

# **Cálculo de graus de proximidade apoiados na teoria de conjuntos nebulosos**

**William David Morán Herrera (UENF) willy@uenf.br**

**Helder Gomes Costa (UFF) hgc@vm.uff.br**

## **Resumo**

*Os Graus de Proximidade (GP) são valores que expressam a importância de alocar, próximos ou distantes, cada par de centros de trabalho dentro das instalações das empresas. Eles são utilizados na construção de leiautes de blocos em abordagens que usam Matrizes de Relacionamento de Atividades (MRA). No presente artigo, busca-se calcular os GP apoiados nos conceitos presentes na Teoria de Conjuntos Nebulosos (TCN).*

*Palavras-chave: Graus de Proximidade; Leiaute; Teoria de Conjuntos Nebulosos.*

## **1. Introdução**

Desde épocas antigas o ser humano sempre procurou realizar atividades produtivas de forma eficiente visando realizar o menor esforço possível. Isso perdura até hoje. Hoje mais do que nunca, é dedicado bastante esforço para lograr que as instalações produtivas sejam às mais eficientes possíveis, procurando basicamente a diminuição de custos. Considerando que a determinação de um leiaute consiste da distribuição física de recursos materiais e humanos em um determinado espaço, de forma eficiente e segura, é evidente que melhoras nos leiautes das empresas acarretará aumentar a eficiência delas, nesse caso, na forma de diminuição de custos.

Estabelecer um leiaute eficiente, implica a diminuição de custos de duas formas diferentes: a diminuição dos custos de manipulação de recursos materiais e humanos, e a diminuição nos custos em modificações futuras nos leiautes. Em relação ao primeiro caso, Sule (2001) afirma que entre 30 e 75% dos custos de fabricação correspondem aos custos de manipulação. Em relação ao segundo caso, é evidente que todo rearranjo de leiaute representa uma inversão de capital grande, portanto, entanto sejam feitas a menor quantidade de modificações ao empreendimento, menor será o gasto. É bom sublinhar neste caso, que os rearranjos são feitos no mediano e longo prazo.

A determinação de leiautes é considerado um problema multicritério, já que envolve fatores de avaliação quantitativos, qualitativos ou ainda uma mistura de ambos (ver Hassan (2000); Ligget (2000); Evans et al (1987); Costa e Herrera, 2003; Herrera e Costa, 2001; Francis e White, 1974).

Os fatores quantitativos de avaliação ou critérios de avaliação, podem ser obtidos por meio de variáveis tais como custos, tempos, e distancias, os quais são relativamente fáceis de quantificar. Assim, mediante formulações que consideram esses fatores, busca-se

principalmente otimizar objetivos, tais como a minimização dos custos de manipulação dos materiais, a maximização da eficiência das operações de produção ou a minimização do tempo de percurso dos trabalhadores, principalmente.

Os fatores qualitativos de avaliação ou critérios de avaliação qualitativos, se caracterizam por ser difíceis de mensurar, devido ao caráter fortemente subjetivo desse tipo de fator, e por essa razão, são os especialistas os que determinam a importância dos mesmos. Nesses casos, a proximidade dos centros de trabalho se determina em função às necessidades tais como o conforto dos trabalhadores; à necessidade dos centros de trabalho de usar os mesmos trabalhadores, máquinas ou instalações; à necessidade de comunicação; etc. As vezes é necessário afastar dois centros de trabalho devido a razões como a contaminação por médio de produtos químicos, fumaça, ruídos, ou ainda por causas da segurança como por exemplo a manipulação de material químicos ou explosivos. Os modelos que usam critérios ou fatores de avaliação qualitativos usam os denominados GP, que não são outra coisa mais que avaliações subjetivas sobre a proximidade (afastamento) entre os centros de trabalho, na forma de códigos como mostrados na tabela 1. A formulação mais comum é maximizar o somatório dos GP entre os centros de trabalho.

<b>Código</b>	<b>Significado</b>	<b>Valor</b>
A	Absolutamente importante	4
E	Especialmente importante	3
I	Importante	2
O	Pouco importante	1
U	Desprezível	0
X	Indesejável	-1

Tabela 1: Valores comumente atribuídos aos GP

Os modelos que usam os GP, utilizam as denominadas *matrizes de relacionamento de atividades (MRA)*. As MRA (ver tabela 2) estão formadas pelos GP, os quais expressam em forma qualitativa o grau de afastamento ou proximidade entre cada par de centros de trabalho. O emprego de GP pode implicar considerar globalmente aspectos como: segurança; risco; periculosidade; conforto; além dos custos; distancias; tempos. De ali que os GP podem representar tanto fatores qualitativos quanto quantitativos.

<b>Centros de Trabalho</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>3</sub></b>	<b>C<sub>4</sub></b>	<b>C<sub>5</sub></b>
<b>C<sub>1</sub></b>	---	E	A	U	U
<b>C<sub>2</sub></b>		---	O	U	O
<b>C<sub>3</sub></b>			---	A	U
<b>C<sub>4</sub></b>				---	U
<b>C<sub>5</sub></b>					---

Tabela 2: Matriz de Relacionamento de Atividades (MRA)

## 2. Dificuldades nos problemas de leiaute

Pode-se dizer, de forma breve, que a modelagem de arranjos físicos que usam fatores quantitativos de avaliação apresentam dificuldades nos seguintes casos:

- Quando modelados mediante formulações tipo Quadratic Assignment Problem (QAP), em problemas de tamanho reais (número de áreas  $> 25$ ), devido ao esforço computacional maiúsculo para encontrar uma solução ótima.
- Devido à grande quantidade de dados exatos que são requeridos na sua formulação.
- Na grande necessidade de informação detalhada.
- Requerem parâmetros e índices de desempenho difíceis de obter.
- Quando a formulação pré-supõe a forma das áreas.
- Quando fatores subjetivos deveriam ser considerados no modelo.
- Quando assumem relações de custos lineares, mesmo que na maioria das vezes apresentam-se custos com relações não lineares.

Os modelos que usam fatores qualitativos de avaliação apresentam dificuldades nos seguintes casos:

- Quando modelados mediante formulações tipo QAP com um número de áreas  $> 25$ , devido ao esforço computacional maiúsculo para encontrar uma solução ótima.
- Quando a formulação pré-supõe a forma das áreas.
- Suposições que simplificam demais o problema.
- Quando fatores quantitativos expressam melhor o problema.

Portanto, de forma geral, pode-se dizer que essas dificuldades refletem a natureza multicritério do problema de leiaute. Karwowski e Evans (1986) assinalam também que, além disso, é um problema que apresenta fatores com características muitas vezes imprecisas e vagas, devido ao uso de “estimativas” ao momento de fazer os cálculos. Assim mesmo, quando utilizamos fatores quantitativos, é fácil advertir a presença da imprecisão devido à determinação subjetiva dos mesmos. Uma explicação mais aprofundada sobre as dificuldades presentes no problema de leiaute pode ser consultada em Hassan (2000), Ligget (2000), Lin e Sharp (1999), Kusiak e Heragu (1987), e Costa e Herrera (2003).

Tendo em consideração tudo isso, cada caso significa que pela complexidade do problema, ele é abordado de forma parcial ou de forma deficiente. Devido a isso, os modelos fazem algumas suposições em suas abordagens, sendo que uma das principais dificuldades é conciliar os aspectos qualitativos e quantitativos do mesmo. Conseqüentemente, todas essas dificuldades fazem que os especialistas e engenheiros tenham a tendência a usar modelos onde possam expressar sua “experiência” para resolver os problemas de arranjos físicos, buscando simplificar o problema. Devemos considerar que quando falamos de “expressar sua experiência” nos referimos a usar modelos que produzam alternativas de solução confiáveis para os especialistas, considerando tanto critérios quantitativos quanto qualitativos.

## 3. Considerações sobre a TCN

O conceito de *Fuzzy Set* (conjunto nebuloso), foi introduzido, em 1965, pelo professor Lotfi Asker Zadeh da Universidade Berkeley (Zadeh, 1965). Esse conceito é a base da TCN. Segundo Zimmermann (1996), um conjunto nebuloso é definido da seguinte forma: Seja X

uma coleção de objetos (universo de discurso) denotados genericamente por  $x$ , então, um conjunto nebuloso  $A$  de  $X$  é o conjunto de pares ordenados:

$$A = \{(x, A(x)) \mid x \in X\}$$

onde:

$A(x)$  é chamado de *função de pertinência* ou *grau de pertinência*, o qual é um número real dentro do intervalo  $[0,1]$  atribuído a cada elemento  $x \in X$ .

$A(x)$  (representado também nos livros como  $\mu_A(x)$ ) se lê como “grau em que  $x$  pertence a  $A$ ”. A idéia da afirmação “ $x$  pertence a  $A$ ”, não é necessariamente verdadeira ou falsa, ao contrario, é uma idéia de níveis de verdade ou graus de verdade, por isso  $0 \leq A(x) \leq 1$ , para todo  $x \in X$ . Portanto, quanto mais perto  $A(x)$  fique do valor 1, maior será a pertinência do objeto  $x$  ao conjunto  $A$ . Sem dúvida, o conceito chave atrás da TCN é a função de pertinência. Alguns exemplos de funções de pertinência se mostram na figura 1, onde  $A(x)$  representa o valor de pertinência da função (varia no intervalo  $[0,1]$ ) e  $X$  é o universo de discurso.

Um outro conceito importante presente na TCN é o enfoque lingüístico das variáveis. Nesse enfoque se dá uma mistura de tratamento quantitativo e qualitativo dos dados, confiando no uso de palavras quando se quer determinar o valor de alguma variável que é imprecisa. De forma resumida, uma variável lingüística é um conjunto de valores, representados por palavras (etiquetas) às quais estão associados valores numéricos, onde cada etiqueta compõe um conjunto nebuloso. O conjunto de etiquetas também compõe um conjunto nebuloso.

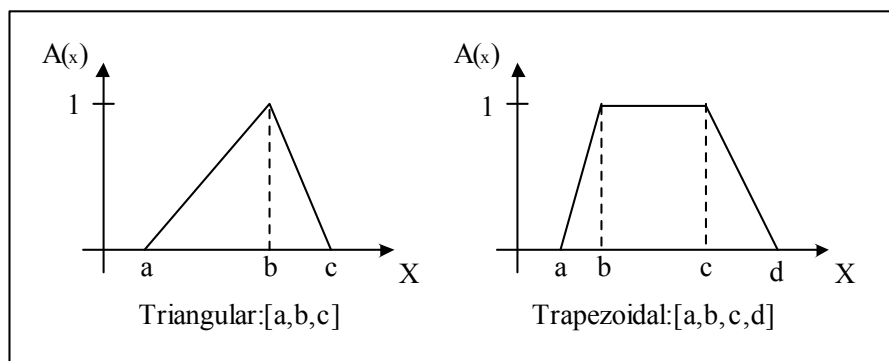


Figura 1: Exemplos de funções de pertinência

### 3.1 A Lógica Nebulosa

Sabe-se que a lógica clássica é a ciência que estuda os princípios formais do raciocínio, e que o raciocínio é a habilidade de inferir informação desconhecida a partir da informação disponível. Também se sabe que uma proposição pode ser verdadeira (1) ou falsa (0), dependendo de seu valor de verdade.

Dessa forma, se fizéssemos uma analogia com o expressado anteriormente, estabeleceríamos que a Lógica Nebulosa (LN) trata dos princípios formais do *raciocínio aproximado*. O raciocínio aproximado é uma forma de inferir informação a partir de proposições vagas, da forma “ $X$  é  $A$ ”, onde  $X$  é o nome de algum objeto (variável, atributo, fato, etc) e  $A$  é o valor lingüístico (etiqueta) que toma esse objeto. O valor de verdade da proposição tomará valores no intervalo  $[0, 1]$ , sendo 0 se é absolutamente falso, 1 se é absolutamente verdadeiro e um valor intermediário entre 0 e 1 nos outros casos.

Se utilizássemos proposições vagas juntamente com regras do tipo SE- ENTÃO, teríamos sentenças da seguinte forma:

$$\text{Se } x \text{ é } A \text{ então } y \text{ é } B$$

onde A e B são etiquetas (valores) lingüísticos, e x e y seriam variáveis nebulosas.

### 3.2 Sistema de Tomada de Decisão Nebuloso

No âmbito nebuloso, a tomada de decisões exige de certos processos para que seja executada de forma correta. Um *sistema de tomada de decisão nebuloso* (fuzzy decision-making system) consiste de quatro processos principais:

- A Fuzzificação: Esse processo converte os dados de entrada (nebulosos ou discretos) em conjuntos nebulosos (alto, médio, baixo, etc), considerando os universos de discurso correspondentes. O mais comum é fuzzificar mediante funções de pertinência triangulares ou trapezoidais.
- A Base de Conhecimento: Contêm o conhecimento associado ao processo via as funções de pertinência e as regras de controle, fornecidas por um especialista. Assim, é o especialista quem decide que tipo de função de pertinência utilizar e que método de fuzzificação e desfuzzificação utilizar.
- A Lógica da Tomada de decisão: Visa reproduzir as decisões que tomaria o especialista, mas, mediante as regras de controle. Basicamente utiliza a inferência difusa para simular o processo de decisão humano.
- A Desfuzzificação: Converte dados nebulosos em dados de saída discretos, dentro do universo de discurso correspondente.

### 3.3 O processo de Inferência e o modelo de inferência de Sugeno

Existem diferentes modelos para inferir informação a partir de proposições vagas (ver Pedrycs e Gomide, 1998). O modelo de inferência nebuloso mais conhecido é o desenvolvido por Mamdani e Assilian (1975), o qual é conhecido simplesmente como “o modelo de Mamdani”. Ele basicamente busca inferir um resultado a partir da agregação (mediante o operador mínimo) dos conjuntos nebulosos definidos para cada antecedente de cada uma das regras de decisão e depois por meio de uma operação de composição (mediante o operador máx) determinar uma saída (ver figura 2).

Embora a maioria dos modelos nebulosos de leiaute utilizam o modelo de inferência de Mamdani (por exemplo Evans et al, 1987; Dweiri, 1999; Karray, 2000), ele apresenta uma dificuldade: a execução de muitos cálculos. Assim, visando superar essa dificuldade, em nosso modelo buscamos aproveitar as vantagens que nos oferece o modelo nebuloso de Sugeno (1985). O modelo de Sugeno é muito parecido com o de Mamdani, de fato, as duas primeiras partes do modelo são iguais às do modelo de Mamdani, isto é, as entradas são fuzzificadas e sobre elas é aplicado o operador Mínimo. A principal diferença radica no passo final. Enquanto as saídas para cada uma das regras no modelo de Mamdani, são agregadas e sobre elas é aplicado o operador Mínimo (ver Zimmermann, 1996), no modelo de Sugeno as saídas são unicamente de forma lineares (constantes), diminuindo o número de cálculos.

Para o caso de duas variáveis, se diz que o modelo de Sugeno tem saída constante quando as regras são da seguinte forma:

$$\text{Se } x \text{ é } A \text{ e } y \text{ é } B \text{ então } z = t$$

onde A e B são conjuntos nebulosos das variáveis no antecedente, e t é um valor constante no conseqüente.

Se diz que o modelo de Sugeno tem saída linear quando as regras são da seguinte forma:

$$\text{Se } x \text{ é } A \text{ e } y \text{ é } B \text{ então } z = mx + ny + k$$

onde A e B são conjuntos nebulosos das variáveis no antecedente, e

m, n, k são todas constantes (nós chamaremos de parâmetros de Sugeno) no conseqüente.

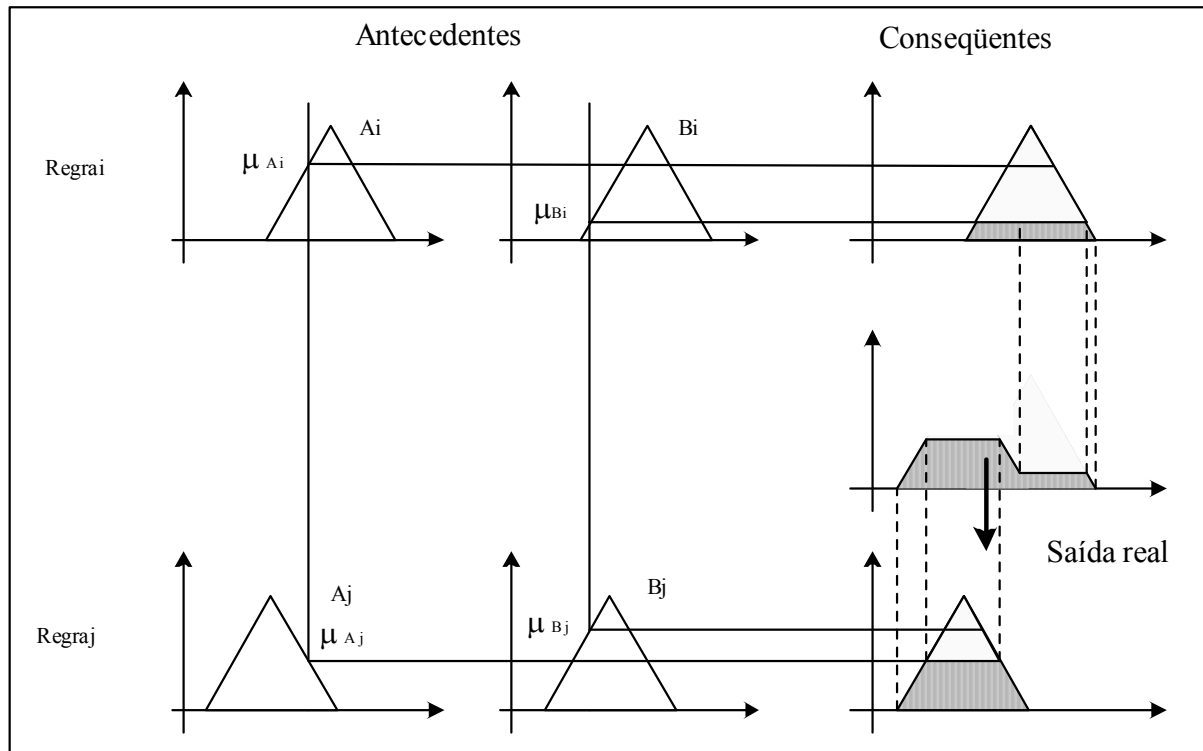


Figura 2: Modelo de Inferência de Mamdani

De forma mais explícita o modelo de Sugeno trabalha da seguinte forma (para duas regras):

$$\text{Se } x \text{ é } A_1 \text{ e } y \text{ é } B_1 \text{ então } z_1 = a_1 x + b_1 y + k_1$$

$$\text{Se } x \text{ é } A_2 \text{ e } y \text{ é } B_2 \text{ então } z_2 = a_2 x + b_2 y + k_2$$

Assim, dadas duas entradas  $x = x_0$ , e  $y = y_0$ , busca-se determinar  $z_0$ .

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0), \quad \alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0), \text{ onde } \wedge \text{ é o operador "mínimo".}$$

A saída para cada regra será (ver figura 3):

$$z_1^* = a_1 x_0 + b_1 y_0 + k_1, \quad z_2^* = a_2 x_0 + b_2 y_0 + k_2$$

Por tanto, o valor de  $z_0$  será:  $z_0 = (\alpha_1 z_1^* + \alpha_2 z_2^*) / (\alpha_1 + \alpha_2)$ .

Dessa forma, generalizando para "n" ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) regras teremos:

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i Z_i^*}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}$$

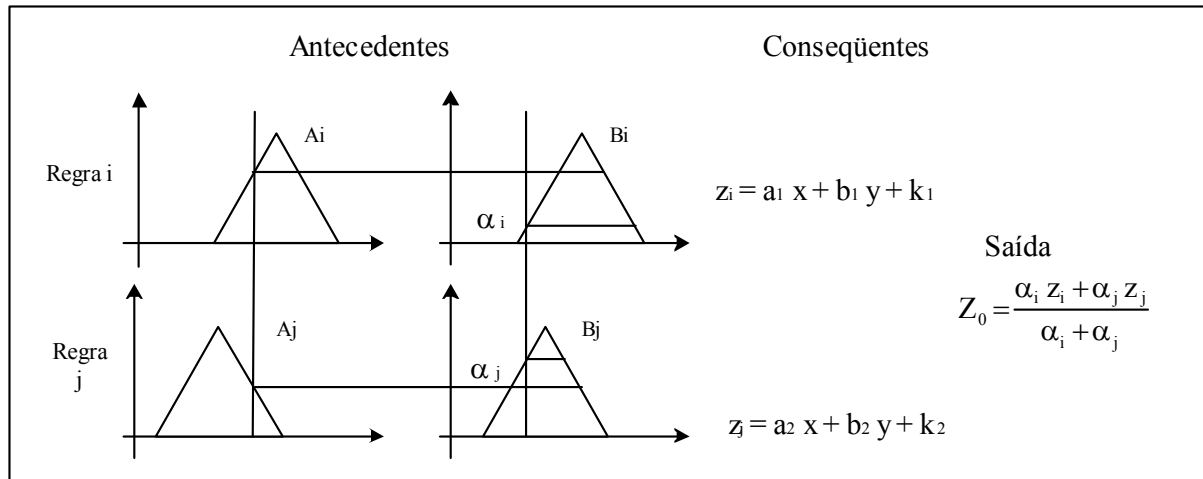


Figura 3: Modelo de Inferência de Sugeno

### 3.4 TCN e leiautes

A Teoria de Conjuntos Nebulosos (TCN) é uma teoria que lida com problemas que apresentam aspectos quantitativos e qualitativos imprecisos, tornando-se em uma ferramenta natural para a abordagem do problema de leiaute. No âmbito da construção de arranjos físicos, a TCN já foi utilizada satisfatoriamente na resolução do problema específico de leiaute (ver Karray et al, 2000; Dweiri, 1999; Badiru e Arif, 1996). No entanto, ainda observa-se uma carência de investigações sobre a aplicação da TCN na construção de arranjos físicos e cálculo de GP. Assim, o presente trabalho objetiva investigar a aplicação da TCN na obtenção de Graus de Proximidade (GP) na elaboração de arranjos físicos.

Em geral, o uso da TCN fornece vantagens principalmente porque:

- São requeridas poucas regras, valores e decisões.
- As variáveis qualitativas podem ser valoradas.
- O uso de variáveis lingüísticas nos deixa mais perto do pensamento humano.
- Simplifica a solução dos problemas.
- Simplificam a aquisição do conhecimento.

### 5. Modelo Nebuloso para a determinação de GP

Nosso modelo constará dos seguintes passos:

- a. Determinação dos fatores (ou critérios) de avaliação. Os fatores servirão como base de comparação para determinar os GP, isto é, a proximidade ou o afastamento das áreas (ou departamentos) por arranjar.
- b. Determinação das funções de pertinência de cada fator.

- c. Emissão de julgamentos para cada par de áreas, os quais serão feitos por especialistas. Será feita uma normalização para os fatores quantitativos. A normalização consiste da divisão dos valores de cada fator pelo maior valor do fator. Logo, utilizando julgamentos e os pesos dos fatores, se calculará uma média simples. O modelo constará de duas variáveis de entrada, uma delas será a determinada pela média simples dos fatores quantitativos normalizados. A outra, também estará determinada pela média simples dos fatores qualitativos, com exceção para quando exista um fator qualitativo com valor X, isto é, “indesejável”. Nesse caso, independentemente dos outros fatores, a média dos fatores qualitativos tomará o valor X.
- d. Determinação das regras de decisão do tipo SE-ENTÃO. Junto com elas devem ser determinados os parâmetros do método de Sugeno, para seu uso ao momento de executar o processo de inferência.
- e. Cálculo dos GP. As médias dos fatores qualitativos e quantitativos representam as variáveis de entradas. Assim, mediante o uso das regras de decisão e os parâmetros de Sugeno, se obterá a variável de saída, isto é, os GP.

## 6. Exemplo de aplicação

Para o exemplo de aplicação vai-se considerar 6 departamentos por arranjar. As áreas consideradas são: Vendas (1), Armazém (2), Chão de fábrica (3), Manutenção (4), Controle de qualidade (5), Diretoria (6).

O passo “a” consiste de determinar os fatores de avaliação. Serão considerados quatro fatores de avaliação, dois fatores do tipo quantitativo e dois fatores qualitativos. Os fatores de avaliação quantitativos são: O Fluxo de Materiais (M) e o Fluxo de Informação (I). Os fatores de avaliação qualitativos são: O Ruído (R) e a Necessidade de Comunicação (C). O fator M se refere à quantidade de materiais que se movimentam no interior das instalações, expressada em número de itens por unidade de tempo. O fator I se refere à quantidade de viagens que realizam os trabalhadores entre os departamentos. O fator R se refere ao barulho que gera um departamento e que possa afetar a concentração dos trabalhadores de outros departamentos. O fator C se refere à necessidade comunicação que possa existir entre os centros de trabalho.

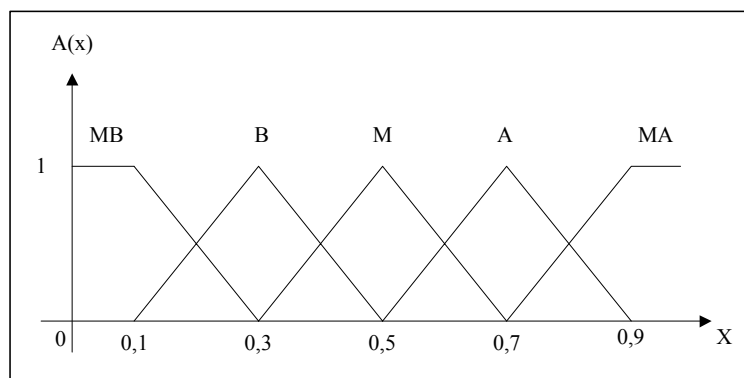


Figura 4: Função de Pertinência para os fatores quantitativos

O passo “b” consiste da determinação das funções de pertinência dos fatores de avaliação. As funções de pertinência para os fatores quantitativos se mostram na figura 4. MA significa “Muito Alto”, A significa “Alto”, M significa “Médio”, B significa “Baixo” e MB “Muito



Baixo”. As funções de pertinência para os fatores qualitativos se mostram na figura 5, baseados nos valores mostrados na tabela 3.

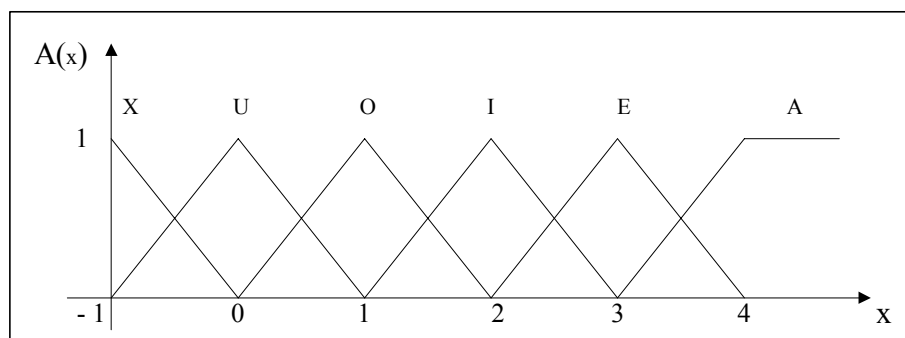


Figura 5: Função de Pertinência para os fatores qualitativos

O passo “c” consiste do julgamento por especialistas para cada par de centros de trabalho. Além disso, inclui a normalização dos julgamentos para os fatores quantitativos. Na tabela 3 se mostram os julgamentos para os quatro fatores. As colunas F, I, R e S mostram os julgamentos para cada um desses fatores de avaliação.  $F_N$  e  $I_N$  são as colunas dos valores normalizados para os fatores F e I. A coluna  $x_0$  representa a média dos fatores quantitativos. A coluna  $y_0$  representa a média dos valores qualitativos (considerando a exceção para aqueles pares de áreas que apresentam algum valor “indesejável”).

Áreas	F	$F_N$	I	$I_N$	$x_0$	R	S	$y_0$	$Z_0$
1,2	0	0,000	5	0,278	0,139	U	U	0	0,156
1,3	0	0,000	0	0,000	0,000	X	U	-1	-1
1,4	0	0,000	1	0,056	0,028	X	U	-1	-1
1,5	0	0,000	3	0,167	0,083	U	U	0	0,133
1,6	0	0,000	10	0,556	0,278	U	A	2	2,34
2,3	1500	1,000	15	0,833	0,917	O	A	2,5	3,22
2,4	1000	0,667	3	0,167	0,417	U	U	0	0,267
2,5	400	0,267	7	0,389	0,328	U	U	0	0,231
2,6	560	0,373	4	0,222	0,298	U	U	0	0,207
3,4	1200	0,800	18	1,000	0,900	U	E	1,5	2,19
3,5	400	0,267	5	0,278	0,272	U	U	0	0,209
3,6	100	0,067	5	0,278	0,172	X	U	-1	-1
4,5	0	0,000	1	0,056	0,028	U	U	0	0,111
4,6	0	0,000	2	0,111	0,056	X	U	-1	-1
5,6	0	0,000	5	0,278	0,139	U	O	0,5	0,506

Tabela 3: Julgamentos, valores normalizados e medias dos fatores de avaliação.

O passo “d” consiste da determinação das regras de decisão. As regras de decisão mostram-se na tabela 3. Por exemplo, para o julgamento  $I^*$  da tabela 4, a regra de decisão se lerá da seguinte forma:

Se Média do Fator Quantitativo = A e Média do Fator Qualitativo = O, então GP = I.

	A	E	I	O	U	X
MA	A	A	E	E	I	X
A	A	E	E	$I^*$	O	X
M	E	E	I	O	U	X
B	E	I	O	U	U	X
MB	I	O	U	U	U	X

Tabela 4: Regras de decisão do tipo SE-ENTÃO

Os parâmetros de Sugeno usados mostram-se na tabela 5. Os valores considerados para esses parâmetros admitem saídas que variam no intervalo  $[-1, 4]$ .

	m	n	K
A	0,7	1,0	0,2
E	0,6	0,9	0,3
I	0,5	0,8	0,9
O	0,45	0,75	0,8
U	0,4	0,7	0,4
X	0	0	- 1

Tabela 5: Parâmetros de inferência de Sugeno

Finalmente, o passo “e” consiste do cálculo dos GP. Assim, tendo como variáveis de entrada os valores das colunas  $x_0$  e  $y_0$  da tabela 3, e considerando tanto as regras de decisão da tabela 4 e os parâmetros para o método de Sugeno da tabela 5, procede-se a encontrar os GP. Para esse cálculo se utilizou o toolbox *Fuzzy Logic* do *MATLAB* v. 6.0. Na coluna  $Z_0$  da tabela 2 mostram-se os valores de saída do modelo, isto é, os graus GP.

## 7. Conclusões

No presente trabalho propôs-se um modelo nebuloso para a obtenção dos GP necessários à determinação dos leiautes de blocos. Todo modelo nebuloso apresenta um conjunto de variáveis de entrada, e um conjunto de variáveis de saída. O modelo apresentado aqui tem duas variáveis de entrada, e uma de saída. Uma variável de entrada está representada pela media dos fatores quantitativos normalizados. A outra variável de entrada também é uma media, mas dos fatores qualitativos, com a exceção para quando aparece um julgamento X, isto é, quando aparece um julgamento de “indesejabilidade” para arranjar um par de áreas

próximas, nesse caso o media dos fatores quantitativos toma o valor X. A variável de saída representa os GP.

Como mostrado na tabela 4, referente às regras de decisão, nos casos onde se tem uma entrada X para os fatores qualitativos, independentemente da media dos fatores quantitativos, o modelo dará como resultado o valor -1, o que indica a rejeição de arranjar juntas o par de centros de trabalho. Se tivéssemos o caso de ter entradas com julgamentos máximos, isto é, MA e A, o modelo dá como resultado um valor 4, o qual destaca a “Absoluta importância” de arranjar juntas essas áreas, segundo a tabela 1. Para valores intermediários o modelo admite saídas que variam entre [-1, 4]. Dessa forma, pelos resultados obtidos, o modelo representaria uma alternativa na determinação de GP.

A abordagem difusa na determinação de GP traz como ponto destacável o reconhecimento de múltiplos critérios no problema e o emprego de abordagens indicadas ao tratamento de problemas desta categoria. Também, é interessante ressaltar o uso do modelo de inferência de Sugeno, o qual se há mostrado bastante viável para a determinação de GP. O modelo de inferência de Sugeno basicamente traz simplicidade ao momento de fazer os cálculos.

Outrossim, o uso dos GP na determinação de arranjos físicos é feito de maneira genérica, isto é, são usados para qualquer tipo de instalação, seja de produção ou de serviços, embora alguns autores como Sule (2001) e Francis e White (1974) achem mais adequadas essas técnicas na determinação de leiautes para empresas de serviços, onde a importância das interações clientes/instalações é maior e predominantemente do tipo qualitativo.

Finalmente destacar que sempre é interessante o uso de pesos para os fatores de avaliação na determinação de GP. No modelo proposto, isso poderia ser feito utilizando o AHP (ver Saaty, 1980) para calcular o peso de cada fator e logo empregar esses valores ou como ponderação nas variáveis de entrada, ou tratando-os de incorporar nos parâmetros de Sugeno. Mas isso fica para uma pesquisa futura.

## 8. Referências bibliográficas

- BADIRU, A.B.; ARIF, A. Flexpert: Facility layout expert system using fuzzy linguistic relationship codes, *IIE Transactions*, 28, 1996. p. 295-308.
- COSTA, H.G.; HERRERA, W.D.M. *Arranjo físico (“lay out”): metodologias usuais e proposta fundamentada na análise multicritério* – Boletim Técnico. Brasil, Niterói: Centro Tecnológico, Universidade Federal Fluminense, 2003. 76 p.
- DWEIRI, F. Fuzzy development of crisp activity relationship charts for facilities layout, *Computers & Industrial Engineering*, 36, 1999. p. 1-16.
- EVANS, G.W.; WILHELM, M.R.; KARWOWSKI, W. A layout design heuristic employing the theory of fuzzy sets. *International Journal of Production Research*, vol. 25, n° 10, 1987. p. 1431-1450.
- FRANCIS, R.; WHITE, J.A. *Facility Layout and Location*. Englewood Cliffs: Prentice – Hall, N.J., USA, 1974.
- HASSAN, M.M.D. Toward re-engineering models and algorithms of facility layout, *Omega*, vol. 28, 2000. p. 711-723.
- KARWOWSKI, W.; EVANS, G.W. Fuzzy concepts in production management research: a review. *International Journal of Production Research*, vol. 24, n° 1, 1986. p. 129-147

- KARRAY, F.; ZANELDIN, E.; HEGAZY, T.; SHABEEB, A.; ELBELTAGI, E. Tools of soft computing as applied to the problem of facilities layout planning, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 8, no 4, August, 2004.
- KUSIAK, A.; HERAGU, S. The facility layout problem, *European Journal of Operational Research*, vol. 29, 1987. p. 229-251.
- HERRERA, W.D.M.; COSTA, H.G. Contribuições da análise multicritério à obtenção de graus de proximidade no projeto de arranjos físicos, *Produto e Produção*, 5, nº 3, 2001. p. 49-61.
- LIGGET, R.S. Automated facilities layout: Past, Present and Future, *Automation in Construction*, vol. 9, 200. p. 197-215.
- LIN, L.; SHARP, G.; Quantitative and Qualitative indices for the plant layout evaluation problem, *European Journal of Operational Research*, vol. 116, 1999. p. 100-117.
- MAMDANI, E.H.; ASSILIAN, S.; An experiment in Linguistic synthesis with Fuzzy Logic Controller, *International Journal Man-Machine Studies*, vol. 7, 1975. p. 1-13.
- PEDRYCS, W.; GOMIDE, F. An introduction to Fuzzy Sets – Analysis and Design. The MIT Press, England, 1998. 461 p.
- SUGENO, M. An introductory survey of fuzzy control, *Information Sciences*, 36, 1985. p. 59-83.
- SULE, D. Instalaciones de manufactura – Ubicación, instalación y diseño, International Thomson Editores S.A. de C.V, México, 2001.
- ZADEH, L.A. Fuzzy Sets, *Information and Control*, vol. 8, 1965. p. 338-353.
- ZIMMERMANN, H. Fuzzy Set Theory and its Applications. Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 1996.

### **Agradecimentos:**

Os autores agradecem o apoio recebido do Laboratório de Ciências Matemáticas da Universidade Estadual do Norte Fluminense (LCMAT - UENF), da Universidade Federal Fluminense (UFF), da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).