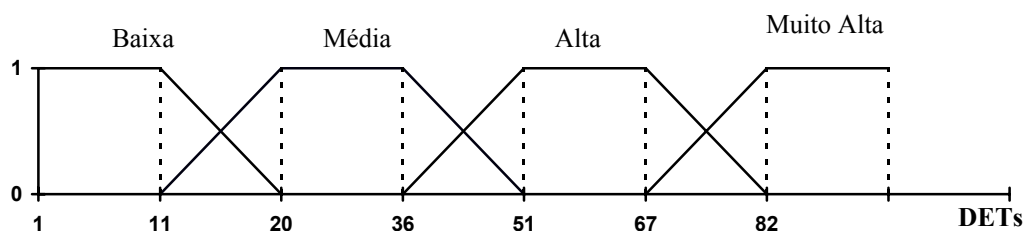


Figura 5.17: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para ILFs com 2 a 5 RETs (estendido)

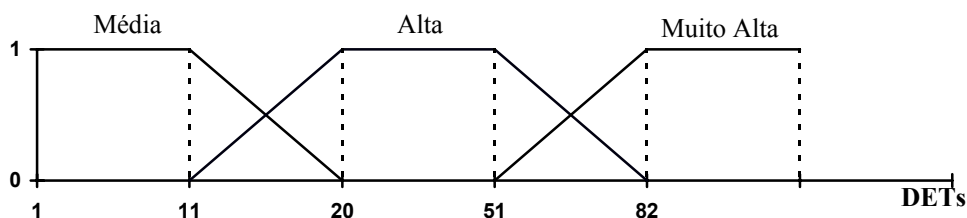


Figura 5.18: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para ILFs com 6 ou mais RETs (estendido)

A Tabela 5.3 apresenta a matriz estendida de complexidade funcional relativa de um EIF, juntamente com as Figuras 5.19, 5.20 e 5.21, que representam os números *fuzzy* trapezoidais gerados para ILFs estendendo as Figuras 5.4, 5.5 e 5.6.

Tabela 5.3: Matriz estendida de complexidade funcional relativa de um EIF

Número de registros lógicos (RET)	Item de Dados Referenciados (DET)			
	1 a 19	20 a 50	51 a $k-1$	k ou mais
1	Baixa	Baixa	Média	Alta
2 a 5	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
6 ou mais	Média	Alta	Alta	Muito Alta

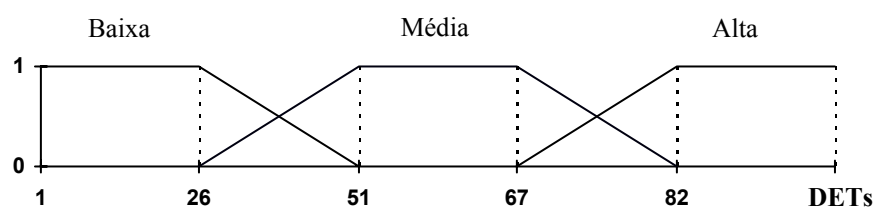


Figura 5.19: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EIFs com 1 RET (estendido)

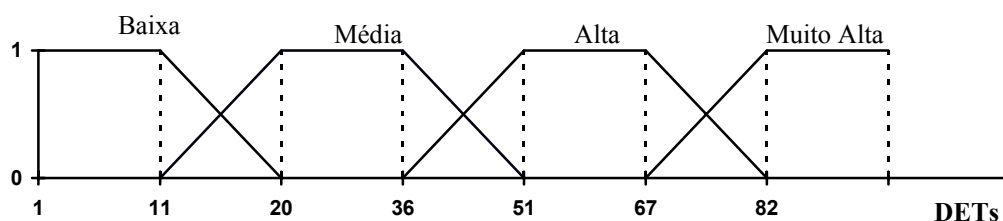


Figura 5.20: Números *fuzzy* gerados para EIFs com 2 a 5 RETs (estendido)

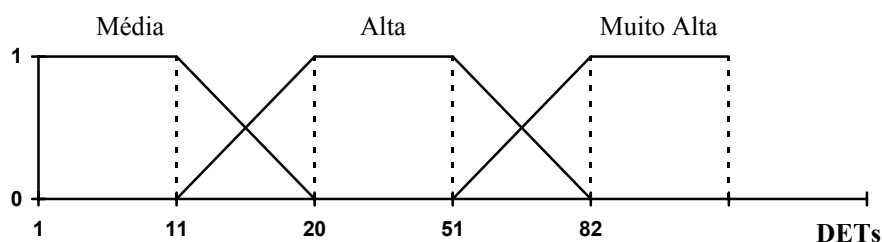


Figura 5.21: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EIFs com 6 ou mais RETs (estendido)

A Tabela 5.4 apresenta a matriz estendida de complexidade funcional relativa de um EI, juntamente com as Figuras 5.22, 5.23 e 5.24, que representam os números *fuzzy* trapezoidais gerados para ILFs estendendo as Figuras 5.7, 5.8 e 5.9.

Tabela 5.4: Matriz estendida de complexidade funcional relativa de uma EI

Número de arquivos referenciados (FTR)	Item de Dados Referenciados (DET)			
	1 a 4	5 a 15	16 a $k-1$	k ou mais
0 ou 1	Baixa	Baixa	Média	Alta
2	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
3 ou mais	Média	Alta	Alta	Muito Alta

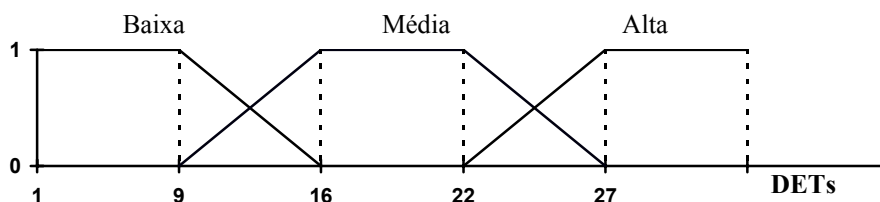


Figura 5.22: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EIs com 0 ou 1 FTR (estendido)

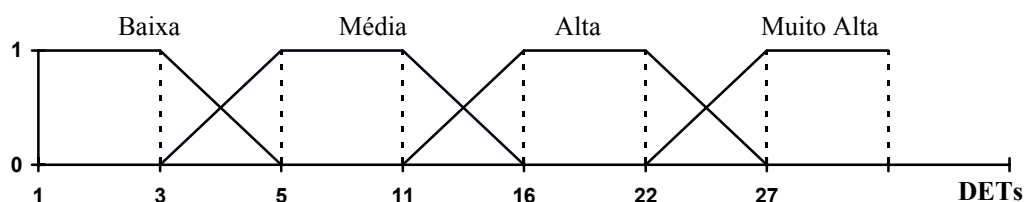


Figura 5.23: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EIs com 2 FTRs (estendido)

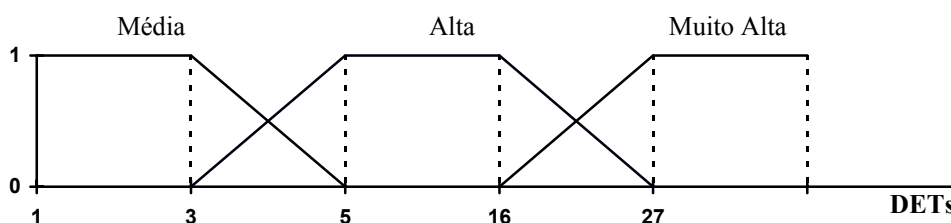


Figura 5.24: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EIs com 3 ou mais FTRs (estendido)

A *Tabela 5.5* apresenta a matriz estendida de complexidade funcional relativa de um EO, juntamente com as *Figuras 5.25*, *5.26* e *5.27*, que representam os números *fuzzy* trapezoidais gerados para ILFs estendendo as *Figuras 5.10*, *5.11* e *5.12*.

Tabela 5.5: Matriz estendida de complexidade funcional relativa de uma EO

Número de arquivos referenciados (FTR)	Item de Dados Referenciados (DET)			
	1 a 5	6 a 19	20 a $k-1$	k ou mais
0 ou 1	Baixa	Baixa	Média	Alta
2 a 3	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
4 ou mais	Média	Alta	Alta	Muito Alta

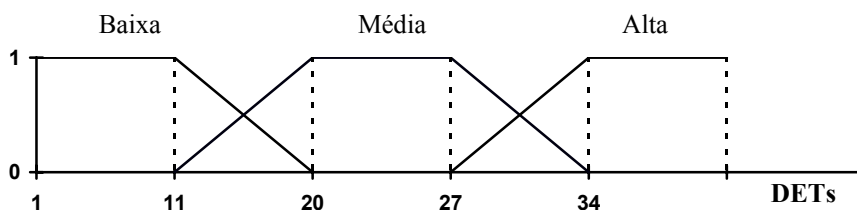


Figura 5.25: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EOs com 0 ou 1 FTR (estendido)

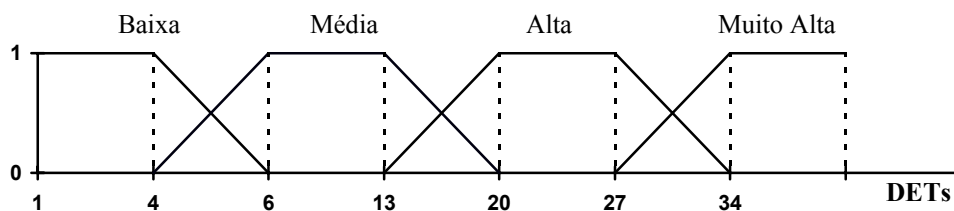


Figura 5.26: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EOs com 2 ou 3 FTRs (estendido)

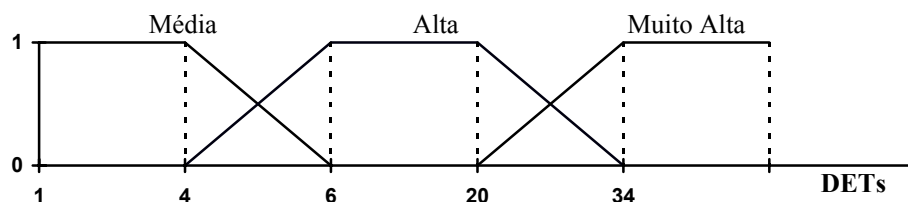


Figura 5.27: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EOs com 4 ou mais FTRs (estendido)

A *Tabela 5.6* apresenta a matriz estendida de complexidade funcional relativa de um EQ, juntamente com as *Figuras 5.28*, *5.29* e *5.30*, que representam os números *fuzzy* trapezoidais gerados para ILFs estendendo as *Figuras 5.13*, *5.14* e *5.15*.

Tabela 5.6: Matriz estendida de complexidade funcional relativa de uma EQ

Número de arquivos referenciados (FTR)	Item de Dados Referenciados (DET)			
	1 a 5	6 a 19	20 a $k-1$	k ou mais
0 ou 1	Baixa	Baixa	Média	Alta
2 a 3	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
4 ou mais	Média	Alta	Alta	Muito Alta

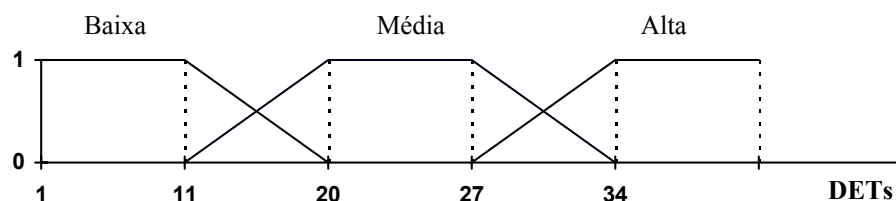


Figura 5.28: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EQs com 0 ou 1 FTR (estendido)

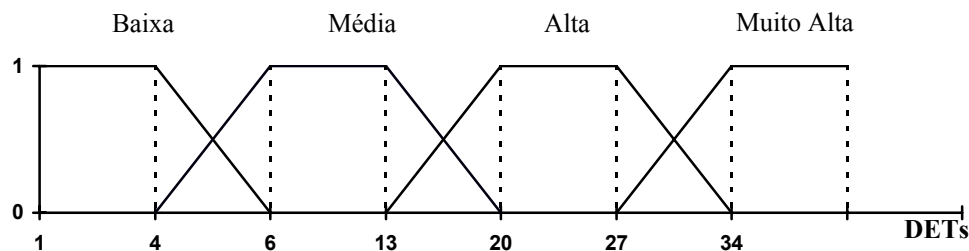


Figura 5.29: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EQs com 2 ou 3 FTRs (estendido)

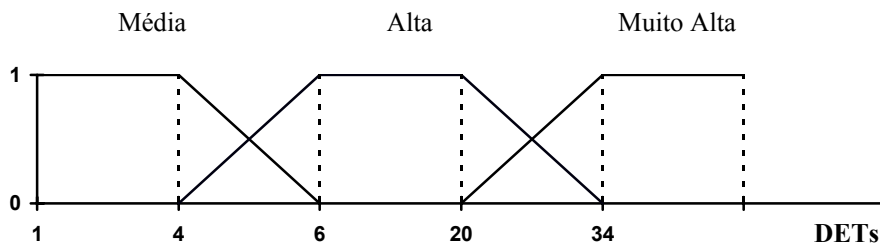


Figura 5.30: Números *fuzzy* trapezoidais gerados para EQs com 4 ou mais FTRs (estendido)

Partindo-se de uma base histórica de sistemas desenvolvidos através de pontos por função, pode-se chegar a um valor mais apropriado para k que se amolde à instituição de desenvolvimento de software em foco. No estudo de caso realizado no capítulo 6, isto fica melhor evidenciado.

5.4 Terceira Etapa

A terceira etapa é a determinação do valor em pontos por função dos novos termos lingüísticos gerados na etapa anterior. Em FPA, a cada termo lingüístico T_i dos n termos utilizados (*baixa*, *média* e *alta*), são atribuídos p_i pontos por função, de acordo com a matriz de complexidade considerada. Em FFPA, esses pontos são associados diretamente ao número *fuzzy* do termo lingüístico, onde $\mu_{\tilde{N}}(x) = 1$.

Assim sendo, tornou-se necessário obter o valor dos pontos por função do novo termo lingüístico (*muito alta*), o qual foi calculado pela extrapolação dos valores já definidos para os termos *baixa*, *média* e *alta* de cada função.

Considerando-se que as rotinas e funções de interpolação podem ser usadas para extrapolação (NUMREC, 1992) e que os conjuntos que representam os termos lingüísticos estão igualmente espaçados, tornou-se viável aplicar interpolação com diferenças finitas, caso especial da interpolação binomial em que as abscissas dos pontos são eqüidistantes. De forma particular, a função *aproximante* da Fórmula de Newton é assim definida (Santos, 1972):

$$p_n(u) = f_0 + \binom{u}{1} \Delta f_0 + \binom{u}{2} \Delta^2 f_0 + \dots + \binom{u}{n} \Delta^n f_0,$$

onde u é o valor correspondente à abscissa x na interpolar e Δ é o operador das diferenças progressivas. Neste caso, os valores das abscissas 1, 2, 3 e 4 foram atribuídos aos termos *baixa*, *média*, *alta* e *muito alta*, respectivamente.

O valor de u é obtido através da equação abaixo:

$$u = \frac{x - x_0}{h},$$

onde h é o passo, ou seja, a diferença de valor entre dois valores de x subsequentes. O valor de u é 3 para todas as funções de dados e transacionais, pois $h = 1$ (passo), $x = 4$ (*muito alta*) e $x_0 = 1$ (*baixa*).

Os termos Δf_i e $\Delta^n[f(x)]$ da função *aproximante* são calculados da seguinte forma:

$$\Delta f_i = f_{i+1} - f_i \text{ e}$$

$$\Delta^n[f(x)] = \Delta^{n-1}[f(x + h)] - \Delta^{n-1}[f(x)],$$

onde $n = 2, 3, \dots$.

Aplicando-se as definições acima, os valores obtidos para os números *fuzzy* trapezoidais das funções de complexidade *muito alta* foram estimados para as funções de dados e transacionais. A *Tabela 5.7* apresenta as diferenças progressivas, utilizadas para o cálculo dos pontos por função para o termo *muito alta* de um ILF.

Tabela 5.7: Tabela das diferenças progressivas - ILF

Complexidade	i	f_i	Δf_i	$\Delta^2 f_i$
Baixa	0	7	3	2
Média	1	10	5	-
Alta	2	15	-	-

O valor dos pontos por função para o termo *muito alta* de um ILF foi obtido pela substituição dos termos acima na função *aproximante*:

- $p_2(u) = f_0 + \binom{u}{1} \Delta f_0 + \binom{u}{2} \Delta^2 f_0$
- $p_2(3) = 7 + \binom{3}{1} \cdot 3 + \binom{3}{2} \cdot 2$

- $p_2(3) = 7 + 3 \cdot 3 + 3 \cdot 2 = 22$

A *Tabela 5.8* apresenta as diferenças progressivas, utilizadas para o cálculo dos pontos por função para o termo *muito alta* de um EIF.

Tabela 5.8: Tabela das Diferenças Progressivas - EIF

Complexidade	i	f_i	Δf_i	$\Delta^2 f_i$
Baixa	0	5	2	1
Média	1	7	3	-
Alta	2	10	-	-

O valor dos pontos por função para o termo *muito alta* de um EIF foi obtido pela substituição dos termos acima na função *aproximante*:

- $p_2(u) = f_0 + \binom{u}{1} \Delta f_0 + \binom{u}{2} \Delta^2 f_0$
- $p_2(3) = 5 + \binom{3}{1} \cdot 2 + \binom{3}{2} \cdot 1$
- $p_2(3) = 5 + 3 \cdot 2 + 3 \cdot 1 = 14$

A *Tabela 5.9* apresenta as diferenças progressivas, utilizadas para o cálculo dos pontos por função para o termo *muito alta* de um EI.

Tabela 5.9: Tabela das Diferenças Progressivas - EI

Complexidade	i	f_i	Δf_i	$\Delta^2 f_i$
Baixa	0	3	1	1
Média	1	4	2	-
Alta	2	6	-	-

O valor dos pontos por função para o termo *muito alta* de uma EI foi obtido pela substituição dos termos acima na função aproximante:

- $p_2(u) = f_0 + \binom{u}{1} \Delta f_0 + \binom{u}{2} \Delta^2 f_0$
- $p_2(3) = 3 + \binom{3}{1} \cdot 1 + \binom{3}{2} \cdot 1$
- $p_2(3) = 3 + 3 \cdot 1 + 3 \cdot 1 = 9$

A Tabela 5.10 apresenta as diferenças progressivas, utilizadas para o cálculo dos pontos por função para o termo *muito alta* de um EO.

Tabela 5.10: Tabela das Diferenças Progressivas - EO

Complexidade	i	f_i	Δf_i	$\Delta^2 f_i$
Baixa	0	4	1	1
Média	1	5	2	-
Alta	2	7	-	-

O valor dos pontos por função para o termo *muito alta* de uma EO foi obtido pela substituição dos termos acima na função aproximante:

- $p_2(u) = f_0 + \binom{u}{1} \Delta f_0 + \binom{u}{2} \Delta^2 f_0$
- $p_2(3) = 4 + \binom{3}{1} \cdot 1 + \binom{3}{2} \cdot 1$
- $p_2(3) = 4 + 3 \cdot 1 + 3 \cdot 1 = 10$

A *Tabela 5.11* apresenta as diferenças progressivas, utilizadas para o cálculo dos pontos por função para o termo *muito alta* de um EQ.

Tabela 5.11: Tabela das Diferenças Progressivas - EQ

Complexidade	i	f_i	Δf_i	$\Delta^2 f_i$
Baixa	0	3	1	1
Média	1	4	2	-
Alta	2	6	-	-

O valor dos pontos por função para o termo *muito alta* de uma EQ foi obtido pela substituição dos termos acima na função aproximante:

- $p_2(u) = f_0 + \binom{u}{1} \Delta f_0 + \binom{u}{2} \Delta^2 f_0$
- $p_2(3) = 3 + \binom{3}{1} \cdot 1 + \binom{3}{2} \cdot 1$
- $p_2(3) = 3 + 3 \cdot 1 + 3 \cdot 1 = 9$

5.5 Quarta Etapa

Na quarta etapa, processa-se a *defuzificação* dos valores dos termos lingüísticos da FFPA em pontos por função. Segundo (Laekwijck, 1999), critérios próprios de defuzificação que não estão diretamente relacionados com conceitos e fundamentos teóricos podem ser formulados, quando houver resultados práticos de maior importância. Em FFPA, para se obter o número de pontos por função p_d a partir dos números *fuzzy* trapezoidais, há dois casos possíveis:

- O número de DETs está entre os valores de m e n do número *fuzzy* trapezoidal. Nesta situação, o valor dos pontos em FPA é igual ao valor dos pontos por função em FFPA, pois $\mu_{\tilde{N}}(x) = 1$.

- O número de DETs está entre os valores de n_i e b_i do número *fuzzy* trapezoidal, implicando que o mesmo também está entre a_{i+1} e m_{i+1} . Neste caso, realiza-se o seguinte processo de *desfuzificação*, onde $\bar{\mu}_{\tilde{N}}(x)$ é o complementar de $\mu_{\tilde{A}}(x)$.

$$p_d = \mu_{\tilde{N}}(x).p_i + \bar{\mu}_{\tilde{N}}(x).p_{i+1}$$

Por exemplo, aplicando a definição acima para um ILF com 1 RET e 35 DETs, obtém-se:

$$\mu_{\tilde{N}}(35) = (51 - 35)/(51 - 26) = 0.64; \text{ logo, o complementar } \bar{\mu}_{\tilde{N}}(35) = 0.36$$

$$p_d = 0.64 (7) + 0.36 (10) = 8.08 \text{ pontos por função}$$

5.6 Conclusão

Este capítulo delineou em detalhes as quatro etapas do modelo proposto (FFPA), que propôs a extensão da Análise de pontos por função (FPA), através da teoria dos conjuntos fuzzy.

O próximo capítulo apresentará os resultados da aplicação desse modelo proposto sobre uma base histórica de dados de sistemas, cujas previsões de prazo para conclusão do projeto de desenvolvimento ou manutenção correspondente foram calculadas a partir de valores fornecidos pela FPA.