

MODELO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA APLICADO NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS ¹

*RHEINGANTZ, Paulo Afonso (1); ROCHA, Anna Carla de M.. (2);
LIMA, Fernando Rodrigues (3), COSENZA, Carlos Alberto N. (4)*

(1) Arquiteto, Doutor, Prof. DPA-PROARQ/FAU-UFRJ – Prédio da FAU, Sl. 433 – Cid. Univ., Ilha do Fundão - CEP 21949-900 – Rio de Janeiro - RJ – Fone: (0xx21) 598-1661 – E-mail: par@centroin.com.br; (2) Eng. Civil, Mestre- Rua Marquês de Abrantes, 192/1801/b11, Flamengo- CEP 222230-061- Rio de Janeiro - RJ - Fone: (0xx21) 552-1116 – E-mail: annac.ntg@terra.com.br ; (3) Arquiteto, Doutor, Prof. EE-UFRJ e do PROARQ-FAU-UFRJ – Prédio do CT, Bloco “D”, SL 108 – Cid.Univ., Ilha do Fundão – CEP 21949-900 – Rio de Janeiro – RJ – Fone (0xx21) 280-9493 – E-mail: frlima@interclub.com.br; (4) Eng. Produção, Doutor, Prof. Titular COPPE-UFRJ e do PROARQ-FAU-UFRJ – Prédio do CT, Bloco “F”, SL 108 – Cid. Univ., Ilha do Fundão – CEP 21949-900 – Rio de Janeiro – RJ – Fone (0xx21) 560-8832 – E-mail: cosenza@pep.ufrj.br

RESUMO

Este estudo apresenta um instrumento de análise qualitativa do desempenho dos edifícios de escritórios derivado do Modelo de Análise Hierárquica COPPETEC-COSENZA (MAH-CC), desenvolvido para a análise da hierarquia espacial no processo de localização industrial. Seu principal objetivo é demonstrar a utilidade de uma ferramenta que alia grande flexibilidade à possibilidade de representação formal do subjetivismo inerente aos processos de decisão em mais de dois níveis de apuração ou estágios comportamentais, com base na lógica *fuzzy* e em variáveis linguísticas. Basicamente, o MAH-CC é uma operação com matrizes que, a partir de uma listagem de atributos de desempenho de natureza comum a um grupo de edifícios, confronta a demanda de diferentes organizações ou grupos de usuários por espaço e por recursos prediais, com a oferta de um conjunto de edifícios. Os atributos são classificados segundo vínculos comuns e, para cada atributo de desempenho, são identificadas as variáveis para sua mensuração. Os valores ou índices de desempenho resultantes, expressos através de uma *matriz de possibilidades*, permitem identificar, pela *observação visual* do conjunto hierarquizado das possibilidades, os pontos onde determinada organização ou grupo de usuários encontra melhor adequação às condições especificadas na demanda e mapeadas no conjunto de edifícios. Ao confrontar demanda e oferta ponderando eventuais situações de excesso ou escassez de oferta para atender a determinada demanda, o MAH-CC permite (a) maior agilidade na tomada de decisões, (b) sistematizar os procedimentos operativos que envolvem a concepção, a produção ou a avaliação de edifícios, (c) confirmar ou monitorar situações já estabelecidas, e (d) investigar qual perfil de oferta de edifício favoreceu determinada localização ou aquisição bem sucedida.

ABSTRACT

This study presents an instrument of qualitative analysis of the acting of the buildings offices derived of the Model of Hierarchical Analysis COPPE-UFRJ (MAH-CC), developed for the analysis of the space hierarchy in the process of industrial location. It main is to demonstrate the usefulness of the tool that forms an alliance great flexibility with the possibility of formal representation of the inherent subjectivism to the process of decision in two levels or behavioral apprenticeships agreements with fuzzy logic and linguistic variables. Basically MAH-CC is an operation with head offices that, starting from a listing of attributes of nature acting common to a group of buildings, it confronts the demand of different organizations or users' groups for space and for property resources, with the offer of a group of buildings. The attributes are classified according to common entails and, for each acting attribute they are identified the variables for it quantification. The values or indexes of acting resultants, expressed through a head office of possibilities, they allow to identify, for the visual observation of the nested group of the possibilities, the points where certain organization or users' group finds better adaptation to the conditions specified in the demand and mapped in the group of buildings. When confronting demand and it presents considering eventual excess situations or offer shortage to tend the certain demand, MAH-CC it allows (the) larger agility in the outlet of decisions, (b) to systematize the operative procedures that they involve the conception, the production or the evaluation of buildings, (c) to confirm or to already monitor situations established, and (d) to investigate which profile of building offer favored certain location or acquisition well happened.

¹ Publicado nos Anais do NUTAU'2000. São Paulo: FAUUSP, 2000. CD-ROM (cód.072).

INTRODUÇÃO

Este estudo tem como objetivo apresentar um instrumento de análise qualitativa do desempenho dos edifícios de escritórios derivado do Modelo de Análise Hierárquica COPPETEC-COSENZA (MAH-CC), desenvolvido a partir das teses de LIMA (1994), de RHEINGANTZ (2000), do Programa de Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ e da dissertação de ROCHA (2000), do PROARQ/FAU-UFRJ. Estes estudos evidenciaram a grande flexibilidade do MAH-CC, especialmente com relação à possibilidade de representação formal do subjetivismo inerente à avaliação de desempenho do ambiente construído (AC), com base na lógica *fuzzy* e em variáveis lingüísticas.

O estudo (a) conceitua subconjuntos *fuzzy* e variáveis lingüísticas e, a seguir, analisa suas aplicações na avaliação de desempenho do ambiente construído, e (b) apresenta o histórico, a descrição e a adaptação do MAH-CC como instrumento de análise para avaliação do desempenho de edifícios de escritório. Para melhor ilustrar sua aplicação, é apresentado um conjunto de atributos de desempenho e de matrizes desenvolvidos (RHEINGANTZ 2000) para simular a avaliação de 6 edifícios de escritórios a partir de 8 diferentes tipologias organizacionais (usuários).

SUBCONJUNTOS FUZZY, VARIÁVEIS LINGÜÍSTICAS E SUAS APLICAÇÕES NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO:

“Na medida em que cresce a complexidade de um sistema, nossa capacidade de fazer proposições precisas e simultaneamente significativas sobre seu comportamento diminui até alcançar um limite além do qual precisão e a significância (ou relevância) tornam-se características quase mutuamente exclusivas.”

[Princípio da Incompatibilidade] Lotfi ZADEH (1973)

Os princípios da matemática nebulosa [*fuzzy*] foram formalizados por Lotfi ZADEH², com o intuito de processar “as informações subjetivas, de natureza vaga e incerta, da linguagem natural.” (YEE 1997: 3) A aplicação da lógica *fuzzy* na avaliação do desempenho do ambiente construído (AC) possibilita resolver diversos problemas relacionados ao nosso complexo e ambíguo processo de interação com o “mundo real”. Segundo YEE, “a importância da teoria de sistema nebuloso” reside na possibilidade de considerar a suposição na resolução de problemas em situações onde o conhecimento é incompleto ou incerto – “como acontece nos diagnósticos médicos, análise e tomada de decisão em engenharia, administração, etc.” (YEE 1997)

Conjuntos Nebulosos [*Fuzzy*]

A palavra *fuzzy* (vago, impreciso, nebuloso) foi introduzida na matemática por ZADEH (1965), para lidar com quantidades de contornos pouco nítidos ou mal definidos e que não podem ser descritas em termos de distribuições de probabilidade. Ao definir conjunto nebuloso [*fuzzy*] como uma classe de objetos para os quais não existe uma fronteira bem definida entre os objetos que pertencem a essa classe, ZADEH (1965) lançou as bases para a modelagem matemática do raciocínio aproximado, que trabalha com possibilidade e com incerteza, superando os limites impostos pela adaptação dos métodos mecanicistas para a resolução de problemas de sistemas complexos: “em essência, ... as técnicas quantitativas convencionais de análise de sistemas são intrinsecamente inadequadas para lidar com sistemas vivos ou, no caso, qualquer sistema cuja complexidade é comparável à dos sistemas vivos.” (ZADEH 1965)

Uma decisão baseada no enfoque *fuzzy* – conjunto *fuzzy* de alternativas resultante da interseção de objetivos e restrições – e no processo intuitivo de decisão – basicamente, uma *escolha* ou um *conjunto de escolhas* extraídas do conjunto das alternativas possíveis – são bastante semelhantes graças à capacidade de gerarem procedimentos análogos à estrutura do pensamento humano.

Variáveis lingüísticas

Idéia central da lógica *fuzzy* é a possibilidade de realizar ‘operações com palavras’, onde os Conjuntos Nebulosos são os ‘valores’ das palavras.” (BRAGA, BARRETO e MACHADO s/d: 6) Segundo ZADEH, em uma linguagem L , cada palavra x pode ser vista como uma descrição resumida de um subconjunto $M(x)$ de um universo do discurso U , onde $M(x)$ representa o significado de x . Considera-se a linguagem como um “sistema para atribuir rótulos atômicos e compostos (p.ex., palavras, frases, sentenças) para os subconjuntos de U ”

² Inicialmente publicado no artigo *Fuzzy Sets* (in *Information and Control*, 1965 [vol.8], p. 338-353) e consolidados no artigo *Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes* (in *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, janeiro/1973 [vol. SMC-3] p.28-44).

(ZADEH 1973). Se considerarmos a palavra *sala* como subconjunto fuzzy M (*sala*), e o adjetivo *cinza* como subconjunto fuzzy M (*cinza*), o significado da expressão *sala cinza* é dado pela interseção de M (*cinza*) com M (*sala*). Se a cor de um objeto ou ambiente for considerada uma variável, seus valores (*vermelho, amarelo, azul, etc.*) podem ser rótulos de subconjuntos *fuzzy* de um universo de objetos ou ambientes, e o atributo cor, uma variável *fuzzy* cujos valores são rótulos de conjuntos *fuzzy* – a variável *cinza* é mais imprecisa do que o valor numérico de seu comprimento de onda. Os valores da variável podem ser termos atômicos, tais como os da variável cor, ou sentenças em uma linguagem específica – por isso a variável é lingüística –, tais como os valores da variável lingüística [fuzzy] *calor* – *quente, muito quente, muitíssimo quente, um tanto quente, bastante quente, não muito quente, não quente, mais ou menos quente* – formados por sentenças compostas pelo rótulo *quente*, pela negativa *não*, pelos conectivos *e* e *mas*, e os modificadores *muito, muitíssimo, um tanto, bastante e mais ou menos*.

O emprego das variáveis lingüísticas é reforçado por MATURANA e VARELA (1995: 250), quando afirmam que o ato mental de conhecer produz, em sua essência, *um mundo* condicionado pelo “operar recursivo da linguagem humana.” Em outras palavras, a qualidade semântica das sentenças lingüísticas reaproxima a matemática dos processos mentais. A premissa “de que os elementos-chave do pensamento humano não são números, mas rótulos de conjuntos nebulosos, isto é, classes de objetos nos quais a transição de *membro pertinente ao conjunto* para de *membro não pertinente* é gradual em vez de ser adrupta” (ZADEH, 1973: 4) justifica o uso de variáveis lingüísticas na definição de graus (rótulos) atribuídos aos elementos observados – neste estudo, ambientes físicos confrontados em função de determinados atributos e seus respectivos pesos. Ao ser tratada como categoria *fuzzy*, a subjetividade e a incerteza na determinação destes atributos de escala ordinal, torna-se cardinal, recebendo um grau numa escala de [0, 1].

Função de Pertinência (μ)

O conjunto *fuzzy*, ao reconhecer a possibilidade de uma transição com relativa dose de ambigüidade à dicotomia pertence-não pertence/verdadeiro-falso do conjunto clássico, obriga a que se considere a maior ou menor pertinência – sentido ou significado da variável/operação fuzzy – do valor da variável. Segundo YEE (1997), os valores da função de pertinência são indicadores de tendências atribuídas subjetivamente por alguém, e dependem do contexto no qual estão inseridos. Em contraposição ao 1 (verdadeiro/pertence) ou 0 (falso/não pertence) dos conjuntos clássicos, nos conjuntos *fuzzy*: (a) quando o valor da variável for igual a 1 (μ), ela é absolutamente pertinente; (b) quanto mais próximo de 1 (μ) for o valor da variável, maior é a sua pertinência; (c) quanto mais próximo de 0 (zero) for o valor da variável, menor é a sua pertinência; (d) quando o valor da variável for 0 (zero), ela não pertence ao conjunto analisado.

Porque usar a lógica fuzzy?

JANG & GULLEY (1997) respondem a esta questão com os seguintes argumentos: (a) porque a naturalidade de sua abordagem a torna conceitualmente fácil de entender; (b) porque é flexível; (c) porque é tolerante com dados imprecisos; (d) porque pode modelar as funções não-lineares da abstratidade da complexidade; (e) porque pode ser construída com base na experiência de especialistas; (f) porque pode ser integrada às técnicas convencionais de controle; (g) porque em muitos casos, simplifica ou amplia as possibilidades e recursos dos métodos convencionais de controle; (h) porque é baseada na linguagem natural, base da comunicação humana.

Abordagem fuzzy na valiação de desempenho do ambiente construído

As limitações das técnicas tradicionais ficam bastante evidentes nas avaliações de desempenho dos edifícios. De um modo geral, os estudos de avaliação de desempenho analisam isoladamente alguns aspectos dos edifícios (conforto higrotérmico, conforto lumínico, conforto acústico, conforto aeróbico, funcionalidade, qualidade construtiva, etc.). Apesar da sua importância para o desenvolvimento de pesquisas acadêmicas, a utilidade destes estudos têm sido pouco satisfatória para os usuários dos edifícios, que o percebem como um sistema único e integrado. Reconhecendo estas limitações, estudos mais recentes procuram relacionar e integrar alguns blocos de informação. Apesar de seu inegável avanço em relação à prática anterior, poucos deles têm sido eficientes no atendimento às necessidades dos usuários, uma vez que tratam, basicamente, de dados e medições numéricas e se fundamentam em normas e leis. Em comum estas duas práticas desconsideram a subjetividade e a imprecisão de diversas questões que interferem na sensação de conforto dos usuários, tais como hábitos, crenças e valores culturais, cultura da organização, aspectos psicológicos, etc.

A construção de instrumentos baseados na lógica *fuzzy* possibilita representar a subjetividade de questões “coloridas” por emoções, sentimentos e comportamentos, em lugar de precisos valores quantitativos. Estes novos instrumentos qualitativos permitem avaliar conceitualmente o ambiente construído, analisando a intensidade das imagens, dos valores e das expectativas dos usuários no processo de percepção, necessárias para a compreensão da importância absoluta e relativa dos fenômenos/valores perceptivos e para sua representação – os conceitos de aleatoriedade são substituídos por conceitos de nebulosidade tratados pela lógica *Fuzzy*. A construção dos rótulos,

que tanto podem ser palavras como sentenças narrativas, possibilita a configuração mental de múltiplos cenários ou imagens-chave. Assim, a abordagem *fuzzy* configura-se como um importante passo no sentido de minorar a dificuldade para uma definição pormenorizada dos desdobramentos simultâneos e rápidos destas diversas construções mentais esquemáticas, que podem ser facilmente percebidas.

O MODELO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA COPPETEC-COSENZA (MAH-CC)

Desenvolvido com a finalidade de permitir estudos mais dinâmicos na localização de empreendimentos industriais, o MAH-CC é uma operação com matrizes “cujo algoritmo de análise fundamenta-se em concatenações da oferta territorial com a demanda industrial, para uma série de fatores de localização estudados” (LIMA 1993: V). A grande flexibilidade deste modelo possibilitou sua aplicação em estudos de localização e de avaliação de desempenho de edifícios industriais – estudo de parâmetros espaciais ambientais (COSENZA e PORTO 1997, 1998) – e na avaliação de desempenho do Edifício de Serviços do BNDES (COSENZA et al 1997). O MAH-CC também foi adaptado como instrumento de auxílio à tomadas de decisões arquitetônicas (ROCHA 2000) e na construção de uma ferramenta para a avaliação do desempenho de edifícios de escritórios, confrontando projetos de edifícios de escritórios com requisitos (atributos de desempenho) das organizações que possam neles se instalar (RHEINGANTZ 2000). Tal confronto se baseia na oferta – caso dos edifícios – e demanda – caso das organizações – de um conjunto de condicionantes previamente determinados.

Histórico

O MAH-CC foi inspirado nos pressupostos do Modelo MASTERLI (*Modelo di Assento Territoriali e di Localizzazione Industriale*) [1971-1974], desenvolvido pelo consórcio das instituições SOMEA (Itália), SEMA (França), com a participação posterior da COPPE-UFRJ na construção do Programa de Informações para Localização Industrial. O Modelo MASTERLI foi aplicado no Programa de Informações para Localização Industrial e Comercial, desenvolvido pela CONCISA (Consultoria de Ciência Social Aplicada Ltda.) para o Governo do Estado do Rio Grande do Sul, incorporando uma estrutura matemática não convencional.

Em 1974, no projeto *Alternativas de Localização Industrial para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro*, desenvolvido pela COPPE/UFRJ para a FUNDREM (Fundação para o Desenvolvimento das Regiões Metropolitanas do RJ), COSENZA introduz modificações substanciais na estrutura e na operação do Modelo MASTERLI: (a) possibilidade de operar com micro-regiões para localização industrial; (b) detalhamento dos perfis de oferta e demanda que, em sua operação matricial, passam a considerar situações intermediárias, antes agrupadas em apenas dois níveis; (c) possibilidade de ponderação de eventual excesso de oferta de fatores locais; (d) possibilidade de penalização de eventual escassez de oferta de fatores locais.

Em 1981, COSENZA consolida as bases para o *Modelo Cosenza de Localização Industrial* (atual MAH-CC). Já incorporando os princípios da Lógica *Fuzzy* e utilizando variáveis lingüísticas, o MAH-CC foi utilizado pela COPPE no Projeto de Localização Industrial para a Zona Oeste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, desenvolvido para a Secretaria de Planejamento do Município do Rio de Janeiro e no Projeto COPPE - FEEMA - IBAM de Revisão do Zoneamento Industrial da Região Metropolitana do Rio de Janeiro – desdobramento do projeto desenvolvido para a FUNDREM (1975). Em 1993, LIMA revisou os conceitos aplicados à mensuração de oferta e demanda, e operacionalizou o modelo em sistema C.A.D. associado a banco de dados.

Em 1997 o MAH-CC foi aplicado como ferramenta para avaliar o desempenho do ambiente interno e a qualidade dos serviços condominiais na APO do Edifício de Serviços do BNDES, (COSENZA et al 1997; RHEINGANTZ et al 1977). Utilizado como complemento aos procedimentos clássicos da APO – análise *walkthrough*, questionário e entrevistas com os usuários – o modelo evidenciou a possibilidade de contornar as limitações dos processos de mensuração baseados na lógica binária tradicional.

Em 2000, a dissertação de ROCHA e a tese de RHEINGANTZ, adaptando os conceitos originalmente elaborados para localização industrial, demonstram a aplicabilidade do MAH-CC para: (a) conferir maior agilidade na tomada de decisões, (b) sistematizar os procedimentos operativos que envolvem a concepção, a produção ou a avaliação de edifícios, (c) confirmar ou monitorar situações já estabelecidas, e (d) investigar qual perfil de oferta de edifício favoreceu determinada localização ou aquisição bem sucedida.

Descrição do Modelo

O MAH-CC é, basicamente, uma operação com matrizes que representam, quando aplicadas ao estudo de edifícios, a demanda por espaço e por recursos prediais de escritório por parte de (*h*) tipos ou grupos de

organizações, ou usuários, expressa através de (n) atributos de desempenho, e a oferta dos (n) atributos de desempenho representadas por (m) projetos ou alternativas de edifícios de escritórios³, onde:

a_{ij} \Rightarrow coeficiente resultante do grau de importância do atributo j com relação ao usuário i ;

b_{jk} \Rightarrow coeficiente resultante do nível do atributo j com relação ao projeto ou alternativa k

Seu algoritmo consiste na comparação das matrizes de Demanda e de Oferta:

Atributos de Desempenho

A comparação entre oferta e demanda tem como base um conjunto de requisitos e/ou restrições presentes nos edifícios considerados, que também são necessários à satisfação dos usuários. A este conjunto de requisitos/restrições denominamos atributos de desempenho, que podem ser mensurados em diversos níveis de ocorrência/exigência.

Matriz de Demanda [a_{ij}] $h \times n$

A *Matriz de Demanda* (Tabela 1) relaciona a demanda por espaço e/ou recursos prediais, expressa através de um conjunto (n) de atributos de desempenho dos edifícios (colunas), com os (h) diferentes tipos/grupos de organizações ou usuários (linhas) considerados no estudo.

Tabela 1: Matriz de Demanda (dos Usuários)

$h \times n$	Atributos de desempenho
Tipos de Usuários	valores possíveis do elemento $a_{ij} = A, B, C$ ou D

Esta matriz formaliza os níveis de exigência de desempenho predial cabíveis a cada organização segundo o desempenho de suas funções. Os valores atribuídos a cada elemento a_{ij} são classificados em função da demanda percebida junto aos usuários e/ou da opinião de especialistas, representados por escala de valores. Embora a escala de valores possa ser modificada em função da maior ou menor precisão desejada na aferição dos resultados (Figura 1), este estudo considera uma escala de 4 valores [A, B, C e D], correspondendo a:

(A) *crucial* – A ausência do atributo inviabiliza o êxito do empreendimento, caracterizando uma expectativa que deve ser prioritariamente atendida.

(B) *condicionante* – A ausência do atributo compromete o êxito do empreendimento mas não o inviabiliza, caracterizando uma expectativa que deve ser atendida com alguma prioridade.

(C) *pouco condicionante* – A ausência do atributo não compromete o êxito do empreendimento, mas torna-o menos atrativo, caracterizando uma expectativa que é sem prioridade, por ser apenas desejável.

(D) *irrelevante* – A ausência do atributo não compromete o êxito do empreendimento, caracterizando uma total ausência de demanda.

Matriz de Oferta [b_{jk}] $n \times m$

A *Matriz de Oferta* (Tabela 2) relaciona disponibilidade dos (n) atributos de desempenho (linhas) com os (m) projetos ou alternativas de edifícios (colunas) consideradas no estudo.

Tabela 2: Matriz De Oferta (de Edifícios)

$n \times m$	Projetos/Alternativas de Edifícios
Atributos de desempenho	valores possíveis do elemento $b_{jk} = A, B, C$ ou D

A exemplo da Matriz de Demanda, os elementos b_{jk} são classificados pelo operador (ou por um grupo de especialistas) numa escala de 4 valores [A, B, C e D], correspondendo a:

(A) *excelente*: atributo encontrado em condições plenas de operacionalidade, refletindo o estado da arte em termos de confiabilidade, qualidade e regularidade; caracterizando uma situação privilegiada.

(B) *bom*: atributo encontrado em condições desejáveis de operacionalidade em termos de confiabilidade, qualidade e regularidade, caracterizando uma situação de normalidade.

(C) *precário*: atributo encontrado em condições pouco aceitáveis de operacionalidade em termos de confiabilidade, qualidade e regularidade, caracterizando uma situação de relativa precariedade.

³ Originalmente o MAH-CC “trabalha com fatores locacionais de natureza comum a todas as tipologias industriais consideradas, tendo no estudo da FUNDREM sido considerados em torno de 25 fatores e 45 zonas elementares, com o perfil da demanda definido em 4 níveis e o perfil de oferta em 3 níveis.” (LIMA 1993: 34)

(D) *ruim/inexpressivo*: atributo encontrado em pequena intensidade ou não é encontrado, caracterizando uma situação de escassez.

Matriz de Prioridades de Ocupação $[c_{ik}]_{h \times m} = [a_{ij}]_{h \times n} \otimes [b_{jk}]_{n \times m}$

A *Matriz de Prioridades de Ocupação* (Tabela 3) é resultante da operação matricial de multiplicação (cotejo) entre as matrizes de demanda e de oferta e confronta os tipos de usuários e/ou organizações com alternativas de edificação. Como numa operação matricial clássica, o confronto do elemento linha da *matriz de demanda* com o elemento coluna da *matriz de oferta* determina o cálculo a ser efetuado entre os valores A, B, C e D.

Tabela 3: Matriz de Prioridades de Ocupação

h x m	Projetos ou Alternativas de Edifícios
Tipos de Usuários	valores possíveis do elemento c_{ik} : ver tabela de cotejo

A operação matricial ($a_{ij} \otimes b_{jk}$), obedece à regra de operação indicada na *Tabela de Cotejo* (Tabela 4), onde [n] é o número de atributos considerados no modelo, e os valores adotados durante o cotejo representam, quando próximos a 1, um equilíbrio entre oferta e demanda. Na medida em que a oferta tende a ser menor do que a demanda, o valor cotejado tende a [0]; quando a oferta tende a ser superior à demanda, este valor tende a $[1+x/n]$.

Tabela 4: Cotejo Demanda \otimes Oferta

$a_{ij} \otimes b_{jk}$ Demanda	Oferta			
	D	C	B	A
D	1	$1 + 1/n$	$1 + 2/n$	$1 + 3/n$
C	$1 - 1/n$	1	$1 + 1/n$	$1 + 2/n$
B	$1 - 2/n$	$1 - 1/n$	1	$1 + 1/n$
A	0	$1 - 2/n$	$1 - 1/n$	1

Interpretação matemática do operador (Tabela 4)

O MAH-CC considera a possibilidade de determinado edifício/tipologia de edifícios ofertar mais ou menos atributos do que os demandados por um tipo/grupo de usuário. A representação matemática da combinação Oferta x Demanda, obedece às formulações indicadas (Tabela 4):

$$1 \pm X/n$$

onde,

X = valor atribuído em função da quantidade de níveis de oferta/demanda considerados no estudo

n = número de atributos de desempenho considerados

X/n = valor acrescido/subtraído ao número 1, indica excesso/carência de oferta em relação à demanda de um determinado atributo, ou seja, a possibilidade de obter valor maior ou menor do que 1 para um atributo do edifício cuja oferta é, respectivamente, maior ou menor do que a necessidade demandada.

Quadro 1: Interpretação Matemática da Tabela 4

Se linha de A for	Se coluna de B for	Então C será	Comentários
A	A	1	Primeiro Caso
A	B	$1 - 1/n$	
A	C	$1 - 2/n$	
A	D	0	
B	A	$1 + 1/n$	Demais Casos
B	B	1	
B	C	$1 - 1/n$	
B	D	$1 - 2/n$	
C	A	$1 + 2/n$	
C	B	$1 + 1/n$	
C	C	1	
C	D	$1 - 1/n$	
D	A	$1 + 3/n$	
D	B	$1 + 2/n$	
D	C	$1 + 1/n$	
D	D	1	

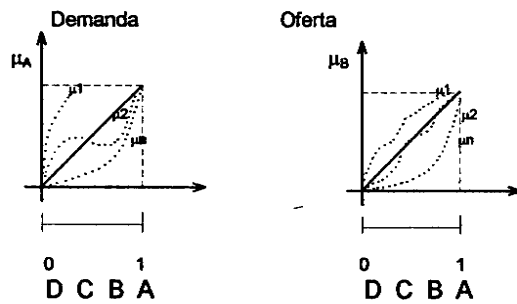
Onde n é igual ao número de fatores gerais demandados

Primeiro Caso: Se A representa fatores demandados de natureza CRUCIAL pelos grupos de usuários, e sua oferta em determinado edifício for considerada EXCELENTE, o valor numérico resultante da operação será igual a 1 (condição de adequação entre Oferta x Demanda). Para as demais situações de um determinado fator com demanda CRUCIAL, é implementado um fator progressivo de correção (débito) na tabela, representando a crescente discrepância entre necessidade de demanda e capacidade de oferta. No caso de um fator com demanda CRUCIAL e oferta RUIM/INEXISTENTE, o valor numérico resultante será considerado nulo.

Demais Casos: representam situações de edifícios onde a oferta de um ou mais atributo for superior

à sua demanda por parte de uma ou mais organização. De modo análogo aos de excesso de demanda (primeiro caso), é implementado um fator progressivo de correção (crédito) representando a crescente superioridade da capacidade de oferta com relação às necessidades de demanda.

Figura 1



Observação fuzzy: Não há limites para os graus de inferência atribuídos para a Oferta e para a Demanda. O número infinito de intervalos cabíveis entre 0 [zero] e 1 [um] possibilita conferir maior ou menor precisão ao resultado do confronto Oferta x Demanda. Da mesma forma, são inúmeras as funções fuzzy $\mu(x)$ contínuas e crescentes cabíveis entre eles, e não apenas a linear, conferindo subjetividade aos valores intermediários dos extremos 0 e 1. As aplicações do MAH-CC não estão restritas apenas à escala de 4 valores (A, B, C, D) adotada neste estudo.

Matriz Diagonal $[e_{ij}]_{h \times h}$

A Matriz Diagonal (Tabela 5) reúne duas características importantes consideradas no processo metodológico do MAH-CC. Sendo uma matriz quadrada, possui o número de linhas igual ao número de colunas, que é igual ao número de grupos de usuários. A sua diagonal principal é composta pelo inverso do somatório de elementos demandados por cada organização. Ao mesmo tempo que a operação com a *Matriz Diagonal* preserva a estrutura resultante da *Matriz de Prioridades de Ocupação* (Tabela 3), ela “embute” para cada um de seus elementos, um divisor $1/n \therefore n = n^o$ de fatores demandados por cada organização, possibilitando uma instantânea capacidade de interpretação da matriz final resultante, chamada de *Matriz de Índices Ocupacionais* (Tabela 6).

Sob o aspecto da pontuação na *Matriz de Prioridades de Ocupação* (Tabela 3), uma situação que não apresenta nem excesso e nem escassez de oferta, é representada por:

$$1 \times n = n$$

onde

1 = é a pontuação “ajustada”, segundo o quadro anterior, onde a oferta é igual à demanda (AA, BB,...)
 n = é o número de repetições da operação, representado pelo número de combinações oferta/demanda, ou seja, o número de atributos.

Tabela 5: Matriz Diagonal

h x h	l colunas
i linhas	valores possíveis de e_{ij} : 0: se $i \neq j$ $1/n$: se $i = j$

Matriz de Índices Ocupacionais $[d_{ik}]_{h \times m} = [e_{ij}]_{h \times h} \times [c_{ik}]_{h \times m}$

Por fim, através do produto ordinário da *Matriz de Prioridades de Ocupação* (Tabela 3) pela *Matriz Diagonal* (Tabela 5), são obtidos os índices de ocupação na forma de uma *Matriz de Índices Ocupacionais* (Tabela 6), de tamanho (h) x (n):

Tabela 6: Matriz de Índices Ocupacionais

h x n	Atributos de desempenho
Tipo de Usuários	valores possíveis de d_{ik} : $[e_{ij}]_{h \times h} \times [c_{ik}]_{h \times m}$

O resultado final admite uma interpretação genérica (independente do valor **n** ou da finalidade da aplicação), resumida da seguinte forma:

- para valores de d_{ik} superiores a 1 \Rightarrow indicação de excesso de oferta
- para valores de d_{ik} iguais a 1 \Rightarrow indicação de uma situação ideal, perfeitamente ajustada.
- para valores de d_{ik} inferiores a 1 \Rightarrow indicação de escassez de oferta

UM EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MAH-CC NA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO AC

Com o objetivo de ilustrar uma aplicação do MAH-CC, a seguir é apresentada uma simulação de avaliação de desempenho (RHEINGANTZ 2000) de um conjunto hipotético de 6 edifícios (e1, e2, e3, e4, e5 e e6), hierarquizados segundo suas possibilidades de oferta mediante as necessidades ocupacionais (demandas) específicas de 8 diferentes perfis organizacionais.

Para a melhor caracterização dos atributos de desempenho, foram utilizados 6 *atributos gerais*:

- (a1) *Atributos Corporativos* – Localização, relação com a vizinhança, imaginabilidade, custo da instalação, custo operacional e valor imobiliário.
- (a2) *Atributos de Infra-estrutura* – Condições do terreno, acesso de veículos, transporte terrestre, transporte aéreo e redes de telecomunicações, de energia elétrica, de água, de esgotos, de drenagem e de iluminação pública.
- (a3) *Atributos Construtivos* – Forma, qualidade construtiva, garagem, flexibilidade tecnológica, facilidade de manutenção.
- (a4) *Atributos de Espaço* – Área útil, flexibilidade do lay-out, centro de convenções, espaços de apoio, espaços complementares.
- (a5) *Atributos de Ambiência Interna* – Acessibilidade, circulação interna e confortos: aeróbicos, térmico, visual, auditivo e tátil.
- (a6) *Atributos de Recursos e Serviços Prediais* – Gerenciamento predial, sistemas de segurança e recursos prediais.

As organizações foram agrupadas segundo um nível de exigência comum, ou “cenário geral de demandas”:

- (1) *Demandas Tradicionais ou Conservadoras*: clínica psicológica (h2), empresa de advocacia (h4).
- (2) *Demandas Revitalizadoras ou de Equilíbrio*: consultoria de RH (h5), consultório de gestão empresarial (h7), gerenciamento de ativos imobiliários (h8).
- (3) *Demandas Inovadoras ou Renovadoras*: provedor de internet (h1), televidas (h3), banco agência aérea (h6).

A simulação dos atributos gerais produziu os seguintes resultados (Tabelas 7, 8 e 9):

Tabela 7: Matriz de Demanda

↓ USUÁRIOS	ATRIBUTOS⇒	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
h ₁	Provedor Internet	C	A	B	D	A	A
h ₂	Clínica de Psicologia	B	B	C	C	A	D
h ₃	Televidas	D	C	D	C	D	B
h ₄	Advocacia (médio porte)	B	A	C	D	C	C
h ₅	Consultoria em RH	B	A	B	A	A	A
h ₆	Banco – Agência Aérea	B	C	B	B	B	A
h ₇	Consultoria Alta Gestão Empresarial	B	A	A	A	A	A
h ₈	Gerenciamento de Ativos Imobiliários	A	A	A	B	B	A

Tabela 8: Matriz de Oferta

↓ ATRIBUTOS	EDIFÍCIOS ⇒	e ₁	e ₂	e ₃	e ₄	e ₅	e ₆
a ₁	Corporativos	C	B	C	A	A	B
a ₂	Infra-estrutura	C	B	B	B	B	B
a ₃	Construtivos	B	B	C	B	A	A
a ₄	Espaço	D	B	D	A	B	A
a ₅	Ambiência Interna	C	B	B	C	A	A
a ₆	Recursos/Serviços Prediais	D	C	D	B	A	A

Tabela 9: Matriz de Índices Ocupacionais

↓ USUÁRIOS	EDIFÍCIOS ⇒	e ₁	e ₂	e ₃	e ₄	e ₅	e ₆
h ₁	Provedor Internet	0	0,99	0	1,08	1,13	1,13
h ₂	Clínica de Psicologia	0,90	1	0,93	1,16	1,22	1,21
h ₃	Televidas	1,05	1,22	1,08	1,30	1,36	1,36
h ₄	Advocacia (médio porte)	0,94	1,11	0,96	1,19	1,24	1,24
h ₅	Consultoria em RH	0	0,88	0	0,96	1	1
h ₆	Banco – Agência Aérea	0	0,99	0	1,08	1,14	1,14
h ₇	Consult. Alta Gestão Empresarial	0	0,85	0	0,88	0,93	0,99
h ₈	Gerenciam. De Ativos Imobiliários	0	0,88	0	0,96	1	1
MÉDIA POR EDIFÍCIO		0,36	0,99	0,37	1,08	1,13	1,13

Os resultados obtidos com esta simulação apresentam, numa primeira análise, a consistência esperada, uma vez que não foi detectado nenhum direcionamento de empreendimento a um prédio inadequado. As alternativas que, por conhecimento factual, já seriam descartadas, pontuaram com valor 0, enquanto as alternativas que possuem excesso de oferta pontuaram acima do valor 1. Estas observações conclusivas estão baseadas em RHEINGANTZ (2000), que detalha o perfil dos edifícios e dos empreendimentos considerados nesta exemplificação, e traz maiores considerações sobre os mecanismos de análise de resultados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procura evidenciar que, buscando instrumentos consagrados em outras áreas de conhecimento, é possível atribuir um novo significado para o processo de avaliação de desempenho. A adequação de um instrumento de análise de desempenho, cuja modelagem se fundamenta no uso da lógica *fuzzy* e de variáveis linguísticas, possibilitou a comparação entre diferentes edifícios em função das expectativas dos usuários.

Grande parte do êxito que se espera obter durante o desenvolvimento do MAH-CC aplicado à avaliação de desempenho repousa na conceituação criteriosa dos atributos que serão considerados em cada estudo de caso, e nos mecanismos que permitirão aferir com que nível cada um destes atributos será ofertado ou demandado. Somente o conhecimento factual da arquitetura de edifícios de escritório, aliado ao domínio do raciocínio *fuzzy*, permitirão que iniciativas neste sentido sejam bem sucedidas. O emprego de metodologias que organizam e classificam as informações, nos parece mais adequado do que a tomada de decisão restrita apenas ao conhecimento acumulado de forma aleatória. A alternativa de emprego de variáveis linguísticas e lógica *fuzzy* vem conferir um caráter mais científico às atividades que, por sua natureza, prescindem de algum grau de subjetividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, Christopher. El Modo Intemporal de Construir. Barcelona: G.Gili, 1979.
- BAIRD, George *et al.* (Edit.) Building Evaluation Techniques. Wellington: Victoria University of Wellington; McGraw-Hill: New York, 1995.
- CAPRA, Fritjof. Sabedoria Incomum. São Paulo: Cultrix, 1991.
- _____. A Teia da Vida. São Paulo: Cultrix, 1996.
- CAPRA, F.; STEINDL-RAST, D. Pertencendo ao Universo. São Paulo: Cultrix, 1994.
- COSENZA, Carlos A. N. A industrial location model. Cambridge, Martin Centre for Architectural and Urban Studies Cambridge University, 1981. [working paper]
- _____. Considerações Adicionais Sobre a Lógica Fuzzy e o Uso de Estruturas Formais Distintas em Dois Modelos Locacionais. Rio de Janeiro: UFRJ, 1997. [conferência, concurso para professor titular da Escola de Engenharia]
- COSENZA C. A.; PORTO, M. Arquitetura Industrial. Uma Estrutura Modelada pelos Parâmetros Espaciais Ambientais, in Cadernos do PROARQ n° 1. Rio de Janeiro: FAU/UFRJ, 1997, p.1-23.
- _____. Arquitetura Industrial e parâmetros Espaciais Ambientais, in DEL RIO, Vicente [Org.] (1998: 55-73).
- COSENZA et al. Listagem de fatores a serem considerados no projeto COPPE-FEEMA-IBAM. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1999, 10 fls. [relatório técnico]
- LIMA, Fernando R. Estudos de localização Industrial: Criação de um sistema de análise baseado em modelos icônicos gerados por aplicações da computação gráfica associados a banco de dados relacional. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 1994. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)
- MORIN, Edgar. Ciência com Consciência. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- _____. in GOMEZ, Nelson V. Os países latinos têm culturas vivas, Jornal do Brasil, Rio de Janeiro, 05.nov.1998. [entrevista]
- ORNSTEIN, Sheila W. Estado da Arte e Perspectivas sobre o ensino de Avaliação Pós-Ocupação no Brasil, In: Anais do NUTAU'98 Arquitetura e Urbanismo: Tecnologias para o século XXI, São Paulo: FAUUSP-NUTAU, 1998.
- RHEINGANTZ, Paulo A. Centro Empresarial Internacional Rio: análise pós-ocupação, por observação participante, das condições internas de conforto. Rio de Janeiro: UFRJ/FAU, 1995. Dissertação [Mestrado em Arquitetura].
- _____. Aplicação do Modelo de Análise Hierárquica COPPETEC-Cosenza na avaliação do desempenho de edifícios de escritório. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)
- ROCHA, Anna C. M. Arquitetura: critérios de localização. Rio de Janeiro: UFRJ/PROARQ, 2000. Dissertação (Mestrado em Arquitetura).
- SANTOS, Boaventura S. Um Discurso sobre as Ciências. (7ed) Lisboa: Afrontamento, 1995. (1ª edição em 1987).

ZADEH, Lofti. *Fuzzy Sets*, in Information and Control, 1965 [vol.8], p. 338-353.

_____. *Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes*, in IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, jan/1973 [vol. SMC-3], p.28-44.