



## Aplicação e análise do modelo fuzzy hierárquico COPPE-COSENZA em uma decisão de localização

## Application and analysis of the fuzzy hierarchical COPPE-COSENZA model in a location decision

Ruan Carlos Alves Pereira<sup>1</sup>

Carlos Frederico Oliveira Barros<sup>2</sup>

Valdecy Pereira<sup>3</sup>

---

**Resumo:** Este presente estudo tem como objetivo expor o funcionamento e realizar análises sobre o comportamento do Modelo COPPE-COSENZA. Prevê ainda, como aplicação, realizar a análise hierárquica de localização para instalação de uma rede de internet confiável e estável, analisando além dos aspectos socioeconômico de necessidade da região, fatores que darão suporte ao empreendedor para que possa estruturar sua rede e permita expandi-la de forma segura sem afetar os usuários e proporcionando um fluxo de caixa sadio para a empresa ofertante. Para isto, será utilizado o modelo COPPE-COSENZA de análise hierárquica, que tem seus conceitos baseados na lógica Fuzzy.

**Palavras-chave:** Fuzzy; Modelo Hierárquico; Localização

---

---

<sup>1</sup> UFF – Universidade Federal Fluminense

<sup>2</sup> UFF – Universidade Federal Fluminense

<sup>3</sup> UFF – Universidade Federal Fluminense

**Abstract:** This study aims to expose the behavior of the COPPE-COSENZA Model. It also provides, as an application, the hierarchical analysis of location for the installation of a reliable and stable internet network, analyzing the problem beyond the socioeconomic aspects as this factors will support the entrepreneur to structure his network and allow him to securely expand it without affecting users. For this application, the COPPE-COSENZA model of hierarchical analysis will be used, which has its concepts based on Fuzzy logic.

**Keywords:** Fuzzy; Hierarchical Model; Location

---

## 1. Introdução

Neste presente artigo será aplicado um modelo Fuzzy Hierárquico para um problema multicritério de localização. Como ilustração para a aplicação do método, utilizaremos a problemática da decisão de localização para a instalação de uma rede de internet confiável e estável, dentre as cidades pertencentes a Região do Lagos, no estado do Rio de Janeiro, utilizando como critérios (ou variáveis) os aspectos socioeconômicos da região demonstrando assim a versatilidade do modelo.

A seleção da cidade será realizada através da avaliação de informações como renda mediana per capita das cidades, acesso à energia elétrica, densidade populacional, população, idade média populacional, carência de acesso à internet, crescimento populacional e análise de concorrência local. A partir destas informações será dado um direcionamento de qual cidade da região seria mais beneficiada ao receber a oferta desta rede.

A aplicação do modelo COPPE-COSENZA irá propor a localização para instalação de uma rede de internet confiável e estável, analisando além dos aspectos socioeconômico de necessidade da região, fatores que darão suporte ao empreendedor para que possa estruturar sua rede e permita expandi-la de forma segura sem afetar os usuários e proporcionando um fluxo de caixa sadio para a empresa ofertante. Este balanço entre as necessidades das cidades analisadas e a possibilidade de crescimento da rede a ser instalada é justificável, pois caso o empresário não inicie sua rede em uma localização adequada, poderá tornar inviável sua expansão e atendimento a outras cidades da região, mantendo a privação da população ao acesso à internet segura e estável.

A partir destas informações será dado um direcionamento de qual cidade da região seria mais beneficiada ao receber a oferta desta rede.

A revisão da literatura, baseada na metodologia utilizada por Neves et al. (2015) utilizou como fonte de pesquisa o portal de periódicos capes e o Google Scholar, buscando ampla pesquisa sobre o modelo COPPE-COSENZA.

O expressivo trabalho de Barros et al.(2010) objetiva exercitar uma aplicação de Lógica fuzzy suportando o Processo de Seleção de Sítios Nucleares estabelecido pelos conceitos e critérios do Electric Power Research Institute - EPRI Siting Guide, descrevendo os conceitos de um sistema integrado de avaliação representados por fuzzy Maps, buscando a maximização dos resultados para os stakeholders, e a minimização dos impactos adversos para a comunidade hospedeira e a sociedade como um todo. O trabalho de Barros e Cosenza (2006) foi precursor na utilização de fuzzy Maps, tratando de forma inovadora questões sobre a engenharia de entretenimento.

Chamovitz (2010) aborda a utilização de fóruns educacionais na Internet, levando em consideração o Pensamento Complexo apresentado por Edgar Morin (2006), e identifica os diversos aspectos que compõem os fóruns de discussão utilizados em cursos de pós-graduação e

propõe procedimentos para a avaliação dos fóruns por meio do Modelo de Hierarquia fuzzy COPPE-COSENZA, já utilizado com sucesso em outras áreas: Saúde, Engenharia, Arquitetura e Administração.

No trabalho de Cosenza e Toledo (2003) são definidas algumas premissas para operação do Modelo COPPE-COSENZA e descritas algumas características dos sistemas fuzzy, como capazes de tratar informações imprecisas e ambíguas, tornando vasta a possibilidade de utilização destes tipos de modelo.

O estudo realizado por Cosenza et al. (2006) apresenta o estudo de caso de uma empresa de polímeros que adaptou o modelo COPPETEC/COSENZA, de localização industrial para um modelo multicritério de hierarquização de produtos e serviços. Como resultado, obteve-se as hierarquizações, que apontam oportunidades de negócios para cada segmento do mercado estudado. Segundo os mesmos autores o objetivo do trabalho foi o de demonstrar como um modelo de hierarquização, apoiado na lógica fuzzy, pode ser utilizado nas pesquisas de mercado e na criação de estratégias empresariais. Como questão norteadora da pesquisa, sugere-se que, entender as percepções dos indivíduos quanto aos fatores condicionantes de uma dada demanda, são fundamentais para a produção de bens e serviços customizados.

No trabalho de Pereira et al. (2014) que visa identificar as localizações viáveis para instalação de Usinas de pirólise, foi utilizado o modelo COPPE-COSENZA de análise hierárquica. O modelo fuzzy COPPE-COSENZA é descrito como basicamente uma operação com matrizes baseada no confronto da oferta territorial com a demanda industrial, para uma série de fatores de localização estudados.

Estes trabalhos mencionados anteriormente abordam diretamente a descrição e aplicação do Modelo COPPE-COSENZA, outros trabalhos identificados através de revisão da literatura, possuem grande importância para o atual estudo. Os trabalhos de Campos Filho (2011) e Castanho (2005) descrevem detalhadamente a estrutura da lógica fuzzy, diferença entre lógica crisp e lógica fuzzy, formação de espaços e geometrias fuzzy e a importância da lógica fuzzy no auxílio à tomada de decisão.

Outros trabalhos que abordam a lógica fuzzy através de estudo de modelos para decisão multicritério são os trabalhos de Pessoa et al. (2014); Carvalho e Pedroso (2010); Wang e Kwong (2014) e Rezaei (2015). Estes trabalhos apresentam grandes contribuições na descrição da teoria da Lógica fuzzy, MCDM, MDCA e tornam hábil os leitores à identificar quando é mais apropriado o uso de lógica fuzzy para auxílio à tomada de decisão.

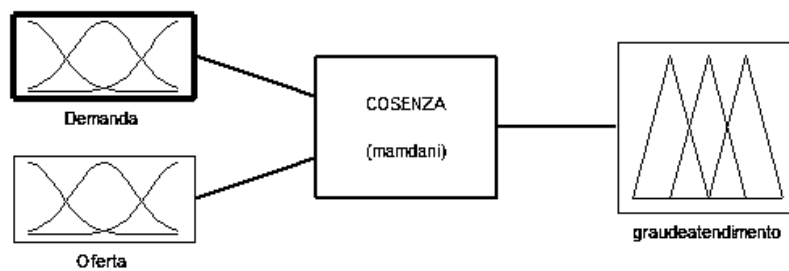
Visto de que na literatura pesquisada não foi encontrada uma referência que tratasse do detalhe os pressupostos e a forma que o modelo funciona, considerando seus espaços fuzzy, relações entre as curvas de criticidade, restrições de utilização e impacto de número de critérios utilizados, este trabalho deverá preencher parte desta lacuna da literatura.

## 2. O modelo Fuzzy Hierárquico COPPE-CONSENZA

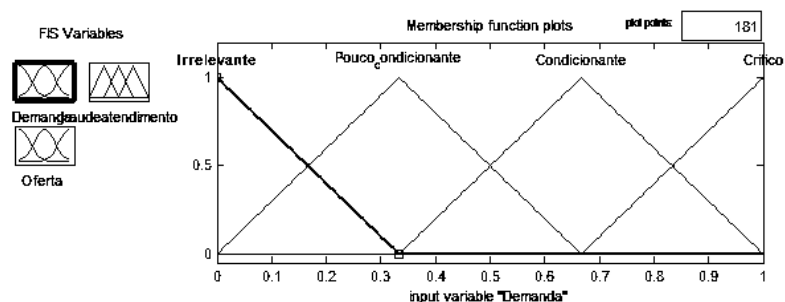
Segundo Cosenza et al. (2015) o modelo COPPE-COSENZA foi elaborado com o objetivo de permitir estudos mais aprofundados na localização de empreendimentos. Este modelo fuzzy apresenta uma relação linear entre seus espaços fuzzy, definidos como oferta e demanda, que traduzem a relação entre o nível desejado de determinados critérios e os níveis apresentados destes critérios por cada alternativa, respectivamente. Seu principal diferencial é possibilitar a análise de fatores não somente econômicos do projeto, reunindo variáveis quantitativas e qualitativas.

As curvas de criticidades para definição do requerimento dos critérios são estabelecidas em quatro níveis, a saber: CRÍTICO, CONDICIONANTE, POUCO CONDICIONANTE e IRRELEVANTE. Para a função de demanda A; e SUPERIOR, BOM, REGULAR e FRACO para a função de oferta B. Foi utilizado o software MatLab 2014a, como mostra a Figura 1, para descrever os espaços fuzzy de demanda e oferta, nas Figuras 2 e 3, respectivamente. As curvas de diferentes graus de criticidade, tanto no espaço de demanda quanto no de oferta, são definidas por funções fuzzy triangulares.

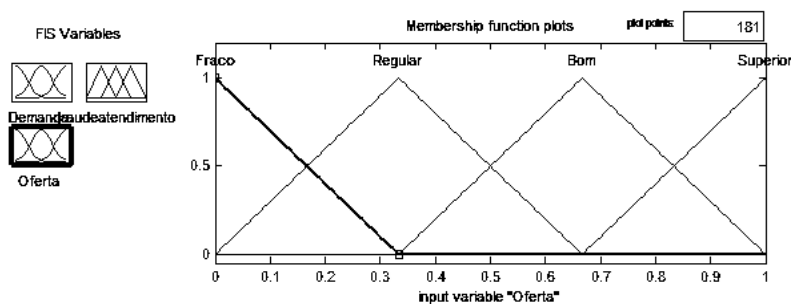
Dentre as configurações estabelecidas para operar o modelo no software MatLab R2014a é importante ressaltar que foi utilizado a como regra de fuzzyficação o algoritmo do tipo Mandani, devido à sua ampla utilização e flexibilidade na interpretação de distintas variáveis e desfuzzyficação por centroide, sendo um método de desfuzzyficação simples e que considera fielmente a relação geométrica formada pelos espaços fuzzy.



**Figura 1:** Modelagem MatLab R2014a – Modelo COPPE-COSENZA.



**Figura 2:** Demanda - Modelo COPPE-COSENZA



**Figura 3:** Oferta – Modelo COPPE-COSENZA

Nas Figuras 2 e 3 é possível observar que tanto para demanda, quanto para oferta, as funções definidas dentro dos espaços são equidistantes, considerando a medida a partir do ponto com maior grau de pertinência de cada curva.

Por mais que os critérios possam apresentar diferentes graus de exigência para determinado projeto, a forma como as alternativas enxergam cada critério é a linear, pois mesmo estando em uma curva crítica, o ponto de maior grau de pertinência desta curva em relação a curva vizinha, condicionante, tem a mesma distância apresentada entre a curva de criticidade condicionante e a curva de criticidade pouco condicionante. Esta relação de equidistância entre as curvas vizinhas é uma característica do modelo. Desta maneira, o impacto de um quase atendimento à um critério de caráter crítico é o mesmo que um quase atendimento de um critério de caráter condicionante. Esta característica revela que para uma boa operacionalização do modelo, os critérios devem ser homogêneos, não havendo nem critérios de tão baixa importância nem critérios vitais para o projeto, caso haja um critério que tenha caráter impeditivo para o projeto, deverá ser tratado na matriz de critérios específicos, que opera da mesma maneira que a relação entre oferta e demanda de critério gerais, mas considera um veto chamado Alpha-Cut, que precisa ser atendido para tornar viável a escolha de tal alternativa.

Devido à possibilidade de interpretação de variáveis não quantitativas, a avaliação da demanda e a oferta (conjuntos fuzzy A e B) comumente apresentam imprecisão, devido a isto as informações devem ser filtradas por experts e inferidas por meio de uma corrente cognitiva metodologicamente guiada. A estrutura matricial dos conjuntos A e B, critérios de demanda e oferta são definidas de forma precisa pelas matrizes de relações de pertinência como se segue:

Todas as tabelas e imagens do artigo devem ser numeradas a partir do número 1, independentemente da numeração do tópico. Exemplo:

$$A = (a_{ij})_{n \times n} \text{ e } B = (b_{jk})_{n \times m} \quad (1)$$

Nesta versão,  $a_{ij}$  é um coeficiente *fuzzy* da demanda do projeto  $i$  pelo fator de demanda  $j$  e  $b_{jk}$  é um coeficiente *fuzzy* produzido por uma por um atributo  $j$  existente na localidade  $k$ .  $A$  é um conjunto abstrato *fuzzy* procurando em  $B$  elementos de pertinência idêntica ou superior à sua própria pertinência. A matriz  $A$ , como sendo um conjunto *fuzzy*, pode ser representada por  $\tilde{A}$  e a

matriz  $B$ , quando representada números *fuzzy* é representada por  $\sim B$ . A oferta de um critério de uma determinada região pode ser superior ou inferior ao nível demandado. Para cada caso há um valor de pertinência entre as variáveis. As dimensões dessas matrizes supracitadas ainda representam respectivamente,  $h$  diferentes tipos de empreendimentos por  $n$  critérios de localização e a oferta de critérios por  $m$  alternativas de localização.

$$F = \{(f_i | i = 1, \dots, n)\} \quad (2)$$

Seja  $F$  um conjunto finito de critérios de localização denominado genericamente de  $f$ . Então, o conjunto *fuzzy*  $\tilde{A}$  em  $F$  é um conjunto de pares ordenado:

$$\tilde{A} = \{(f, \mu_{\tilde{A}}(f) | f \in F)\} \quad (3)$$

onde  $\tilde{A}$  é uma representação *fuzzy* da matriz de demanda  $A$ , onde  $\mu_{\tilde{A}}(f)$  representa o grau de importância dos fatores, definidos entre CRÍTICO; CONDICIONANTE; POUCO CONDICIONANTE; IRRELEVANTE.

**Tabela 1:** Matriz A – Critérios demandados por tipo de empreendimento.

<i>Tipo de empreendimento</i>	<i>Critérios demandados</i>				
	$f_1$	$f_2$	...	$f_{n-1}$	$f_n$
	<b>Grau de demanda dos critérios por cada empreendimento</b>				
$A_1$	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	...	$a_{1,n-1}$	$a_{1,n}$
$A_2$	$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	...	$a_{2,n-1}$	$a_{2,n}$
...	...	...	...	...	...
$A_{h-1}$	$a_{h-1,1}$	$a_{h-1,2}$	...	$a_{h-1,n-1}$	$a_{h-1,n}$
$A_h$	$a_{h,1}$	$a_{h,2}$	...	$a_{h,n-1}$	$a_{h,n}$

Onde  $a_{ij}$  é um coeficiente *fuzzy* do projeto  $h$  com relação ao fator  $n$ .

Similarmente,

$$\sim B = \{(f, \mu_{\sim B}(f) | f \in F)\} \quad (4)$$

onde  $\sim B$  é uma representação *fuzzy* da matriz de oferta  $B$  e  $\mu_{\sim B}(f)$  representa o grau de atendimento dos critérios disponíveis pelas diferentes alternativas de localização definidos em SUPERIOR; BOM; REGULAR; FRACO.

**Tabela 2:** Matriz B – Critérios ofertados por cada localização.

<i>Critérios ofertados</i>	<i>Localizações</i>				
	$B_1$	$B_2$	...	$B_{m-1}$	$B_m$
$F_1$	$b_{1_1}$	$b_{1_2}$	...	$b_{1_{m-1}}$	$b_{1_m}$
$F_2$	$b_{2_1}$	$b_{2_2}$	...	$b_{2_{m-1}}$	$b_{2_m}$
...	...	...	...	...	...
$F_{p-1}$	$b_{p-1_1}$	$b_{p-1_2}$	...	$b_{p-1_{m-1}}$	$b_{p-1_m}$
$F_p$	$b_{p_1}$	$b_{p_2}$	...	$b_{p_{m-1}}$	$b_{p_m}$

Onde  $b_{jk}$  é um coeficiente *fuzzy* da localização  $m$  em relação ao fator  $n$ .

Considerando dois elementos genéricos  $a_{ij}$  e  $b_{jk}$ , o cotejo entre  $a_{ij}$  e  $b_{jk}$  será obtido através do operador  $a_{ij} \otimes b_{jk}$ .

**Tabela 3:** Cotejo entre os critérios gerais de demanda e oferta.

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

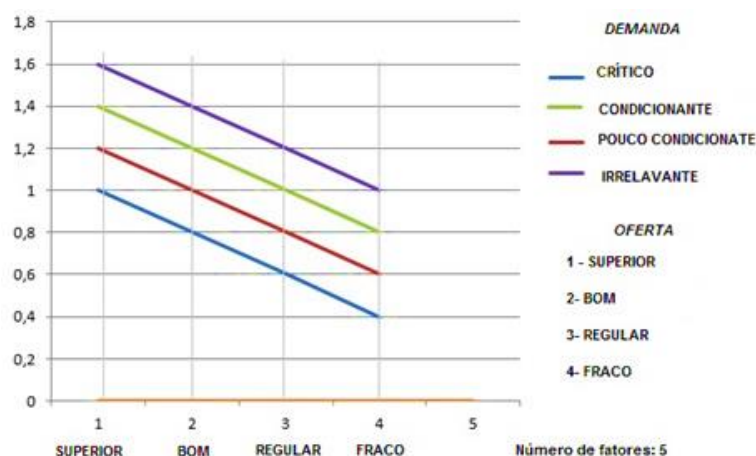
Fonte: Um caso de aplicação da Lógica *Fuzzy*– o Modelo COPPE-COSENZA de Hierarquia *Fuzzy* (2003)

$$C = (C_{ik})_{hxm} = A_{hxn} \otimes B_{nxm} \quad (5)$$

Seja  $C$  a matriz de possibilidades que representa a soma dos índices de localização do projeto  $i$  nas  $k$  zonas selecionadas. Assim, caso a aplicação do modelo contar apenas com critérios gerais e não depender de critérios específicos para sua realização,  $\text{Max}_i\{C_{ik}\}=C_i$ , indica a melhor localização do projeto  $i$ , no conjunto de ofertas territoriais e  $\text{Max}_k\{C_{ik}\}=C_k$ , indica o melhor tipo de projeto para as  $k$  zonas selecionadas.

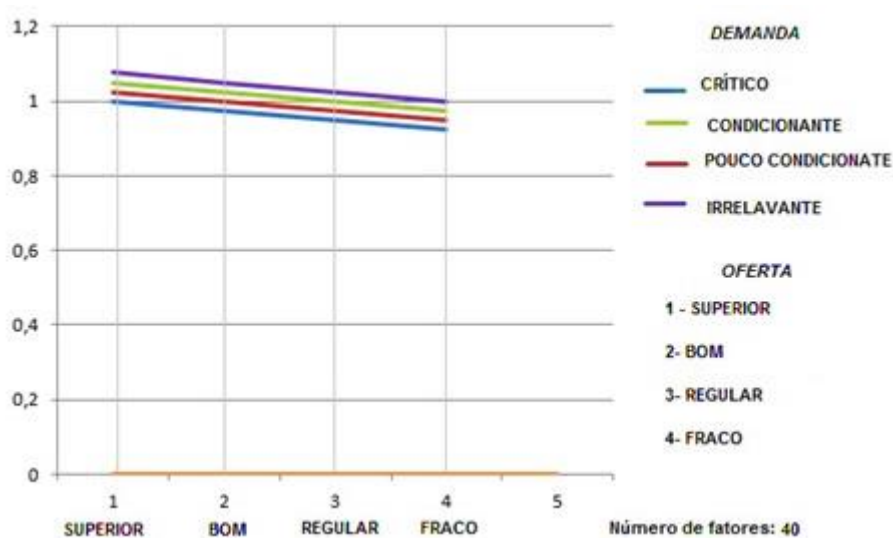
Esta relação entre a oferta e a demanda, orientada pelos diferentes graus de criticidade, pode ser observada na figura 4, onde observa-se as curvas de criticidade para demanda e os níveis de oferta em uma análise com 5 fatores.





**Figura 4:** Relação 1 Oferta X Demanda – Modelo COPPE-COSENZA.

As distâncias entre as curvas de demanda são inversamente proporcionais ao número de critérios avaliados a uma taxa de  $\frac{1}{n}$ . Desta forma, ao definir-se um pequeno número de critérios para análise - 5 critérios, como mostra Figura 4 - o modelo atribui uma grande relevância a cada critério, tornando sua análise mais impactante no resultado final e torna a visão sistêmica do problema limitada aos poucos critérios analisados. Em contrapartida, ao analisar um problema sob a ótica de muitos critérios - 40 critérios, como mostra a Figura 5-, apesar do aumento da abrangência na análise do problema, agora sob distintas óticas, ocorre o achatamento das curvas, diminuindo o impacto da análise de cada critério para o problema, gerando gasto de energia para coleta, análise e tratamento de cada critério, que pode, talvez, estar sendo observado por outro critério.



**Figura 5:** Relação 2 Oferta X Demanda – Modelo COPPE-COSENZA.

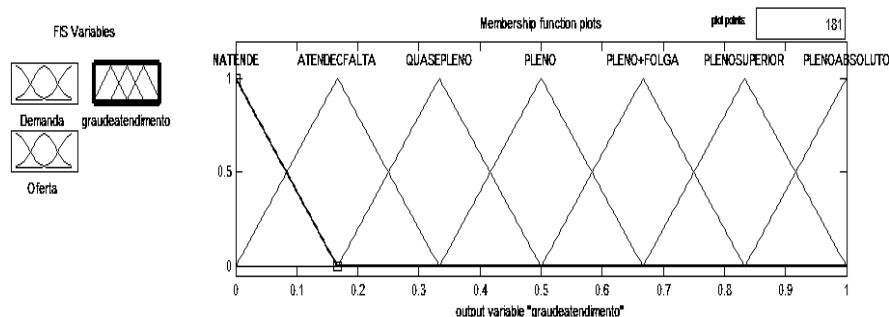
Desta maneira, ao definir-se o conjunto de critérios sob aos quais o modelo analisará o problema, é importante a escolha de critério independentes, para evitar a replicação de informações de um mesmo critério e evitar a perda de significância dos demais critério.

Na análise através dos espaços *fuzzy*, é possível notar que a relação de atendimento entre oferta e demanda é também linear, assim como nas funções de oferta e demanda. Na Figura 6 é possível observar como foram definidas as regras de operacionalização do modelo *fuzzy* e na Figura 7 está descrito como este espaço de soluções é formado.

**Tabela 4:** Regras *fuzzy* – Modelo COPPE-COSENZA.

Demanda	Oferta	Grau de atendimento
Irrelevante	Superior	Pleno absoluto
Irrelevante	Bom	Pleno superior
Irrelevante	Regular	Pleno com folga
Irrelevante	Fraco	Pleno
Pouco condicionante	Superior	Pleno superior
Pouco condicionante	Bom	Pleno com folga
Pouco condicionante	Regular	Pleno
Pouco condicionante	Fraco	Quase pleno
Condicionante	Superior	Pleno com folga
Condicionante	Bom	Pleno
Condicionante	Regular	Quase pleno
Condicionante	Fraco	Atende com falta
Crítica	Superior	Pleno
Crítica	Bom	Quase pleno
Crítica	Regular	Atende com falta
Crítica	Fraco	Não atende

Para definir os espaços de soluções e o nível de atendimento na relação entre oferta e demanda de um critério, 16 regras foram definidas para operacionalizar o modelo no *software Matlab R2014a*. Estas regras foram estabelecidas em concordância com a parametrização discreta do modelo.



**Figura 6:** Espaço de soluções

Nas diferentes aplicações, o modelo pode ser generalizado em vários sentidos sem perder suas características básicas. Em situações onde o empreendimento exija características específicas para sua instalação, deverão ser utilizados fatores de demanda específicos  $A^*$ , que irão compor a matriz  $C^*$ . Os fatores específicos são fatores essenciais para a vitalidade do empreendimento ou projeto, são estritamente restritivos. A matriz de possibilidades segundo critérios específicos  $C^*_{hxm}$  é resultante do confronto entre a matriz de demanda e a matriz de oferta de critérios específicos, onde:

$$C^* = (C_{ik})_{hxm} = A^*_{hxr} \otimes B^*_{rxm}. \quad (6)$$

$$A^* = (a^*_{ij})_{hxr} \quad (7)$$

Seja,  $A^*$  a matriz de fatores específicos, Onde,

$$\tilde{A}^* = \{(f, \mu_{\tilde{A}^*}(f) | f \in F)\} \quad (8)$$

é a representação *fuzzy* da matriz  $A^*$ .

Assumindo  $B^*$  como,

$$B^* = (b^*_{jk})_{rxm}, \quad (9)$$

é a matriz de fatores de oferta territorial de fatores específicos.

Onde,

$$\sim B^* = \{(f, \mu_{\sim B^*}(f) | f \in F)\} \quad (10)$$

é a representação *fuzzy* da matriz  $B^*$ .

O cotejo entre a demanda e oferta de fatores específicos segue a mesma lógica que os fatores gerais.

**Tabela 5:** Cotejo entre os fatores específicos de demanda e oferta.

$a^*_{ij} \otimes b^*_{jk}$	Oferta			
Demanda	A	B	C	D
A	1	1 - 1/n	1 - 2/n	0
B	1 + 1/n	1	1 - 1/n	1 - 2/n
C	1 + 2/n	1 + 1/n	1	1 - 1/n
D	1 + 3/n	1 + 2/n	1 + 1/n	1

Fonte: Um caso de aplicação da Lógica *Fuzzy*– o Modelo COPPE-COSENZA de Hierarquia *Fuzzy* (2003)

É importante ressaltar que a provável não satisfação de algum critério específico impossibilita a seleção da alternativa da categoria demandante. Quando houver a necessidade da utilização de critérios de caráter específicos, seus espaços *fuzzy* deverão ser compostos da mesma

maneira que foram compostos os critérios gerais, e para obter um resultado que integre os critérios gerais e critério específicos, deverá ser utilizado a matriz de agregação de possibilidade, descrita na Tabela 6.

A matriz de agregação de possibilidades  $\Gamma_{hxm}$  reúne as duas matrizes de possibilidades descritas anteriormente,  $C$  e  $C^*$ , apresentando as situações de abundância ou carência em relação à viabilidade das alternativas consideradas. Esta nova matriz,  $\Gamma_{hxm}$ , é resultante da operação:

$$\Gamma = (\gamma_{ik})_{hxm} = C_{hxm} + C^*_{hxm}, \quad (11)$$

onde cada  $\gamma_{ik}$  resulta da operação a descrita na Tabela 6.

**Tabela 6:** Matriz de agregação de possibilidades.

$C_{ik}$	$>0$	$0$
$C^*_{ik}$	$0$	$0$
$0$	$C_{ik} + C^*_{ik}$	$C^*_{ik}$
$>0$		

Fonte: Localização de curtumes no Brasil através do modelo COPPE-COSENZA de localização industrial - Marco Cristellotti – 2011

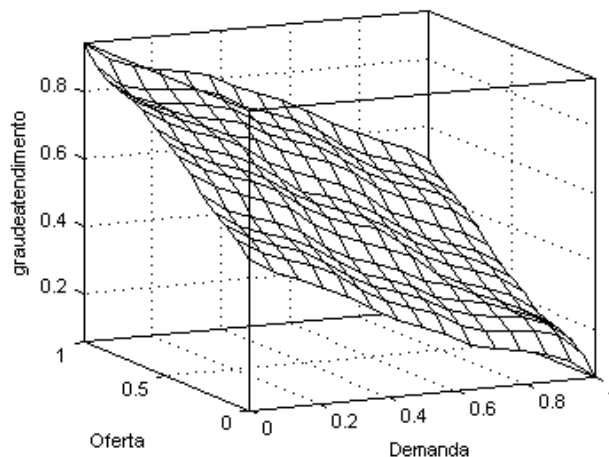
A matriz  $\Gamma_{hxm}$  descrita acima fornece informações a respeito da eficiência das alternativas consideradas, permitindo assim a devida observação das melhores alternativas segundo os valores acumulados por  $C$  e  $C^*$ , de modo que:

$\gamma_i$  : Max {  $\gamma_{ik}$  } indica a melhor alternativa locacional  $k$ , para cada empreendimento  $i$  ;

$\gamma_k$  : Max {  $\gamma_{ik}$  } indica o melhor empreendimento  $i$  para cada alternativa locacional  $k$  .

Assim, é possível indicar o empreendimento que melhor se adequa em cada uma das regiões pré-selecionadas e determinar a região mais adequada para cada tipo de empreendimento.

Na avaliação dos critérios através dos espaços *fuzzy*, é possível observar a relação estabelecida entre as funções dos espaços *fuzzy* de demanda e oferta, que gera uma superfície de possíveis soluções, como mostra a figura 7. Esta superfície de soluções possíveis para o modelo tem caráter linear, com pequenas variações, causadas pelas relações de ambiguidade traduzidas pelo algoritmo *fuzzy*. Este comportamento já era previsto, tendo em vista que a relação entre as curvas na função de demanda é linear, equidistantes entre si, da mesma forma que as curvas na função de oferta também apresentam a mesma distância umas das outras, ambos os casos considerando o ponto de maior grau de pertinência para cada nível de oferta ou demanda analisado.



**Figura 7:** Superfície de soluções – Modelo COPPE-COSENZA.

### 3. Localização de um Provedor de Internet na Região dos Lagos

Todas as tabelas e imagens do artigo devem ser numeradas a partir do número 1, independentemente da numeração do tópico. Exemplo:

Para realizar este estudo, foi utilizado o modelo fuzzy de localização hierárquica COPPE-COSENZA, que pretende analisar os critérios propostos e indicar, dentre a região delimitada pelo estudo, qual seria a cidade mais indicada para instalação de uma rede de internet que torne possível o amplo acesso à internet na região e proporcione boas possibilidades de crescimento para o empreendedor responsável por instalar a rede. Através dessas duas diretrizes o modelo prevê realizar o balanço entre fatores de custo de instalação / manutenção da rede e oferta de pontos de acesso à internet confiável e estável.

As restrições geradas pelas indisponibilidades de meios básicos que permitem o acesso à internet como moradia e renda são de altíssima importância e merecem ser estudados, porém fogem das delimitações deste trabalho, portanto não serão abordados.

A região dos Lagos, alvo deste estudo, é composta pelas cidades de Araruama, Armação dos Búzios, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Casimiro de Abreu, Iguaba Grande, Maricá, Rio das Ostras, São Pedro da Aldeia e Saquarema. A escolha da região para realização deste estudo foi realizada através dos resultados obtidos pela aplicação de um questionário a 200 pessoas residentes na região. O questionário revelou que cerca de 99% da amostra possui acesso à internet, porém 56% afirma que a rede não apresenta estabilidade e 69% revelam que a velocidade é inferior à contratada, refletindo em um percentual geral de 53% de insatisfação.

O projeto a ser implementado na localização indicada, deve ser um projeto para longa duração, com planejamento de expansão de três anos e vida útil da rede com cerca de 20 anos. O

planejamento de expansão reflete o tempo em que a rede estará totalmente estruturada na região, permitindo o avanço positivo em relação ao fluxo de caixa da empresa.

Este problema apresenta diversas variáveis à serem analisadas, com importâncias diferentes e passíveis de análises subjetivas para sua definição, caracterizando assim, um problema fuzzy multicritério. Devido ao objetivo deste artigo em promover um balanço entre as necessidades socioeconômicas das regiões analisadas e a perspectiva de crescimento da rede de internet instalada, foi escolhido o modelo COPPE-COSENZA, por tratar classicamente estas relações de oferta e demanda em suas matrizes de valores fuzzy.

Antes de iniciar-se o trabalho de aplicação do modelo COPPE-COSENZA para localização de um provedor de internet entrante no mercado, foi definido para este estudo que a implementação da rede em questão será uma rede de fibra ótica. Em comparação ao cabo metálico, a fibra ótica, por mais que tenha um custo de aquisição e instalação maior, apresenta cerca de dez vezes menos necessidade de manutenção na rede, mostrando estabilidade e segurança nas conexões, justificando-se em projeto de longo prazo. Quando comparada ao sinal via ondas de rádio, a fibra ótica apresenta estabilidade muito superior, não estando sujeita a interferências por chuvas, ventos ou mudanças climáticas. Em relação aos cabos coaxiais, apesar de oferecerem menor custo e maior facilidade de implementação em comparação a fibra ótica, estes apresentam distâncias limitadas para instalação, baixo nível de segurança e dificuldade em fazer grandes mudanças na topologia da rede. Desta maneira, dado o objetivo do projeto posto em questão neste artigo, a melhor opção é o cabeamento por fibra ótica.

O modelo irá auxiliar na tomada de decisão para localização à luz dos seguintes critérios:

1) Renda per capita do município

A renda per capita do município analisado deverá refletir o nível de acesso à renda da região. Este critério deverá ser tomado para análise ao avaliar o preço cobrado pelo serviço e se haverá formas de o empreendedor manter seu fluxo de caixa como planejado e realizar investimentos para que haja a expansão da rede.

2) Acesso à energia elétrica

O acesso à energia elétrica será utilizado como parâmetro para verificação se há infraestrutura suficiente na região para que a rede possa ser instalada.

3) Carência de acesso à internet

A carência de acesso à internet deverá refletir o nível de mercado disponível a adquirir acesso à internet.

4) Densidade populacional

A concentração de pessoas deve ser analisada pois, como se trata de uma rede entrante no mercado, deverá de início ter uma rede concentrada e com boa penetração, para que possa sustentar seus custos iniciais e tornar viável a expansão da rede.

## 5) População

A população da cidade é um fator importante a longo prazo para o projeto, visto que a penetração da rede deve atingir um número razoável de pessoas para que o fluxo de caixa da empresa permita a execução de expansões da rede e melhorias contínuas nos equipamentos.

## 6) Crescimento populacional

A taxa de crescimento populacional é um fator que irá refletir ao quanto a rede poderá crescer dentro dos limites estabelecidos e previsões para expansões na rede para outras áreas da cidade ou para cidades vizinhas. Caso o efeito de conurbação seja previsível em alguma região, será interessante para o empreendimento.

## 7) Idade média da população

A idade média na população auxiliará na decisão refletindo a ideia que pessoas mais jovens tendem a sentir maior necessidade em acessar a internet.

## 8) Concorrentes

Para as regiões que não apresentarem nenhuma característica impeditiva a instalação e que apresentarem real possibilidade de prosperidade ao projeto, serão analisados os concorrentes existentes na região.

Para realizar a localização para instalação de uma rede de internet confiável e estável, analisando além dos aspectos socioeconômico de necessidade da região, fatores que darão suporte ao empreendedor para que possa estruturar sua rede e permita expandi-la de forma segura sem afetar os usuários e proporcionando um fluxo de caixa sadio para a empresa ofertante, a luz dos oito critério mencionados, utilizando o Modelo COPPE-COSENZA, deve-se definir, além dos critérios de análise o Nível de criticidade de cada um dos fatores. Assim, será estruturada a matriz de demanda A.

**Tabela 7:** Nível de demanda dos Fatores.

<b>Fatores</b>	<b>Nível de demanda</b>
<b>Renda Per capita</b>	Pouco condicionante
<b>Acesso à energia elétrica</b>	Crítico
<b>Carência de acesso à internet</b>	Crítico
<b>Densidade populacional</b>	Condicionante
<b>População</b>	Pouco condicionante
<b>Crescimento populacional</b>	Crítico
<b>Idade média da população</b>	Irrelevante
<b>Concorrentes</b>	Condicionante

Para avançar com a aplicação do modelo, após definir o nível de demanda para cada fator, objetivando o foco desta análise de localização, é necessário traduzir para cada alternativa o nível

de oferta relacionada a cada um dos fatores. Esta etapa é crucial a presença de especialistas e a tomada e análise de dados sobre a pertinência do nível de oferta dos fatores listados para cada alternativa.

Realizado o trabalho de análise das alternativas através de análise sistêmica, levantamento de dados históricos, inferências estatísticas, percepção de especialistas e outros meios que forem pertinentes, deve-se desenvolver a matriz de oferta B.

**Tabela 8:** Matriz B – Nível de Oferta dos Fatores.

	Renda Per capita	Acesso à anergia elétrica	Carência de acesso à internet	Densidade populacional	População	Crescimento populacional	Idade média da população	Concorrentes
<b>Araruama</b>	Regular	Bom	Superior	Regular	Bom	Fraco	Regular	Superior
<b>Armação dos Búzios</b>	Bom	Superior	Regular	Superior	Fraco	Regular	Superior	Regular
<b>Arraial do cabo</b>	Bom	Superior	Fraco	Regular	Fraco	Fraco	Regular	Bom
<b>Cabo frio</b>	Regular	Bom	Regular	Superior	Superior	Regular	Superior	Fraco
<b>Casimiro de Abreu</b>	Bom	Superior	Superior	Fraco	Fraco	Fraco	Superior	Superior
<b>Iguaba Grande</b>	Regular	Superior	Bom	Superior	Fraco	Regular	Fraco	Superior
<b>Maricá</b>	Fraco	Fraco	Bom	Bom	Bom	Fraco	Regular	Bom
<b>Rio das Ostras</b>	Superior	Superior	Fraco	Superior	Bom	Superior	Superior	Fraco
<b>São Pedro da Aldeia</b>	Regular	Bom	Bom	Regular	Regular	Fraco	Superior	Superior
<b>Saquarema</b>	Regular	Bom	Superior	Regular	Regular	Fraco	Regular	Superior

Após ser determinado os níveis de oferta, a luz dos critérios definidos, para cada alternativa, será realizada o Cotejo entre as matrizes A e B segundo as diretrizes do modelo COPPE-COSENZA. É importante ressaltar que tanto a avaliação do nível de demanda dos fatores, quanto do nível de oferta dos fatores para cada alternativa, deve ser realizada através de uma ampla interpretação do cenário que envolve as variáveis pertinentes aos fatores levantados.

Assim, seguindo o cotejo descrito na Tabela 10 será obtida a Matriz C, expondo os coeficientes fuzzy de cada alternativa.



**Tabela 9:** Cotejo entra A e B.

<b>Alternativa</b>	<b>Cotejo entre Matrizes A e B</b>							
<b>Araruama</b>	1	0,875	1	0,875	1,125	0,625	1,125	1,125
<b>Armação dos Búzios</b>	1,125	1	0,75	1,125	0,875	0,75	1,375	0,875
<b>Arraial do cabo</b>	1,125	1	0,625	0,875	0,875	0,625	1,125	1
<b>Cabo frio</b>	1	0,875	0,75	1,125	1,25	0,75	1,375	0,75
<b>Casimiro de Abreu</b>	1,125	1	1	0,75	0,875	0,625	1,375	1,125
<b>Iguaba Grande</b>	1	1	0,875	1,125	0,875	0,75	1	1,125
<b>Maricá</b>	0,875	0,625	0,875	1	1,125	0,625	1,125	1
<b>Rio das Ostras</b>	1,25	1	0,625	1,125	1,125	1	1,375	0,75
<b>São Pedro da Aldeia</b>	1	0,875	0,875	0,875	1	0,625	1,375	1,125
<b>Saquarema</b>	1	0,875	1	0,875	1	0,625	1,125	1,125

**Tabela 10:** Matriz C – Coeficiente Fuzzy

<b>Alternativa</b>	<b>Coeficiente Fuzzy</b>
Araruama	7,75
Armação dos Búzios	7,875
Arraial do cabo	7,25
Cabo frio	7,875
Casimiro de Abreu	7,875
Iguaba Grande	7,75
Maricá	7,25
Rio das Ostras	8,25
São Pedro da Aldeia	7,75
Saquarema	7,625

Para esta aplicação não foi necessário definir critérios específicos, portanto a Matriz de agregação de possibilidades será igual a Matriz C.

Nesta aplicação, está sendo considerado o estudo de apenas um tipo de empreendimento, desta maneira, a Matriz Gama irá indicar qual a localidade mais indicada para que haja a instalação deste empreendimento, sem ordenar os empreendimentos avaliados.

A Matriz Gama segue hierarquizando as alternativas avaliadas e indicando qual a localidade mais apropriada para a instalação do empreendimento avaliado.

**Tabela 11:** Matriz Gama – hierarquização das alternativas.

<b>Alternativa</b>	<b>Coefficiente <i>Fuzzy</i></b>	<b>Ranking</b>
<b>Rio das Ostras</b>	<b>8,25</b>	<b>1°</b>
Armação dos Búzios	7,875	2°
Cabo frio	7,875	2°
Casimiro de Abreu	7,875	2°
Araruama	7,75	2°
Iguaba Grande	7,75	3°
São Pedro da Aldeia	7,75	3°
Squarema	7,625	4°
Arraial do cabo	7,25	5°
Maricá	7,25	5°

#### 4. Conclusões

É possível concluir que as contribuições a respeito do modelo COPPE-COSENZA realizadas neste trabalho, atingiram seu objetivo, que é complementar as lacunas observadas na literatura sobre do modelo COPPE-COSENZA.

As análises sobre as geometrias dos espaços fuzzy, sensibilidade do modelo quanto ao número de variáveis, distância e formato das curvas de criticidade foram pontos importante descritos neste trabalho.

A aplicação do Modelo para auxílio à decisão de localização de um provedor de internet entrante no mercado é também uma abordagem inovadora, considerando os textos identificados na literatura. Este trabalho de escolha da cidade mais indicada para instalação de uma rede de internet que torne possível o amplo acesso à internet na região e proporcione boas possibilidades de crescimento para o empreendedor responsável por instalar a rede é um exemplo de como o modelo pode se comportar em cenários de decisão com múltiplas variáveis, definidas dentro da Lógica e considerando uma avaliação sistêmica sobre o cenário estudado.

O Modelo COPPE-COSENZA, apresenta aspectos interessantes para avaliação de cenários com variáveis homogêneas e apresenta grau de compensação linear entre as ditas matrizes de Oferta e Demanda. Contudo, existem problemas onde as variáveis não definidas não apresentam homogeneidade, apresentam alternativas viáveis e querem graus de avaliação distintos entre os níveis de critérios definidos entre os fatores. Para tais problemas, seria necessário um Modelo de avaliação fuzzy hierárquica com distâncias variáveis entre as curvas de criticidade do modelo.

## 5. Referências

BARROS C. F. O., COSENZA C. A. N. Usando Lógica Fuzzy em Mega-eventos de Esportes: Um Sistema de Avaliação de Impactos. Registro de literalidade no Escritório de Direitos Autorais-EDA-BN Biblioteca Nacional-Rio de Janeiro. 2010.

BARROS, C. F. O., ATALLA, D. L., COSENZA, C. A. N. Um Sistema de Seleção de Sítios Nucleares baseado no Modelo EPRI Siting Guide usando Lógica Fuzzy: Um Exercício Exploratório. Artifo COPPE-UFRJ, Rio de janeiro, 2009.

BOENTE A. N. P., MORÉ J. D., COSENZA H. J. S. R. Avaliação Fuzzy da Qualidade de Produtos de Software numa Fundação Pública Estadual. 2009.

CAMPOS FILHO E. A. Uma contribuição ao estudo do problema da escolha entre manutenção própria ou contratada numa empresa de transporte aéreo, tomando-se por base o método fuzzy multicriteria decision-making (mcdm). Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE – UFRJ, Rio de janeiro, 2010.

CARVALHO D. M., PEDROZO E. A. Caos, Complexidade e Tomada de Decisão: como conciliar? Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional • G&DR • v. 7, n. 1, p. 203-230, jan-abr/2011, Taubaté, SP, Brasil.

CASTANHO M. J. P. Construção e avaliação de um modelo matemático para predizer a evolução do câncer de próstata e descrever seu crescimento utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. Tese de doutorado apresentado à UNICAMP para obtenção do título de doutora em Eng. Elétrica, UNICAMP, Campinas, 2005.

CHAMOVITZ, I. Aplicação do modelo de hierarquia fuzzy coppe-cosenza para a avaliação de grupos operativos em fóruns educacionais na internet. Tese, Doutorado em Engenharia de produção COPPE – UFRJ, Rio de janeiro, 2010.

COSENZA C. A. N. Notas de aula – Introdução à lógica fuzzy. COPPE-UFRJ, LABFUZZY, Rio de janeiro, 2013.

COSENZA H. J. S. R., VILLELA L. E., MORÉ J. D., CARVALHO J. B. B. Aplicação da Lógica Fuzzy em um Modelo para Hierarquização de Produtos e Serviços – Caso da Polibrasil S.A. 30º Encontro ENANPAD, Salvador , 2006.

LEMONS L. COSENZA H. J. R. Estudo de localização de centros de distribuição: Uma aplicação fuzzy na hierarquização de atributos. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

LIMA F. R., COSENZA C. A. N., NEVES C. Modelos de localização em engenharia urbana. SIMPGEU – Simpósio de Pós-graduação em engenharia Urbana. Maringá, 2009.

MORIM A., FORTES E. S., REIS P., COSENZA C. A. N., DORIA F., GONÇALVES A. Think Fuzzy System: Developing new pricing strategy methods for consumer goods using fuzzy logic. ICIEOM 2012 - Guimarães, Portugal. 2012.

NEVES R. B., PEREIRA V., COSTA H. G. Auxílio multicritério à decisão aplicado ao planejamento e gestão na indústria de petróleo e gás. Prod. vol.25 no.1 São Paulo Jan./Mar. 2015 Epub Sep 03, 2013.

PEREIRA R. C. A., BARROS C. F. O., IGNÁCIO A. A.V. modelo de localização hierárquica de usinas de pirólise. XVII – SPOLM – Simpósio de pesquisa operacional e Logística da Marinha, Rio de janeiro, 2014.

PESSÔA L. A. M., LINS M. P. E., COSNEZA C. A. N., COSTA H. G. Comparação entre métodos fuzzy na localização de uma base naval hipotética. XVII – SPOLM – Simpósio de pesquisa operacional e Logística da Marinha, Rio de janeiro, 2014.

REZAEIN J. Best-worst multi-criteria decision-making method. Omega. 2014

SOUZA L. L. Posicionamento logístico para redes de franquias do segmento alimentício no brasil. Dissertação apresentada à Universidade Estácio de Sá como requisito parcial para Obtenção do título de Mestre em Administração e Desenvolvimento Empresarial. Rio de janeiro, 2008.

TOLEDO O. M., COSENZA. C. A. N. Metodologia de avaliação de desempenho baseada em lógica fuzzy. COBENGE – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Brasília, 2004.

TOLEDO, O. M., COSENZA, C. A. N. Um caso de aplicação da Lógica Fuzzy – o Modelo Coppe-Cosenza de Hierarquia Fuzzy. XXIII ENEGEP Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, 2003.

WANGA R., KWONGA S. Active learning with multi-criteria decision making systems. Pattern Recognition. Contents lists available at ScienceDirect. 2014.