

ENG1456 - Lógica Fuzzy - Trabalho 2

Aluno: Matheus Carneiro Nogueira - 1810764

Professora: Ricardo Tanscheit

Sumário

1	Parte 1 - Controle do Guindaste	1
1.1	QR 1 - Exibindo estado inicial	1
1.2	QR 1 - Alteração de Regras	3
1.3	QR 2 - Exibindo estado inicial	5
1.4	QR 2 - Alteração de Regras	6
2	Parte 2 - Problema Financiamento Imobiliário	7
2.1	Comentários Iniciais	7
2.2	Montando o Sistema de Inferência Fuzzy	8
2.3	Respostas Manuais	10
2.4	Respostas FuzzyTech	13

Resumo

Este documento consiste no relatório do trabalho 2 do módulo de Lógica Fuzzy da disciplina ENG1456 da PUC-Rio. O trabalho é dividido em duas partes. Primeiramente, o objetivo é alterar o banco de regras em duas situações distintas com o intuito de fazer o container ser parar no local correto. A segunda parte consiste em calcular manualmente as saídas de cada base de regras e a resposta final do sistema de inferência para as variáveis definidas no problema imobiliário. Será utilizado o software Fuzzytech para a realização deste trabalho.

1 Parte 1 - Controle do Guindaste

1.1 QR 1 - Exibindo estado inicial

Antes de alterar o banco de regras do sistema de controle fuzzy para o controle do guindaste, as figuras abaixo exibem o estado inicial dessas regras. Além disso, também é exibida uma figura que mostra a posição final do container na situação 1.

Rule Blocks							
RB1							
	Name	If	And	Operators	Then	With	Audit
B1	RB1	1	2	Min / Max	1		2016-11
B1.G1		Angle: 3	Distance: 2,79		Power: -2,36	DoS [%]	2016-11
B1.G1.R1		Angle.pos_small	Distance.zero	→	Power.neg_medium	100	
B1.G1.R2		Angle.zero	Distance.zero	→	Power.zero	100	
B1.G1.R3		Angle.pos_small	Distance.close	→	Power.neg_medium	100	
B1.G1.R4		Angle.zero	Distance.close	→	Power.zero	100	
B1.G1.R5		Angle.neg_small	Distance.close	→	Power.pos_medium	100	
B1.G1.R6		Angle.neg_small	Distance.medium	→	Power.pos_high	100	
B1.G1.R7		Angle.neg_big	Distance.medium	→	Power.neg_medium	100	2016-11
B1.G1.R8		Angle.zero	Distance.far	→	Power.pos_medium	100	
B1.G1.R9		Angle.neg_small	Distance.far	→	Power.pos_high	100	
*							

Figura 1: Regras originais

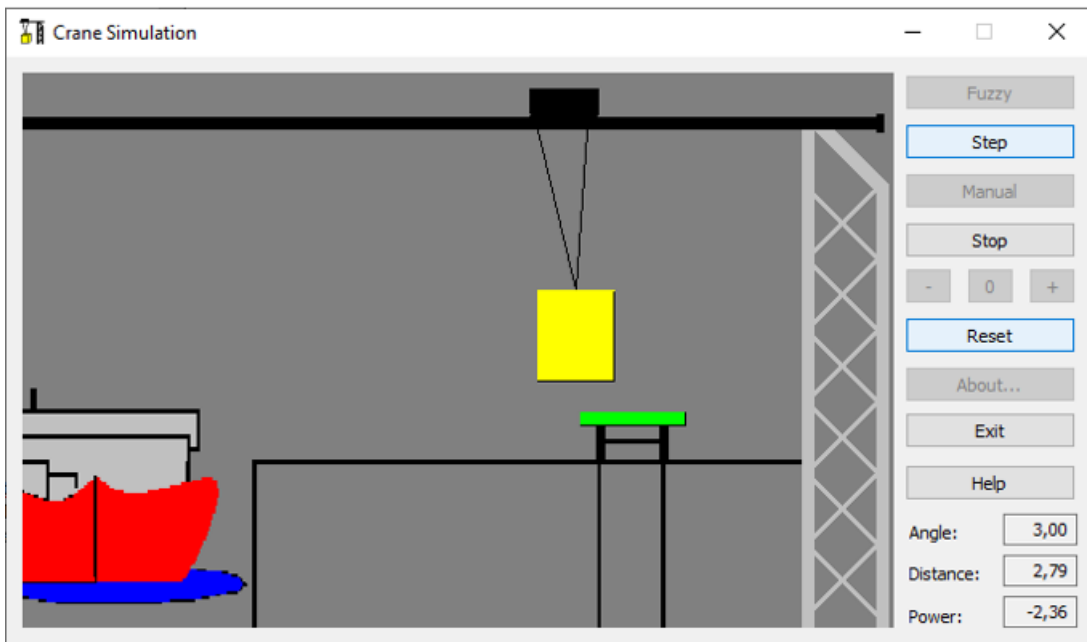


Figura 2: Posição Final original do container

A partir da figura 2 pode-se perceber que o guindaste parou antes da posição correta. Vale a pena, antes de mudar as regras arbitrariamente, analisar as regras originais para tentar encontrar alguma regra mal definida.

Primeiramente, nota-se que existem duas regras cuja consequência é *Power.zero*. São elas:

$$Angle.zero \& Distance.zero \rightarrow Power.zero$$

$$Angle.zero \& Distance.close \rightarrow Power.zero$$

A primeira regra faz sentido, uma vez que os dois antecedentes indicam que o guindaste chegou na posição correta, o que implica que ele deve ser desligado. A segunda, por outro

lado, é estranha. Ao se aproximar do local destino, isto é, à medida que a distância fica próxima, é natural que queiramos diminuir a potência do guindaste, mas não zerá-la completamente. Essa será a primeira regra a ser alterada.

1.2 QR 1 - Alteração de Regras

Como comentado, a primeira alteração a ser feita é alterar a regra (1) abaixo. Como o guindaste parou um pouco antes do local adequado, alteremos essa regra para (2), pois queremos que o guindaste ainda ande um pouco para a direita.

$$\text{Angle.zero} \& \text{Distance.close} \rightarrow \text{Power.zero} \quad (1)$$

$$\text{Angle.zero} \& \text{Distance.close} \rightarrow \text{Power.pos_medium} \quad (2)$$

O resultado dessa alteração é exibido na figura abaixo.

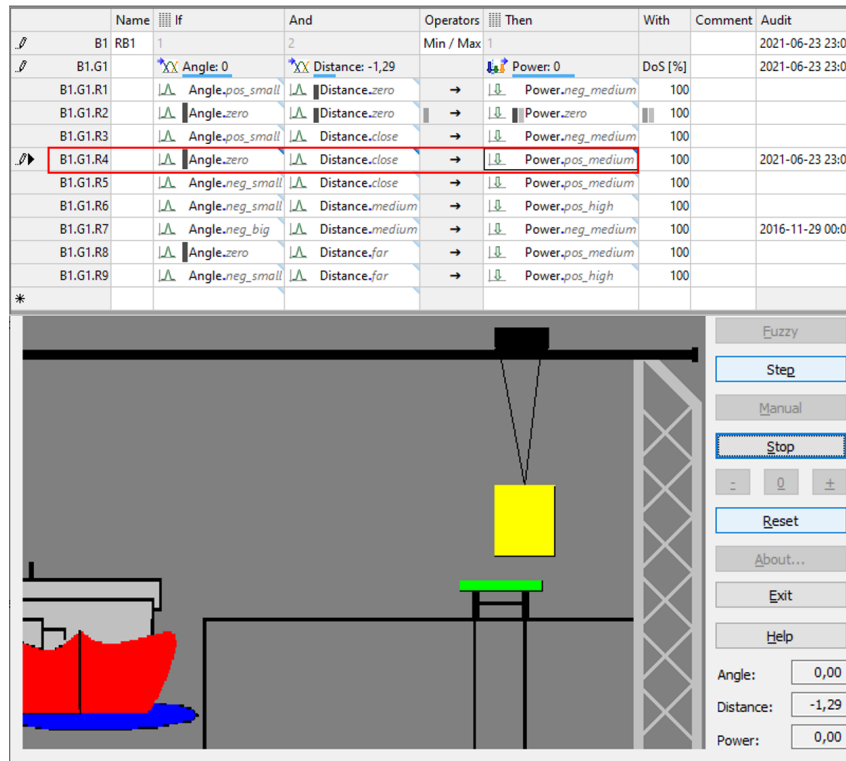


Figura 3: Resultado da primeira alteração

Com isso, o guindaste passou um pouco do local final adequado. Podemos tentar contrabalancear isso alterando a regra (3) abaixo para (4).

$$\text{Angle.pos_small} \& \text{Distance.close} \rightarrow \text{Power.neg_medium} \quad (3)$$

$$\text{Angle.pos_small} \& \text{Distance.close} \rightarrow \text{Power.neg_high} \quad (4)$$

O resultado encontra-se abaixo.

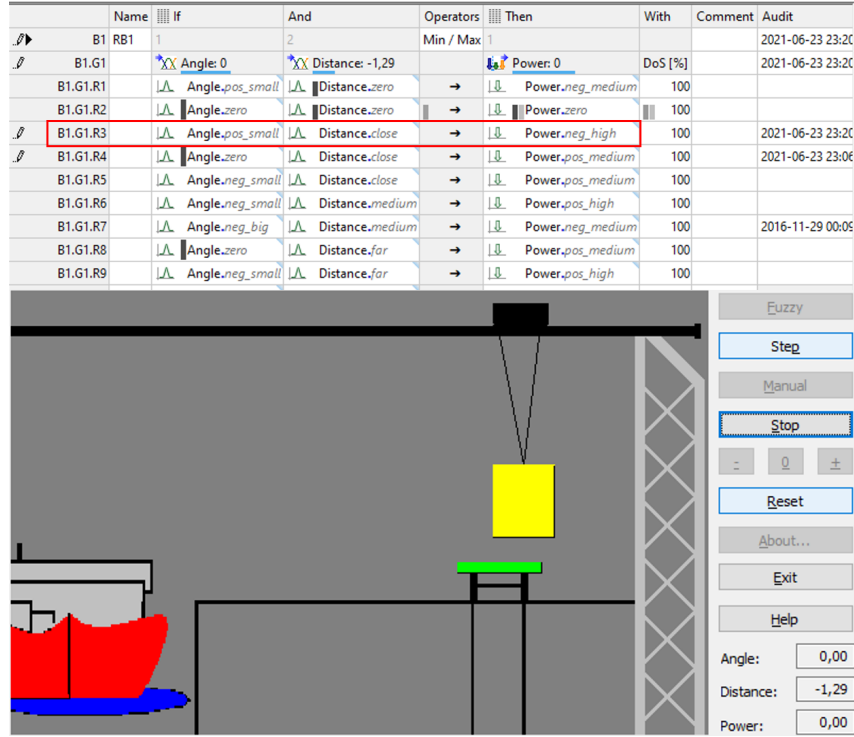


Figura 4: Resultado da segunda alteração

Pouca diferença é notada após essa segunda alteração. Sendo assim, ainda é necessária uma alteração que ou impeça o guindaste de passar da posição correta ou que, uma vez ultrapassada, faça o guindaste retornar. Como não existe na variável *Distance* um valor que expresse a ultrapassagem. O enunciado estabelece que é proibida a exclusão de regras, mas não diz nada sobre a inclusão de novas regras. Sendo assim, foi incluída a regra (5) abaixo para fazer com que o guindaste, se passar do local correto, volte um pouco.

$$Angle.zero \& Distance.neg_close \rightarrow Power.neg_medium \quad (5)$$

A figura abaixo exhibe o resultado obtido com a inclusão dessa regra.

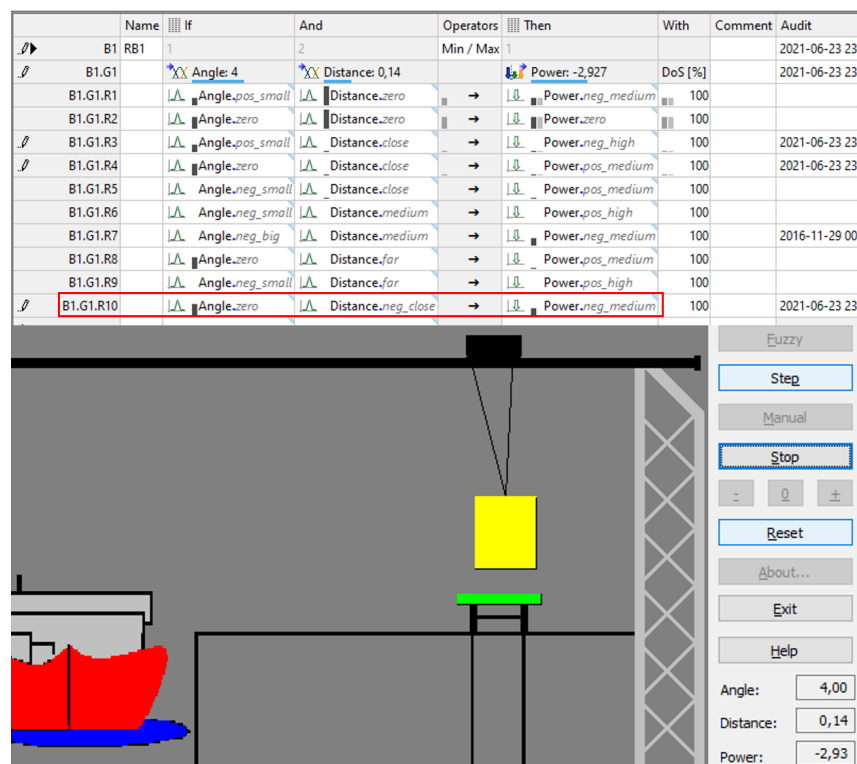


Figura 5: Adição de nova regra

Nota-se que, com a adição dessa nova regra, a posição final do guindaste está muito próxima do ideal, com distância de 0.14, sendo o ideal 0.

1.3 QR 2 - Exibindo estado inicial

Assim como na seção anterior, a figura abaixo exhibe as regras originais e a posição final original do guindaste.

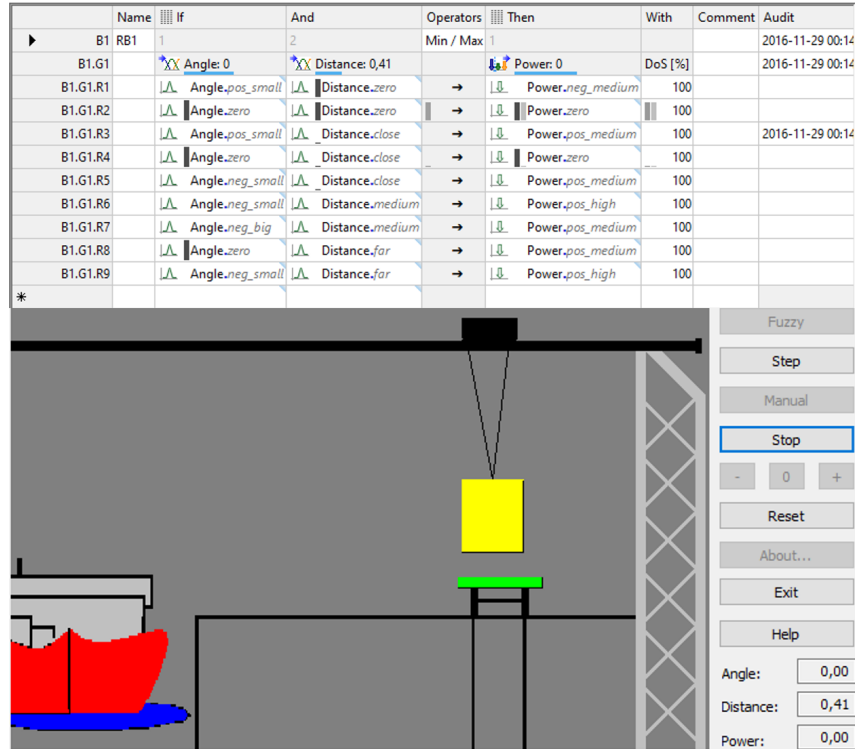


Figura 6: Regras originais e posição final original do guindaste

Como pode ser percebido pelo canto inferior direito da figura 6, a posição final do guindaste está muito próxima da ideal. Dito isso, os ajustes que devem ser feitos nas regras devem estar mais relacionados com ajustes finos e finais, isto é, ajustes das regras que envolvem a variável *Angle* em seus valores *zero*, *neg_small* e *pos_small* e a variável *Distance* em seus valores *zero*, *close* e *neg_close*. Além disso, a alteração nas regras deve fazer o guindaste andar um pouco mais para a direita.

1.4 QR 2 - Alteração de Regras

A primeira alteração a ser feita é trocar a regra (6) pela regra (7) abaixo.

$$Angle.neg_small \& Distance.close \rightarrow Power.pos_medium \quad (6)$$

$$Angle.neg_small \& Distance.close \rightarrow Power.neg_medium \quad (7)$$

O que se espera com essa alteração é, quando o guindaste estiver muito próximo ao local desejado e com ângulo pequeno negativo, isto é, um pouco à direita do local desejado, ao invés de colocar potência positiva, que empurraria o guindaste mais para a direita, colocar potência negativa para trazê-lo um pouco mais para a esquerda. O resultado dessa alteração está exibido na figura abaixo.

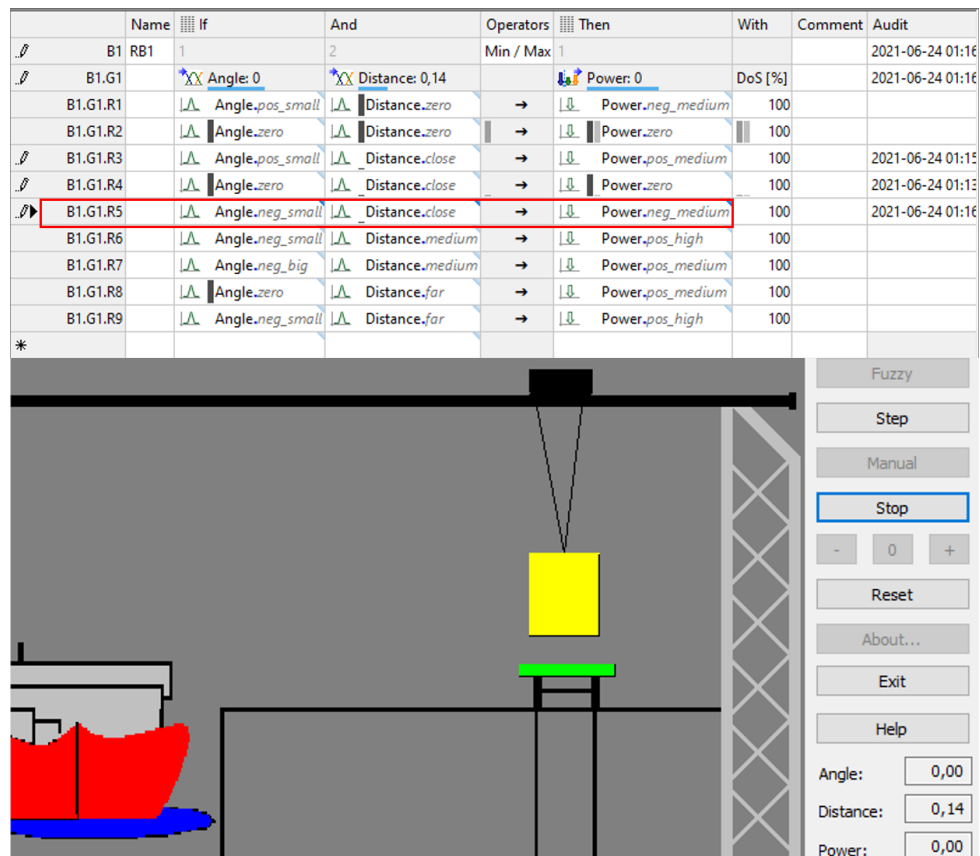


Figura 7: Alteração 1

Como pode ser visto, a distância final está mais próxima da desejada, uma vez que o valor exibido caiu de 0.41 para 0.14, enquanto que o ângulo permaneceu em zero.

2 Parte 2 - Problema Financiamento Imobiliário

2.1 Comentários Iniciais

Primeiramente, o valor das variáveis para a minha matrícula, 1810764, são:

- vl.Localização = 50
- vl.nivel_Receita = 50
- vl.Padrao_Obra = 71
- vl.Patrimonio = 58
- vl.taxa_Juros = 50

O sistema de inferência fuzzy a ser criado segue o que está descrito no material disponibilizado na plataforma EAD e o que foi mostrado em aula. Sendo assim, podemos definir esse sistema de inferência assim como mostra a figura abaixo.

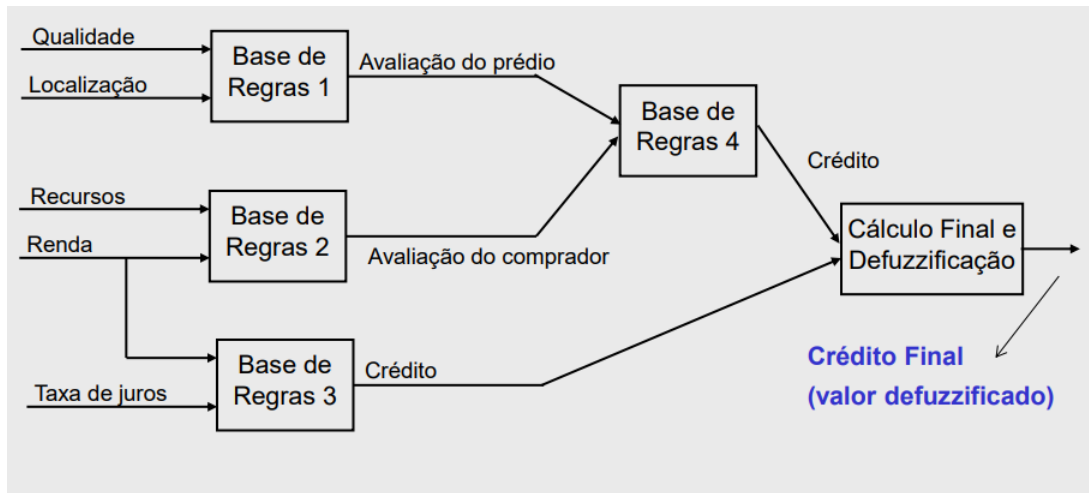


Figura 8: Esquema do sistema de inferência fuzzy implementado

As variáveis de entrada $vl_Localização$ e vl_Padrao_Obra são usadas para definir a variável intermediária $aval_predio$, cuja base de dados pode ser a base 1 da figura 8. As variáveis $vl_nivel_Receita$ e $vl_Patrimonio$, por sua vez, são usadas para definir a variável intermediária $aval_comprador$ por meio de base de regras 2. Por fim, as variáveis vl_taxa_Juros e $vl_Patrimonio$ são usadas, via base de regras 3, para definir já a variável de saída $credito_fornecido$. As variáveis intermediárias $aval_predio$ e $aval_comprador$ são usadas, via base de regras 4, para definir a variável de saída, $credito_fornecido$.

2.2 Montando o Sistema de Inferência Fuzzy

Começamos montando o sistema de inferência assim como descrito na figura 8. Para isso, ainda é usado o *FuzzyTech* e o arquivo disponibilizado na plataforma EAD. O *SIF* montado é apresentado abaixo.

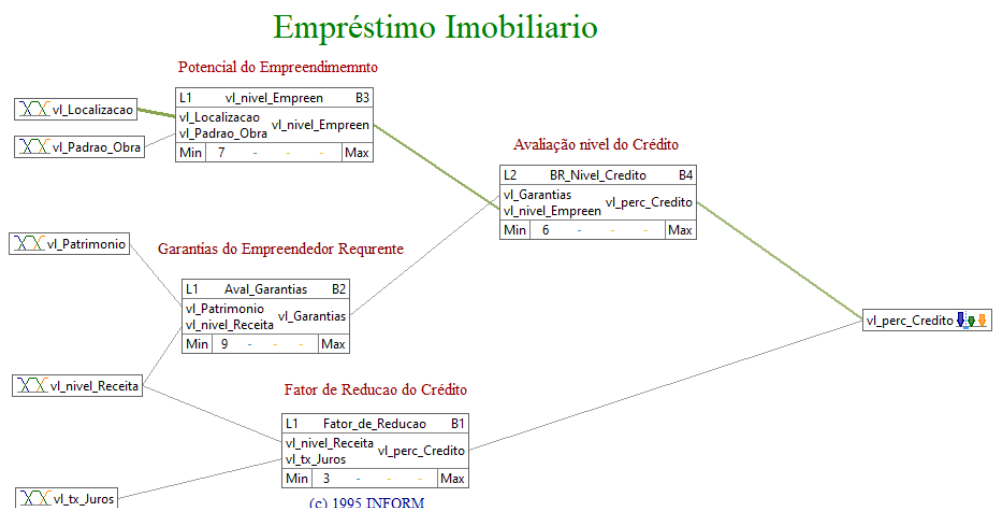


Figura 9: SIF do Problema, disponibilizado no EAD

A figura abaixo exhibe os valores linguísticos das variáveis de entrada e, logo abaixo, as regras originais.

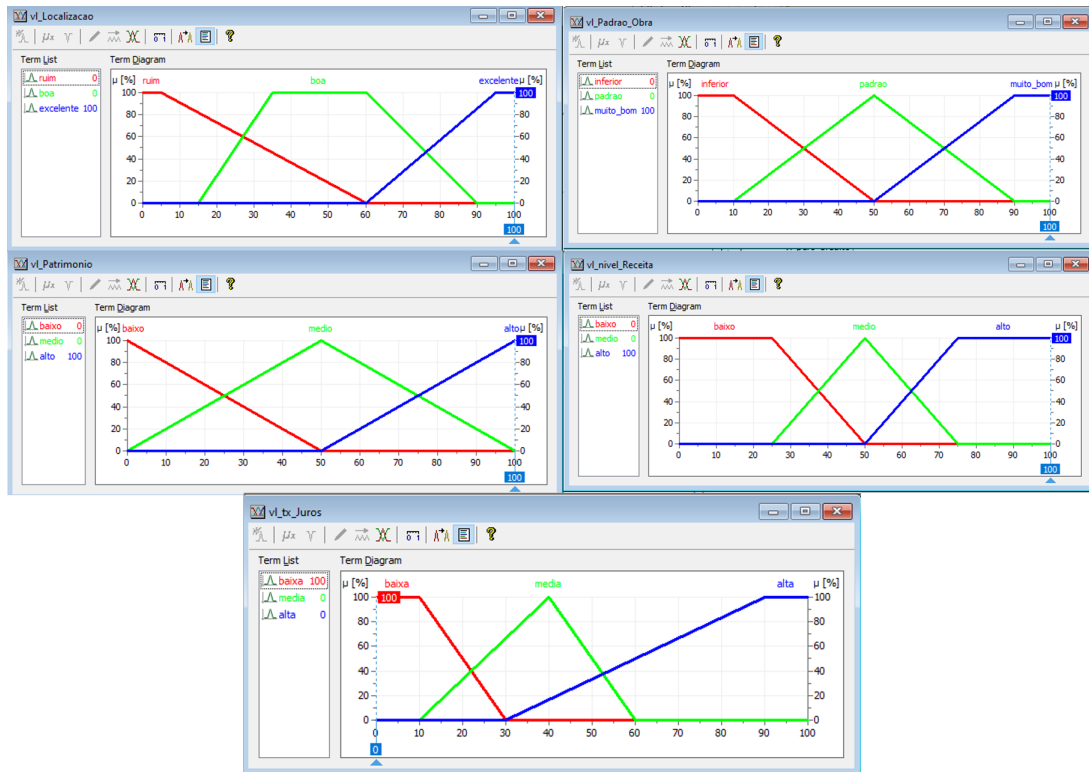


Figura 10: Regras originais do SIF

	Name	If	And	Operators	Then	With
B1	Fator_de_Reducao	1	2	Min / Max	1	
B1.G1		μ vl_nivel_Receita: 100	μ vl_tx_Juros: 0		μ vl_perc_Credito: 83,332	DoS [%]
B1.G1.R1		vl_nivel_Receita.baixo	vl_tx_Juros.media	\rightarrow	vl_perc_Credito.muito_baixo	100
B1.G1.R2		vl_nivel_Receita.baixo	vl_tx_Juros.alta	\rightarrow	vl_perc_Credito.muito_baixo	100
B1.G1.R3		vl_nivel_Receita.media	vl_tx_Juros.alta	\rightarrow	vl_perc_Credito.muito_baixo	100
B2	Aval_Garantias	1	2	Min / Max	1	
B2.G1		μ vl_Patrimonio: 100	μ vl_nivel_Receita: 100		vl_Garantias: [0,0,100]	DoS [%]
B2.G1.R1		vl_Patrimonio.baixo	vl_nivel_Receita.baixo	\rightarrow	vl_Garantias.baixo	100
B2.G1.R2		vl_Patrimonio.baixo	vl_nivel_Receita.media	\rightarrow	vl_Garantias.baixo	100
B2.G1.R3		vl_Patrimonio.baixo	vl_nivel_Receita.alto	\rightarrow	vl_Garantias.media	100
B2.G1.R4		vl_Patrimonio.media	vl_nivel_Receita.baixo	\rightarrow	vl_Garantias.baixo	100
B2.G1.R5		vl_Patrimonio.media	vl_nivel_Receita.media	\rightarrow	vl_Garantias.media	100
B2.G1.R6		vl_Patrimonio.media	vl_nivel_Receita.alto	\rightarrow	vl_Garantias.alta	100
B2.G1.R7		vl_Patrimonio.alto	vl_nivel_Receita.baixo	\rightarrow	vl_Garantias.media	100
B2.G1.R8		vl_Patrimonio.alto	vl_nivel_Receita.media	\rightarrow	vl_Garantias.media	100
B2.G1.R9		vl_Patrimonio.alto	vl_nivel_Receita.alto	\rightarrow	vl_Garantias.alta	100
B3	vl_nivel_Empreen	1	2	Min / Max	1	
B3.G1		μ vl_Localizacao: 100	μ vl_Padiao_Obra: 100		vl_nivel_Empreen: [0,0,100]	DoS [%]
B3.G1.R1		vl_Localizacao.ruim	vl_Padiao_Obra.inferior	\rightarrow	vl_nivel_Empreen.baixo	100
B3.G1.R2		vl_Localizacao.ruim	vl_Padiao_Obra.padrao	\rightarrow	vl_nivel_Empreen.media	100
B3.G1.R3		vl_Localizacao.ruim	vl_Padiao_Obra.muito_bom	\rightarrow	vl_nivel_Empreen.media	100
B3.G1.R4		vl_Localizacao.boa	vl_Padiao_Obra.padrao	\rightarrow	vl_nivel_Empreen.media	100
B3.G1.R5		vl_Localizacao.boa	vl_Padiao_Obra.muito_bom	\rightarrow	vl_nivel_Empreen.alto	100
B3.G1.R6		vl_Localizacao.excelente	vl_Padiao_Obra.padrao	\rightarrow	vl_nivel_Empreen.media	100
B3.G1.R7		vl_Localizacao.excelente	vl_Padiao_Obra.muito_bom	\rightarrow	vl_nivel_Empreen.alto	100
B4	BR_Nivel_Credito	1	2	Min / Max	1	
B4.G1		vl_Garantias: [0,0,100]	vl_nivel_Empreen: [0,0,100]		μ vl_perc_Credito: 83,332	DoS [%]
B4.G1.R1		vl_Garantias.baixo		\rightarrow	vl_perc_Credito.muito_baixo	100
B4.G1.R2		vl_Garantias.media	vl_nivel_Empreen.baixo	\rightarrow	vl_perc_Credito.muito_baixo	100
B4.G1.R3		vl_Garantias.media	vl_nivel_Empreen.media	\rightarrow	vl_perc_Credito.media	100
B4.G1.R4			vl_nivel_Empreen.alto	\rightarrow	vl_perc_Credito.alto	100
B4.G1.R5		vl_Garantias.alta	vl_nivel_Empreen.alto	\rightarrow	vl_perc_Credito.muito_alto	100
B4.G1.R6		vl_Garantias.alta	vl_nivel_Empreen.media	\rightarrow	vl_perc_Credito.alto	100

Figura 11: Regras Originais dos 4 blocos de regras

Por fim, a figura abaixo exibe os conjuntos fuzzy, implementados como *singletons* da variável de saída.

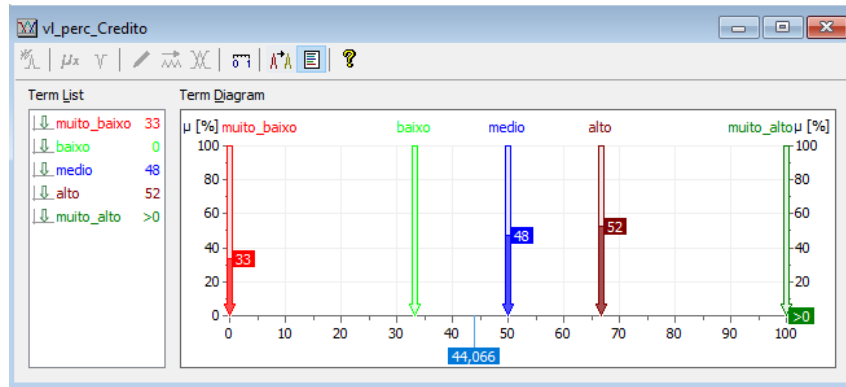


Figura 12: Conjuntos fuzzy de saída

Como o enunciado do trabalho solicita apenas os cálculos das saídas e a resposta final do sistema, **não foram alteradas** as regras e conjuntos fuzzy do arquivo disponibilizado na plataforma EAD. Foram apenas realizados os cálculos com base nos parâmetros originais do arquivo.

2.3 Respostas Manuais

Será utilizado o operador **mínimo** para a norma-t do *modus ponens generalizado*, para a implicação e para o conectivo *e*. Para o conectivo **ou** será usado o operador **max**.

Vamos fazer a inferência por bloco de regras. Primeiramente, dados os valores das variáveis de minha matricula, cada variável possui grau de pertinência diferente de zero para os seguintes conjuntos:

- vl_Localização = 50 → *boa*(100%) e *ruim*(18%)
- vl_Padrao_Obra = 71 → *padrão*(48%) e *muito_bom*(52%)
- vl_Patrimonio = 58 → *médio*(84%) e *alto*(16%)
- vl_nivel_Receita = 50 → *médio*(100%)
- vl_taxa_Juros = 50 → *média*(50%) e *alta*(33%)

Começamos pelo bloco de regras *Aval_Garantias*. Com base nos valores de função de pertinência acima, as regras ativadas desse bloco são:

vl_Patrimonio.baixo&*vl_nivel_Receita.medio* → *vl_Garantias.baixa*
vl_Patrimonio.medio&*vl_nivel_Receita.baixo* → *vl_Garantias.baixa*
vl_Patrimonio.medio&*vl_nivel_Receita.medio* → *vl_Garantias.media*
vl_Patrimonio.medio&*vl_nivel_Receita.alto* → *vl_Garantias.alta*
vl_Patrimonio.alto&*vl_nivel_Receita.baixo* → *vl_Garantias.media*
vl_Patrimonio.alto&*vl_nivel_Receita.medio* → *vl_Garantias.media*
vl_Patrimonio.alto&*vl_nivel_Receita.alto* → *vl_Garantias.alta*

Sabendo o grau de pertinência de cada variável a cada conjunto, podemos escrever as operações abaixo:

$$\begin{aligned}
 \min(0, 1) &= 0, \mu_{baixa}(grnt) \\
 \min(0.84, 0) &= 0, \mu_{baixa}(grnt) \\
 \min(0.84, 1) &= 0.84, \mu_{media}(grnt) \\
 \min(0.84, 0) &= 0, \mu_{alta}(grnt) \\
 \min(0.16, 0) &= 0, \mu_{media}(grnt) \\
 \min(0.16, 1) &= 0.16, \mu_{media}(grnt) \\
 \min(0.16, 0) &= 0, \mu_{alta}(grnt)
 \end{aligned}$$

Fazendo a união das regras ou seja, o máximo de entre as regras acima, temos:

$$\begin{aligned}
 \mu_{media}(grnt) &= 0.84 \\
 \mu_{alta}(grnt) &= 0 \\
 \mu_{baixa}(grnt) &= 0
 \end{aligned}$$

Façamos o mesmo procedimento para o bloco de regras *vl_nivel_Empreend*:

$$\begin{aligned}
 vl_Localizacao.ruim \& vl_nivel_Padrao_Obra.padrao \rightarrow vl_nivel_Empreend.medio \\
 vl_Localizacao.ruim \& vl_nivel_Padrao_Obra.muito_Bom \rightarrow vl_nivel_Empreend.medio \\
 vl_Localizacao.boa \& vl_nivel_Padrao_Obra.padrao \rightarrow vl_nivel_Empreend.medio \\
 vl_Localizacao.boa \& vl_nivel_Padrao_Obra.muito_Bom \rightarrow vl_nivel_Empreend.alto \\
 vl_Localizacao.excelente \& vl_nivel_Padrao_Obra.padrao \rightarrow vl_nivel_Empreend.medio \\
 vl_Localizacao.excelente \& vl_nivel_Padrao_Obra.muito_Bom \rightarrow vl_nivel_Empreend.alto
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \min(0.18, 0.48) &= 0.18, \mu_{medio}(nivel_Empreend) \\
 \min(0.18, 0.52) &= 0.18, \mu_{medio}(nivel_Empreend) \\
 \min(1, 0.48) &= 0.48, \mu_{medio}(nivel_Empreend) \\
 \min(1, 0.52) &= 0.52, \mu_{alto}(nivel_Empreend) \\
 \min(0, 0.48) &= 0, \mu_{medio}(nivel_Empreend) \\
 \min(0, 0.52) &= 0, \mu_{alto}(nivel_Empreend)
 \end{aligned}$$

Fazendo a união, ou seja, o máximo de entre as regras acima, temos:

$$\begin{aligned}
 \mu_{alto}(nivel_Empreend) &= 0.52 \\
 \mu_{medio}(nivel_Empreend) &= 0.48
 \end{aligned}$$

Fazendo o mesmo procedimento para o bloco de regras *Fator_de_Reducao*, temos:

$$\begin{aligned}
 vl_nivel_Receita.baixo \& vl_tx_Juros.media \rightarrow vl_perc_Credito.muito_baixo \\
 vl_nivel_Receita.baixo \& vl_tx_Juros.alta \rightarrow vl_perc_Credito.muito_baixo \\
 vl_nivel_Receita.medio \& vl_tx_Juros.alta \rightarrow vl_perc_Credito.muito_baixo
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\min(0, 0.5) &= 0, \mu_{\text{muito_baixo}}(\text{perc_Cred}) \\
\min(0, 0.33) &= 0, \mu_{\text{muito_baixo}}(\text{perc_Cred}) \\
\min(1, 0.33) &= 0.33, \mu_{\text{muito_baixo}}(\text{perc_Cred})
\end{aligned}$$

Fazendo a união, ou seja, o máximo de entre as regras acima, temos:

$$\mu_{\text{muito_baixo}}(\text{perc_Cred}) = 0.33$$

Por fim, o último bloco de regras, *BR_Nivel_Credito*:

$$\begin{aligned}
\text{vl_Garantias.media} \& \text{vl_nivel_Empreen.baixo} &\rightarrow \text{vl_perc_Credito.muito_baixo} \\
\text{vl_Garantias.media} \& \text{vl_nivel_Empreen.medio} &\rightarrow \text{vl_perc_Credito.medio} \\
\text{vl_nivel_Empreen.alto} &\rightarrow \text{vl_perc_Credito.alto} \\
\text{vl_Garantias.alta} \& \text{vl_nivel_Empreen.alto} &\rightarrow \text{vl_perc_Credito.muito_alto} \\
\text{vl_Garantias.alta} \& \text{vl_nivel_Empreen.medio} &\rightarrow \text{vl_perc_Credito.alto}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\min(\mu_{\text{media}}(\text{grnt}), \mu_{\text{baixo}}(\text{nivel_Empreen})), \mu_{\text{muito_baixo}}(\text{perc_Cred}) \\
&\min(\mu_{\text{media}}(\text{grnt}), \mu_{\text{medio}}(\text{nivel_Empreen})), \mu_{\text{medio}}(\text{perc_Cred}) \\
&\min(\mu_{\text{alto}}(\text{nivel_Empreen}), \mu_{\text{alto}}(\text{perc_Cred})) \\
&\min(\mu_{\text{alta}}(\text{grnt}), \mu_{\text{alto}}(\text{nivel_Empreen})), \mu_{\text{muito_alto}}(\text{perc_Cred}) \\
&\min(\mu_{\text{alta}}(\text{grnt}), \mu_{\text{medio}}(\text{nivel_Empreen})), \mu_{\text{alto}}(\text{perc_Cred})
\end{aligned}$$

Substituindo valores:

$$\begin{aligned}
\min(0.84, 0) &= 0, \mu_{\text{muito_baixo}}(\text{perc_Cred}) \\
\min(0.84, 0.48) &= 0.48, \mu_{\text{medio}}(\text{perc_Cred}) \\
\min(0.52) &= 0.52, \mu_{\text{alto}}(\text{perc_Cred}) \\
\min(0, 0.52) &= 0, \mu_{\text{muito_alto}}(\text{perc_Cred}) \\
\min(0, 0.48) &= 0, \mu_{\text{alto}}(\text{perc_Cred})
\end{aligned}$$

Fazendo a união, ou seja, o máximo de entre as regras acima, considerando o valor obtido $\mu_{\text{muito_baixo}}(\text{perc_Cred}) = 0.33$ no bloco de regras *Fator_de_Reducacao*, temos, por fim:

$$\begin{aligned}
\mu_{\text{muito_baixo}}(\text{perc_Cred}) &= 0.33 \\
\mu_{\text{medio}}(\text{perc_Cred}) &= 0.48 \\
\mu_{\text{alto}}(\text{perc_Cred}) &= 0.52
\end{aligned}$$

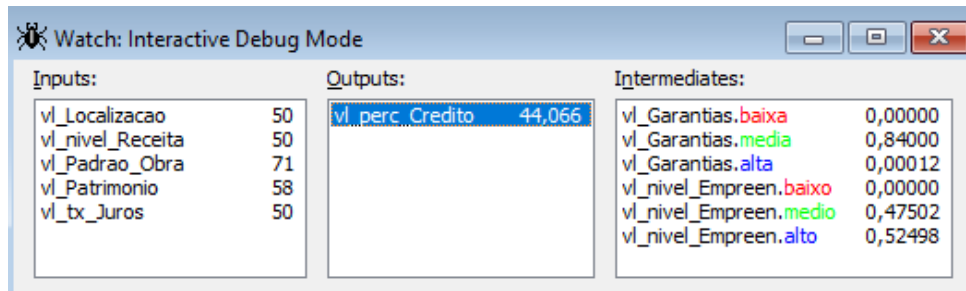
Uma vez obtidos os graus de pertinência da variável de saída, precisamos realizar a desfuzzificação. Para tal, calcularemos o centro de massa dessas variáveis. Note que esses valores de grau de pertinência são, exatamente, os calculados pelo *FuzzyTech*, exibidos na figura 12

$$\text{Centroide} = \frac{0.33 \cdot 0 + 0.48 \cdot 50 + 0.52 \cdot 66}{0.33 + 0.48 + 0.52} = 43.85$$

Logo, o cliente em questão deve receber 43.85% do limite máximo de crédito.

2.4 Respostas FuzzyTech

Utilizando as variáveis e regras definidas nas seções anteriores, usamos o *FuzzyTech* para calcular a saída para fins de comparação com as contas manuais.



Inputs:		Outputs:		Intermediates:	
vl_Localizacao	50	vl_perc_Credito	44,066	vl_Garantias.baixa	0,00000
vl_nivel_Receita	50			vl_Garantias.media	0,84000
vl_Padrao_Obra	71			vl_Garantias.alta	0,00012
vl_Patrimonio	58			vl_nivel_Empreen.baixo	0,00000
vl_tx_Juros	50			vl_nivel_Empreen.medio	0,47502
				vl_nivel_Empreen.alto	0,52498

Figura 13: Quantidade de crédito recebida

Note que o resultado está muito próximo do calculado. Um possível fonte de erro pode ser a análise dos gráficos para descobrir os valores dos graus de pertinência.