



APLICAÇÃO DE LÓGICA *FUZZY* À LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Camila Rodrigues Affonso

Rafael Augusto Duque Estrada Santos

Projeto de Graduação apresentado ao
Curso de Engenharia de Produção da
Escola Politécnica, Universidade Federal
do Rio de Janeiro, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título
de Engenheiro.

Orientador: Armando Celestino Gonçalves Neto

Rio de Janeiro

Setembro de 2012

APLICAÇÃO DE LÓGICA *FUZZY* À LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Camila Rodrigues Affonso

Rafael Augusto Duque Estrada Santos

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO.

EXAMINADA POR:

Armando Celestino Gonçalves Neto

Harvey José Santos Ribeiro Cosenza

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Setembro de 2012

Affonso, Camila Rodrigues

Santos, Rafael Augusto Duque Estrada

Aplicação de Lógica *Fuzzy* à Localização de Instalações /

Camila Rodrigues Affonso e Rafael Augusto Duque

Estrada Santos – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola

Politécnica, 2012.

79 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Armando Celestino Gonçalves Neto

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/

Curso de Engenharia de Produção, 2012.

Referencias Bibliográficas: p. 60-63.

1. Localização de Instalações 2.Lógica *Fuzzy*. 3. Modelo
COPPE-Cosenza.

I. Affonso, Camila Rodrigues. II. Santos, Rafael Augusto
Duque Estrada. III. Universidade Federal do

Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia

de Produção. IV. APLICAÇÃO DE LÓGICA *FUZZY* À

LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES.

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu avó, Celso da Silva Rodrigues, o homem mais inteligente
que conheço.

Camila Rodrigues Affonso

Dedico esse trabalho a minha querida família e aos amigos, em especial minha
parceira nos estudos e na vida: Camila.

Rafael Augusto Duque Estrada Santos

Agradecimentos

Agradeço à minha família, por todo o direcionamento que sempre me foi dado. À minha mãe, que sempre exigiu o melhor de mim, e me trouxe até aqui. Meu pai, trazendo palavras de conforto e calma para o meu coração. Meu irmão Matheus, meu melhor amigo e minha alegria de viver. Meu avô Celso, uma inspiração, que me ensinou que a riqueza do espírito é maior do que a material, e a olhar para o meu próximo como um irmão. Minha avó Aydis, por toda a influência que teve na minha personalidade – infelizmente, não suficiente para que eu me tornasse uma mulher tão elegante quanto ela. Meus avós Marli e Jurandir, por nunca se esquecerem de mim.

Ao meu noivo Jordan Piva, por ser minha fortaleza e meu amor.

Agradeço a minha amiga Ingrid, por ter falado comigo na terceira série, e nunca mais ter parado. Meu amigo Rafael, por ser um companheiro como nenhum outro, e sempre me lembrar de que a vida não é assim tão séria. Obrigada por ser meu porto seguro.

A tantos outros amigos, a quem dedico meu amor.

Agradeço aos amigos Sonia, Geraldo, Rose, Matheus, Leandro e Alice. Se alguém no mundo tem duas famílias, esse alguém sou eu.

Aos professores que tive até aqui. Cada palavra deste trabalho reflete os seus trabalhos.

Ao professor Carlos Cosenza, por acreditar em mim, e por ser um genuíno educador.

Obrigada, sem o senhor esse trabalho não teria acontecido.

Camila Rodrigues Affonso

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Deus por me proporcionar tanto nesse curto espaço de vida.

Agradeço a meus pais, Thereza Cristina Duque Estrada dos Santos e João Roberto

Faria dos Santos, pelo amor, paciência e incentivo que sempre me deram e pelo incansável apoio na vida emocional, familiar e acadêmica. A minha irmã, Ana Carolina

Duque Estrada Santos, pela cumplicidade durante toda minha vida e a toda minha família que sempre apostou em mim. Ao meu amor, agradeço a paciência em me ouvir

e as palavras de incentivo, mesmo que às vezes ríspidas, que me ajudaram a

acreditar em mim. Aos Professores da Banca Examinadora, Harvey José Santos

Ribeiro Cosenza, Francisco Antonio Doria e, em especial, nosso orientador Carlos

Alberto Nunes Cosenza pela significativa contribuição a esse trabalho. Aos amigos,

poucos e bons, agradeço a preocupação e a torcida por essa realização. A melhor

parceira que alguém poderia desejar, Camila Rodrigues Affonso, agradeço a amizade,

o companheirismo e confiança. Chegou nossa vez.

Rafael Augusto Duque Estrada Santos

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Produção.

APLICAÇÃO DE LÓGICA *FUZZY* À LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES

Camila Rodrigues Affonso

Rafael Augusto Duque Estrada Santos

Setembro/2012

Orientador: Armando Celestino Gonçalves Neto

Curso: Engenharia de Produção

Nas últimas décadas tornou-se evidente a importância de uma empresa possuir uma rede logística eficiente, com instalações localizadas em lugares estratégicos para atender o nível de serviço exigido por seus clientes. Entretanto, os modelos de localização clássicos são baseados em métodos matemáticos que, por suas naturezas, apenas consideram variáveis objetivas ao compararem as opções existentes. Esse trabalho tem o objetivo de agregar a capacidade que a Lógica *Fuzzy* apresenta no tratamento de variáveis subjetivas, incertas, imprecisas e até mesmo intangíveis a essa importante tomada de decisão. Foi construído um modelo de localização baseado numa aplicação do Modelo COPPE-Cosenza no Microsoft Excel e em variáveis levantadas e hierarquizadas por um estudo anterior.

Palavras-Chave: Localização de Instalações, Lógica *Fuzzy*, Modelo COPPE-Cosenza.

Abstract of the Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

FUZZY LOGIC APPLICATION TO SITE LOCALIZATION

Camila Rodrigues Affonso

Rafael Augusto Duque Estrada Santos

September, 2012

Advisor: Armando Celestino Gonçalves Neto

Course: Production Engineering

In recent decades it became evident the importance of an efficient logistics network, with facilities located in strategic locations to meet the service level demanded by customers. However, the classical location models are based on mathematical methods which, by their nature, only consider objective variables when comparing the different options. This work aims to add the ability that Fuzzy Logic presents of treating subjective, uncertain, imprecise and even intangibles variables to this important decision making process. A location model was built based on an application of the COPPE-Cosenza Model in Microsoft Excel and variables raised and prioritized by a previous study.

Keywords: Site Localization, *Fuzzy* Logic, COPPE-Cosenza Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Uma rede genérica de fluxo de produtos -----	6
Figura 2: Função de Pertinência Triangular -----	18
Figura 3: Função de Pertinência Trapezoidal -----	19
Figura 4: Função de Pertinência Gaussiana-----	19
Figura 5: Sistema fuzzy-----	21
Figura 6: Exemplo de modelo de otimização desenvolvido pelo software AIMMS®. --	34
Figura 7: Imagem do aplicativo Supply Chain Guru.-----	35
Figura 8: Percepção dos especialistas CEL/Coppead e Profissionais de Mercado. ---	39
Figura 9: Fluxo de funcionamento do modelo COPPE-Cosenza adaptado em MS Excel®. -----	43
Figura 10: Matriz Perfil de Demanda e classificações possíveis.-----	44
Figura 11: Matriz Perfil de Oferta e classificações possíveis. -----	45
Figura 12: Algoritmo COPPE-Cosenza. -----	45
Figura 13: Matriz de possíveis índices de Oportunidade. -----	46
Figura 14: Matriz Diagonal. -----	46
Figura 15: Matriz de Índices de Oportunidade. -----	46
Figura 16: Aba “Questionário” da ferramenta.-----	50
Figura 17: Destaque para os locais de preenchimento das informações que caracterizam os perfis demandantes e os locais potenciais, na aba “Questionario” da ferramenta.-----	51
Figura 18: Destaque para a lista de validação das classificações das exigências dos segmentos demandantes, na aba “Questionario” da ferramenta. -----	52
Figura 19: Destaque para a lista de validação das classificações dos locais potenciais, na aba “Questionario” da ferramenta. -----	53
Figura 20: Aba “MatrizDemanda” da ferramenta.-----	54
Figura 21: Aba “MatrizOferta” da ferramenta. -----	55

Figura 22: Aba “COPPECosenza” da ferramenta. -----	56
Figura 23: Aba “Resultados” da ferramenta.-----	57
Figura 24: Detalhe para o cálculo do índice geral de oportunidade de negócio para a combinação local/segmento, na aba “MatrizOportunidade” da ferramenta. -----	58
Figura 25: Aba “Resultados” da ferramenta.-----	59
Figura 26: Gráficos apresentados na aba “Resultados” da ferramenta. -----	60
Figura 27: Aba “Dados_Segmento” da ferramenta.-----	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Operação Produto -----	25
Tabela 2: Operação Produto -----	27
Tabela 3: Matriz \tilde{A} - Fatores demandados pelos projetos -----	28
Tabela 4: Matriz \tilde{B} - Oferta de fatores pelas alternativas de localização -----	29
Tabela 5: Produto $A \otimes B$ -----	30
Tabela 6: Variáveis linguísticas para b_{jk} e a_{lj} -----	30
Tabela 7: Matriz diagonal inferior c_{ik} -----	31
Tabela 8: Matriz de diferença de pertinências c_{ik} -----	32
Tabela 9: Matriz de relacionamento de pertinências c_{ik} -----	32
Tabela 10: Hierarquização das variáveis preliminares de localização de acordo com as opiniões dos especialistas do Cel/Coppead e de Profissionais de Mercado dentro da realidade brasileira. -----	37
Tabela 11: Critério para Fuzzyficação da hierarquização de fatores. -----	39
Tabela 12: Classificação dos Fatores apresentados por Cosenza e Lemos (2008). --	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Abordagem <i>Crisp</i> para a Localização de Instalações	3
2.1.1. Logística	3
2.1.1.1. Redes Logísticas	5
2.1.2. Modelos <i>Crisp</i> para Localização de Instalações	7
2.1.2.1. Classificação dos Modelos de Localização	7
2.1.2.1.1. Problema P-Mediana	8
2.1.2.1.2. Problema de Cobertura	9
2.1.2.1.3. Problema P-Centro	10
2.1.2.1.4. Problemas de Localização com Despesa Fixa	11
2.1.2.2. Aplicação da Pesquisa Operacional	12
2.1.2.2.1. Programação Linear	13
2.1.2.2.2. Programação Não-Linear	13
2.1.2.2.3. Programação Linear Inteira Mista	14
2.2. Abordagem <i>Fuzzy</i> para a Localização de Instalações	14
2.2.1. Lógica <i>Fuzzy</i>	14
2.2.1.1. Conjuntos <i>Fuzzy</i>	15
2.2.1.2. Funções de Pertinência <i>Fuzzy</i>	17
2.2.1.3. Sistemas <i>Fuzzy</i>	20
2.2.2. Modelos <i>Fuzzy</i> para Localização de Instalações	22
2.2.2.1. Projeto Masterli	22
2.2.2.2. Modelo COPPE-Cosenza	23
3. PRÁTICAS DE MERCADO PARA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES	33

4. FERRAMENTA BASEADA EM LÓGICA <i>FUZZY</i> PARA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES	35
4.1. Motivação para Aplicação de Lógica <i>Fuzzy</i>	35
4.2. Construção da Ferramenta de Apoio a Tomada de Decisão de Localização	36
4.2.1. Fatores Determinantes para o Problema de Localização de Instalações	36
4.2.2. Adaptação do Modelo COPPE-Cosenza para MS Excel®	42
4.2.3. Ferramenta de Apoio a Tomada de Decisão	47
4.2.3.1. Estrutura da Ferramenta e Modo de Utilização	47
5. CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1. Introdução

A tomada de decisão sobre a localização de instalações, em todos os setores de atividades industriais no Brasil, é crucial para otimização da produtividade e aumento da competitividade em um mercado mundial globalizado, uma vez que permite que uma empresa ofereça um nível de serviço que satisfaça seus clientes ao menor custo logístico total possível. Embora aqueles responsáveis pela tomada de decisão possam encarar como uma simples escolha de lugar, essas decisões envolvem um escopo bem maior do que apenas essa variável.

A escolha da localização de instalações logísticas (um centro de distribuição, por exemplo) é mais do que simplesmente uma localização. Geralmente é uma tarefa que se atribui aos gerentes de logística e apresentam como principal objetivo a obtenção de ganhos econômicos de escala na distribuição e reduções de custos de transporte. Além disso, recentemente os estudos de localização vêm abrangendo projetos de canal logístico, resultado da globalização da cadeia de suprimento e de considerações de marketing.

Dentre os atributos que devem ser considerados nesse processo decisório, são encontradas variáveis objetivas, que podem ser medidas quantitativamente, como fatores econômicos, e parâmetros qualitativos, de difícil comparação entre alternativas diferentes, como fatores políticos e socioculturais dos locais em questão. Contudo, em modelos determinísticos, a valoração dessas variáveis qualitativas é prejudicada pela ambivalência da lógica booleana, dificultando uma hierarquização dessas variáveis fidedigna à realidade do processo decisório.

O trabalho apresentado possui o objetivo central de propor um modelo para localização de instalações logísticas de uma empresa no Brasil utilizando a lógica *fuzzy* e variáveis determinantes já hierarquizadas por COSENZA e LEMOS (2008). Com isso, procura-se guiar o tomador de decisão na escolha de um local, com base

em informações quantitativas e também em avaliações qualitativas, para que ele possa avaliar o impacto real de cada variável em cada opção apresentada.

Busca-se com esse trabalho fornecer um direcionamento ao tomador de decisão de forma que ele possa analisar o impacto de todos os fatores relacionados em cada alternativa de localização, obedecendo a uma ordem lógica através da atribuição de graus de importância a cada variável do modelo estabelecidos na hierarquização supracitada. Desta maneira, podem-se analisar diferentes opções de localização à luz da opinião tanto de especialistas do mercado logístico quanto a de acadêmicos especializados nesse assunto.

2. Revisão de Literatura

2.1. Abordagem *Crisp* para a Localização de Instalações

2.1.1. Logística

Para que se tenha ideia da dimensão e magnitude que a logística assumiu atualmente é necessário primeiramente que se apresente o conceito desse termo que, pela abrangência e complexidade de seu escopo, carrega grandes lacunas que podem ser aproveitadas para redução dos custos e melhorias em toda a cadeia de suprimento.

De acordo com o NOVAES (2001), a logística é parte da gestão da cadeia de suprimento responsável pelos processos de planejamento, implementação e controle de um fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e informações a eles relacionadas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências do cliente. Já segundo BOWERSOX e CLOSS (2001), o objetivo da logística é disponibilizar produtos e serviços no local onde são necessários, no momento em que são desejados. Dessa forma, torna-se evidente que a realização de qualquer atividade de produção está intrinsecamente ligada ao conceito de logística, não existindo se não houvesse seu apoio.

BALLOU (1993) declara que a logística empresarial estuda a maneira como a Administração pode oferecer o melhor nível de rentabilidade possível nos serviços de distribuição física aos consumidores, através de planejamento, organização e controle efetivos nas atividades de movimentação e armazenagem que procuram facilitar o fluxo de produtos. KOBAYASHI (2000) afirma que o objetivo de um bom sistema logístico é movimentar e distribuir produtos de modo que cheguem aos clientes, satisfazendo-os plenamente, de modo econômico e rápido.

Dessa maneira, conclui-se que a logística assume uma importância vital, uma vez que ambos, recursos e consumidores, estão pulverizados por uma área geográfica abrangente, ainda mais se tratando de um país com dimensões continentais como o

Brasil. Isso coloca a logística empresarial como uma área de crescente interesse, concentrando o foco dos estudos especialmente nos fluxos da cadeia produtiva direta, pois, devido ao fato da distância entre o consumidor e o local onde estão os bens e serviços ser significativa, ela enfrenta o desafio de diminuir a lacuna entre a produção e a demanda para que o acesso seja garantido quando, onde e na condição física que é requerida.

AMBROSIO (2003) especifica ainda mais o conceito de logística afirmando que uma vez que seu escopo é adquirir, manusear, transportar, distribuir e controlar de maneira eficaz os bens disponíveis, é factível concluir que seus principais objetivos são: redução de custos globais, altos giros de estoques, uniformidade do fornecimento, obtenção do nível de qualidade desejado, rapidez nas entregas e registros, controles e transmissão de dados instantâneos e confiáveis. Esses conceitos nos ajudarão a estabelecer as variáveis que teremos que considerar no nosso modelo mais a frente.

Quando o foco se concentra na logística de distribuição física, a parte à jusante da cadeia de suprimentos tem que se atentar a um bom desempenho de todas as funções necessárias para se conectar os produtores a seus clientes finais. Quatro participantes são identificados no canal de distribuição, segundo BOWERSOX, CLOSS e COOPER (2006). São eles: fabricantes, atacadistas, varejistas e consumidores. E, de acordo com a presença de cada um deles, classifica-se a estrutura da distribuição física como direta ou indireta.

Na distribuição direta, a rede de transporte será estruturada de maneira que todas as entregas do fabricante chegarão diretamente ao seu cliente (consumidores), não havendo nenhum tipo de envolvimento com intermediários. Enquanto isso, na distribuição indireta, o produto irá passar por algum tipo de intermediário (atacadistas e/ou varejistas) para que chegue até o consumidor final.

Segundo BALLOU (2006), as atividades-chave que compõem a logística de distribuição de uma empresa são: serviços ao cliente padronizados, transporte,

gerência de estoque e fluxos de informação e processamentos de pedidos. Os padrões dos serviços prestados aos clientes definirão a qualidade desses serviços e afetarão diretamente os custos logísticos da empresa.

O transporte consiste na movimentação do produto entre a expedição na unidade produtiva e o recebimento no cliente e, segundo BALLOU (2006), pode ser realizado com a utilização de pelo menos um dos cinco modais básicos: ferroviário, rodoviário, aéreo, aquaviário e dutoviário. Pode-se obter redução de custo ao utilizar-se um modal ou uma combinação de diferentes modais que mais se adequem ao perfil da distribuição da empresa, aproveitando-se do benefício que cada um deles pode trazer à sua operação.

Ainda de acordo com BALLOU (2006), a gerência de estoques é tão importante dentre as atividades logísticas, que se estima que sejam responsáveis por até 20% dos custos de distribuição física de uma empresa.

A última atividade-chave identificada por BALLOU (2006) é o processamento de pedidos, que pode ser identificado com um conjunto de atividades que permitem o controle do produto a ser transportado, como a preparação, o envio, o recebimento e a expedição tanto do produto como do relatório da situação do pedido. Apesar dos custos dessa atividade não serem tão expressivos, ela consiste num elemento essencial no acompanhamento de índices de desempenho para assegurar o nível de serviço desejado.

2.1.1.1. Redes Logísticas

A localização de instalações na rede logística é uma das principais questões estratégicas para as empresas, pois qualquer decisão tomada nesse sentido afeta diretamente os custos de suas operações logísticas.

Uma rede logística pode ser definida como a representação físico-espacial dos pontos de origem e destino de mercadorias, assim como seus fluxos e outras

possíveis características relevantes, a fim de que se possibilite uma visualização completa do sistema logístico de uma empresa.

Conforme descrito por BALLOU (2006), os nós de uma rede representam as instalações fixas, como fábricas, fornecedores, portos, armazéns e centros de varejo e de serviço, isto é, são aqueles pontos na rede onde as mercadorias sofrem uma parada temporária para então continuar até o seu destino final (consumo). As ligações, ou links, da rede assumem a conotação de movimentação de mercadorias entre os nós, movimentação essa que é realizada pelo transporte. Além disso, há também o fluxo de informações na rede como um todo. Neste caso específico, os links geralmente são os métodos eletrônicos para transmissão de informações de um ponto geográfico a outro; e os nós são os pontos de coleta e processamento de dados.

A Figura 1 apresenta graficamente o conceito apresentado no parágrafo anterior.

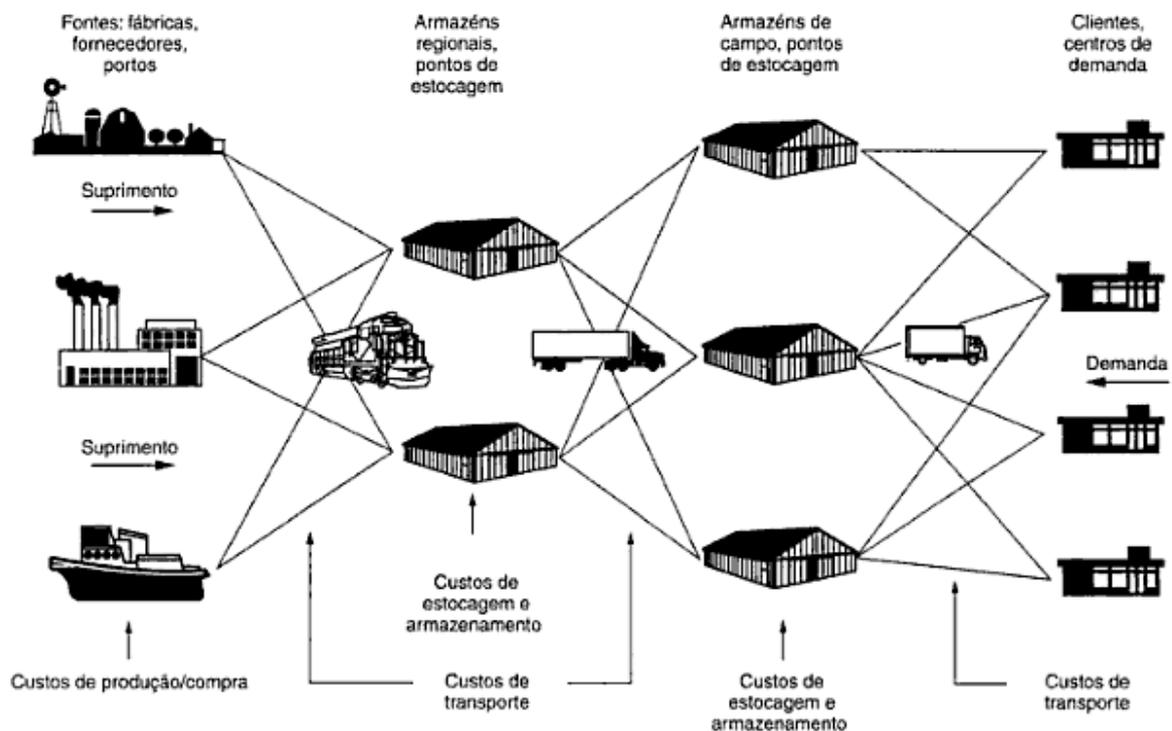


Figura 1: Uma rede genérica de fluxo de produtos

Fonte: Ballou (2006)

Já de acordo com MARTOS (2000), uma rede logística é composta de diversas organizações que se inter-relacionam. Os elementos que podem estar presentes e

integrados nessa rede são: pontos de fornecimento de matéria-prima, fábricas, armazéns, centros de distribuição, portos, terminais intermodais e outros tipos de instalações físicas. Para que alcancem seu destino final, os produtos percorrem uma trajetória através destas instalações. Esta interconexão entre os nós da rede gera um fluxo tanto de mercadorias como de informações de uma instalação à outra dentro dessa rede.

Muito se tem discutido sobre modelos de localização e modelagem de redes de distribuição. Segundo BALLOU (2006), o problema da configuração da rede trata da especificação da estrutura ao longo da qual os produtos fluem desde os pontos de origem até os centros de demanda. Muitas decisões estratégicas permeiam esse problema como: quais as instalações que serão utilizadas, onde serão localizadas, com quais produtos irão lidar e quais clientes irão atender, os níveis de estoque mantidos em cada uma, dentre outras.

Pode-se definir a modelagem de redes de distribuição como uma ferramenta para otimização do objetivo central da empresa, seja ele minimização de custos, oferecer melhores níveis de serviço a seus clientes ou aumentar a eficácia e eficiência de sua operação, de maneira que se facilite tanto o planejamento como a gerência de sua rede de instalações e seus fluxos de materiais e informações.

De acordo com WANKE (2001), a localização de instalações ao longo de uma cadeia de suprimentos é uma decisão importante que irá atribuir forma, estrutura e conformidade ao sistema logístico de uma empresa. Apesar de geralmente os problemas de localização se confrontarem com variáveis diferentes como a natureza dos fatores preponderantes, o número de instalações, o nível de agregação dos dados e o horizonte do tempo, normalmente um fator mais crítico que os demais sempre terá mais influência na tomada de decisão.

2.1.2. Modelos *Crisp* para Localização de Instalações

2.1.2.1. Classificação dos Modelos de Localização

BRANDEAU e CHIU (1989) definiram típicos exemplos de problemas de localização:

- Desenho de rede (network design);
- Localização de armazéns;
- Problemas de cobertura;
- Localização competitiva de instalações (decisão sobre instalações de estabelecimentos comerciais com objetivo de aumentar a participação de mercado).

Ao realizarem uma revisão dos modelos existentes, OWEN e DASKIN (1998) classificam os problemas em determinísticos, estocásticos e dinâmicos. Entretanto, devido à complexidade computacional de alguns problemas de localização limitam as formulações a apenas problemas estáticos e determinísticos. Ainda segundos autores, a abordagem estática de problemas de localização apresenta como principais formulações os problemas das medianas, problemas de cobertura, problemas dos centros e problemas de localização com despesas fixas.

2.1.2.1.1. Problema P-Mediana

Baseia-se na localização de P instalações em uma rede de maneira que a distância entre as instalações e os pontos de demanda, ponderados pela demanda (assumindo que a demanda não é sensível ao nível de serviço), seja minimizada. A formulação do problema pode ser acompanhada a seguir:

$$\begin{aligned} & \text{minimizar} \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \\ \text{sujeito a} \quad & \sum_j X_j = P, \\ & \sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i, \\ & Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j, \\ & Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, \\ & X_j \in \{0,1\} \quad \forall j. \end{aligned}$$

Onde:

h_i representa a demanda no ponto de demanda i ;

d_{ij} retrata a distância entre o ponto de demanda i e a instalação j ;

P denota o número de instalações a serem localizadas;

X_j é uma variável de decisão e assume os valores: 1, se a instalação for localizada em j , e 0 caso contrário;

Y_{ij} é uma variável de decisão e assume os valores: 1, se a demanda no ponto de demanda i for atendida pela instalação j , e 0 caso contrário.

As restrições desse problema asseguram respectivamente: a localização de exatamente P instalações, o atendimento de cada ponto de demanda por uma instalação e que associações entre instalações e pontos de demanda somente são possíveis quando a instalação é localizada. As duas últimas restrições representam o domínio das variáveis.

2.1.2.1.2. Problema de Cobertura

Quando se trata de problemas dessa natureza, em função da criticidade dos serviços envolvidos (hospitais, corpo de bombeiros, entre outros), é necessário se considerar a cobertura geográfica como ponto chave de avaliação da eficiência de localização. Existem dois tipos principais de problemas de cobertura: o problema de cobertura de um conjunto de locais e o problema da máxima cobertura. Em um problema de cobertura de um conjunto de locais, o objetivo é minimizar o custo de localização de instalações de maneira que se atenda um nível de cobertura especificado. Já no problema da máxima cobertura, procura-se, dentro de uma distância especificada S entre as instalações e os pontos de demanda, a maximização da porção de demanda coberta. Esta formulação é apresentada a seguir:

$$\begin{aligned} & \text{maximizar } \sum_i h_i Z_i \\ \text{sujeito a } & Z_i \leq \sum_{j \in N_i} X_j, \quad \forall i, \\ & \sum_j X_j = P, \end{aligned}$$

$$Z_i \in \{0,1\} \quad \forall i,$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j.$$

Onde:

h_i representa a demanda no cliente i ;

N_i retrata o conjunto de instalações j situadas a uma distância menor ou igual a S do ponto de demanda i ;

P denota o número de instalações a serem localizadas;

Z_i é uma variável de decisão e assume os valores: 1, se o ponto de demanda i é coberto, e 0 caso contrário;

X_j é uma variável de decisão e assume os valores: 1, se a instalação for localizada em j , e 0 caso contrário.

A primeira restrição tem a função de determinar quais pontos de demanda estão dentro do raio de cobertura especificado, enquanto a segunda assegura que não serão localizadas mais que P instalações. As duas últimas restrições representam o domínio das variáveis.

2.1.2.1.3. Problema P-Centro

Também conhecido como problemas *minimax* (pois se procura minimizar a máxima distância entre um ponto de demanda qualquer e a instalação correspondente mais próxima), esse problema apresenta a premissa de cobrir toda a demanda através da localização de um determinado número de instalações a fim de minimizar a distância de cobertura. Caso as instalações estejam restritas aos nós da rede, o problema passa a ser conhecido como *vertex center problem*. A formulação desse problema é ilustrada a seguir:

$$\begin{array}{ll} \text{minimizar} & D \\ \text{sujeito a} & \sum_j X_j = P, \\ & \sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i, \\ & Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j, \end{array}$$

$$\begin{aligned}
D &\geq \sum_j d_{ij} Y_{ij} && \forall i, \\
Y_{ij} &\in \{0,1\} && \forall i,j, \\
X_j &\in \{0,1\} && \forall j.
\end{aligned}$$

Onde:

D representa a distância máxima entre um ponto de demanda e a instalação correspondente mais próxima;

d_{ij} retrata a distância entre o ponto de demanda i e a instalação j ;

P denota o número de instalações a serem localizadas;

X_j é uma variável de decisão e assume os valores: 1, se a instalação for localizada em j , e 0 caso contrário;

Y_{ij} é uma variável de decisão e assume os valores: 1, se a demanda no ponto de demanda i for atendida pela instalação j , e 0 caso contrário.

As restrições desse problema asseguram respectivamente: a localização de exatamente P instalações, o atendimento de cada ponto de demanda por uma instalação, que associações entre instalações e pontos de demanda somente são possíveis quando a instalação é localizada e a definição da máxima distância entre um ponto de demanda e a instalação correspondente j mais próxima. As duas últimas restrições representam o domínio das variáveis.

2.1.2.1.4. Problemas de Localização com Despesa Fixa

Também denominados na literatura especializada de *Fixed Charge Facility Location Problems*, são problemas nos quais existe um custo fixo associado à localização de potenciais instalações em uma rede. Um exemplo comum desse tipo de problemas é um modelo considerado uma variação do problema P -mediana e conhecido como problema não capacitado de localização com despesa fixa. Neste modelo, uma parcela de custo fixo é adicionada à função objetivo, ao mesmo tempo em que se remove a restrição que determina o número de instalações a serem localizadas. Dessa forma, resulta-se numa formulação que tem por objetivo a

determinação do número e do local das instalações que minimize o custo total de abertura e deslocamento entre os pontos da rede. Conforme formulado por NOZICK e TURNQUIST (2001), esse problema pode ser acompanhado a seguir:

$$\begin{aligned} & \text{minimizar} \quad \sum_j f_j X_j + \alpha \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \\ \text{sujeito a} \quad & \sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i, \\ & Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j, \\ & Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, \\ & X_j \in \{0,1\} \quad \forall j. \end{aligned}$$

Com exceção da inclusão dos parâmetros α e f_j , os parâmetros e variáveis desse problema são os mesmos da formulação do problema P -mediana. O parâmetro α representa o custo por unidade de distância e por unidade de demanda, enquanto o parâmetro f_j denota os custos fixos de criação de uma instalação em j . Cabe ainda ressaltar a ausência da imposição do número de instalações P a serem localizadas.

2.1.2.2. Aplicação da Pesquisa Operacional

A abordagem clássica para problemas relacionados a modelos de localização é baseada na pesquisa operacional e é considerada mais sistemática, quantitativa e normativa. De acordo com LUNA (1995), a pesquisa operacional aparece com a mais tradicional das ferramentas de apoio à tomada de decisão, sendo uma metodologia científica caracterizada pela abordagem da solução de problemas através de modelagem matemática (norteadas por um objetivo de otimização de tarefas ou rotinas de um sistema).

Um modelo de programação matemática desenvolvido pela pesquisa operacional é definido por aspectos importantes e envolvem: as variáveis de decisão do problema, as restrições associadas a essas variáveis e o objetivo que será utilizado para definir uma solução ótima ou próxima da ótima. Essas soluções ótimas garantem a não existência de outra solução que melhor satisfaça o problema proposto. Normalmente

tais soluções são geradas por métodos exatos em modelos de otimização, enquanto os métodos heurísticos geram soluções aproximadas, que podem eventualmente indicar soluções próximas da ótima.

Ainda segundo LUNA (1995), os modelos de programação matemática variam conforme o tipo de funções e o caráter discreto ou contínuo das variáveis de decisão e podem ser classificados em Programação Linear, Não-Linear e Mista.

2.1.2.2.1. Programação Linear

Para WAGNER (1986), modelos de programação linear configuram entre as abordagens de pesquisa operacional que mais obtiveram sucesso, devido a um maior impacto econômico de suas aplicações. Sua relativa facilidade de compreensão e interessantes propriedades da técnica empregada na resolução dos problemas contribuíram para que seja uma das técnicas mais utilizadas no contexto das empresas, pois garante a otimalidade da solução.

Para solução de problemas de programação linear, o método mais utilizado é o *Simplex*.

MINOUX (1986) propõe a formalização de um modelo de programação da seguinte forma:

$$\begin{array}{ll}
 & \text{minimizar } f(x) \\
 \text{sujeito a} & g_i(x) = 0 \quad \forall i \in I^0 \\
 & g_i(x) \leq 0 \quad \forall i \in I^- \\
 & g_i(x) \geq 0 \quad \forall i \in I^+ \\
 & x = (x_1, \dots, x_n)^T \geq 0
 \end{array}$$

Onde:

As funções f e g_i ($i \in I = I^0 \cup I^- \cup I^+$) são funções lineares das variáveis x_1, \dots, x_n .

2.1.2.2.2. Programação Não-Linear

Devido à existência de uma quantidade considerável de problemas reais que não podem ser representados por modelos lineares de forma adequada, em função da não-linearidade da função objetivo e/ou das restrições envolvidas, BAZARRA (1979) define matematicamente um problema de programação não-linear da seguinte forma:

$$\begin{aligned} & \text{minimizar } f(x) \\ \text{sujeito a: } & g_i(x) \leq 0 \quad i = 1 \dots m \\ & h_i(x) = 0 \quad i = 1 \dots l \\ & x \in X \end{aligned}$$

Onde:

Funções $f, g_1, \dots, g_m, h_1, \dots, h_l$ são funções não-lineares, definidas em E_n , X é um subconjunto de E_n e x é o vetor de n componentes x_1, \dots, x_n .

2.1.2.2.3. Programação Linear Inteira Mista

Este tipo de problema pode ser identificado por possuir variáveis que estão restritas a assumirem valores discretos.

MINOUX (1986) também definiu um problema de programação inteira através da seguinte proposição:

$$\begin{aligned} & \text{minimizar } z = c \cdot (x) \\ \text{sujeito a: } & A \cdot x = b \\ & x \geq 0 \\ & x_j \text{ inteiro } (\forall j = 1, \dots, n) \end{aligned}$$

2.2. Abordagem *Fuzzy* para a Localização de Instalações

2.2.1. Lógica *Fuzzy*

De acordo com WEBER e KLEIN (2003), o conceito *fuzzy* foi introduzido em 1965 com os trabalhos do professor Lotfi A. Zadeh, da Universidade de Berkeley na Califórnia, EUA, com o objetivo de propiciar um tratamento matemático adequado a certos termos linguísticos subjetivos, como "aproximadamente", "em torno de", dentre

outros. Zadeh observou que mesmos os recursos tecnológicos mais modernos disponíveis ainda eram incapazes de automatizar atividades humanas relacionadas a problemas de natureza industrial, biológica ou química, nos quais situações ambíguas estivessem envolvidas.

Segundo BARROS, SOUZA e AMENDOLA (2005), toda versatilidade propiciada pela utilização da teoria *fuzzy* vem da possibilidade de modelar e manipular matematicamente informações vagas e imprecisas, naturais da linguagem humana como aquelas fornecidas pelos especialistas (não matemáticos) quando caracterizam processos estudados. Esta manipulação é realizada a partir da composição de variáveis escolhidas para construir o modelo matemático do processo em questão, quando a implicação das variáveis independentes nas dependentes é estabelecida por um conjunto de regras linguísticas.

Neste sentido, nota-se que a lógica *fuzzy* é um instrumento que surgiu para atender uma demanda que outros métodos baseados na lógica clássica não podiam atender, o que é comprovado na afirmação do próprio ZADEH (1988) de que a característica mais importante sobre a lógica *fuzzy* é que, diferentemente dos sistemas lógicos clássicos, ela procura modelar a imprecisão do raciocínio humano a fim de deduzir uma resposta aproximada a uma questão baseada num conhecimento incompleto ou impreciso.

Ainda sobre essa capacidade da lógica *fuzzy*, KANDEL (1986) declara que um dos objetivos da teoria dos conjuntos *fuzzy* é desenvolver uma metodologia que permita a formulação e solução de problemas que se apresentem como complexos e indefinidos para que possam ser solucionados por técnicas convencionais.

2.2.1.1. Conjuntos *Fuzzy*

Segundo SHAW e SIMÕES (2007), a lógica clássica aristotélica é bivalente, reconhecendo somente um dos dois valores: o verdadeiro ou o falso. Já a lógica *fuzzy*

é multivalorada, isto é, reconhece diversos valores suscetíveis a um ponto de vista ou uma graduação.

A pertinência de um elemento a um conjunto clássico é indicada pelo valor 1, enquanto aos não pertencentes é atribuído o valor 0. Já nos conjuntos *fuzzy* o grau de pertinência é um valor definido no intervalo entre 0 e 1, sendo possível notar uma transição gradual entre os elementos não pertencentes e aqueles que pertencem ao conjunto.

Formalmente, um conjunto *fuzzy* A pode ser expresso por (TSOUKALAS; UHRIG, 1997 apud FUJIMOTO, 2005):

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

Onde:

X representa o universo de discurso ao qual o conjunto pertence, x um componente do conjunto *fuzzy* em questão e μ_A a função de pertinência. O universo de discurso equivale ao domínio no qual o modelamento do sistema *fuzzy* é válido.

A função de pertinência μ_A indica o grau de pertinência (ou compatibilidade) entre x e o conceito expresso por A:

- $\mu_A(x) = 1$ indica que x é completamente compatível com A;
- $\mu_A(x) = 0$ indica que x é completamente incompatível com A; e
- $0 < \mu_A(x) < 1$ indica que (x) é parcialmente compatível com A, com grau $\mu_A(x)$.

Da mesma forma que se realizam operações de união, interseção e complemento na lógica clássica (ou E, OU e NEGAÇÃO na lógica booleana), pode-se realizar essas operações na lógica *fuzzy*, mas elas assumem uma nova nomenclatura (CHEN et al., 1996 apud FUJIMOTO, 2005).

O operador análogo ao E na lógica *fuzzy* recebe o nome de Norma-T e determina a interseção entre dois conjuntos *fuzzy* através da seguinte equação:

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A, \mu_B)$$

Já o análogo ao operador OU na lógica *fuzzy* é conhecido como Conorma-T e estabelece a união entre dois conjuntos *fuzzy*, como pode-se perceber pela equação a seguir:

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A, \mu_B)$$

Em ambas as equações, μ_A e μ_B são respectivamente funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* A e B.

Por último, o operador análogo à NEGAÇÃO define o complemento de um conjunto *fuzzy* e é representado pela seguinte equação:

$$\mu = 1 - \mu_A,$$

onde μ_A é a função de pertinência do conjunto *fuzzy* A.

2.2.1.2. Funções de Pertinência *Fuzzy*

Conforme elucidado por SHAW e SIMÕES (2007), as funções de pertinência *fuzzy* tem como objetivo representar os aspectos fundamentais tanto de ações teóricas como de ações práticas de sistemas *fuzzy* e são funções numéricas gráficas ou tabuladas responsáveis pela atribuição de valores de pertinência *fuzzy* para os valores discretos de uma variável, em seu universo de discurso.

Já OLIVEIRA JUNIOR (1999) afirma que as funções de pertinência assumem o papel das curvas de probabilidade da teoria clássica na lógica *fuzzy* e também que, considerando que os conjuntos *fuzzy* são aptos a representar noções vagas típicas do mundo real, essas funções de pertinência são responsáveis pela definição da fronteira desses conjuntos.

Ainda segundo o autor, a princípio, qualquer função que tenha domínio U e imagem [0,1] está apta a ser utilizada como função de pertinência. Além disso, o gráfico gerado a partir dessa função apresenta, como eixo das abscissas, as grandezas que se encontram sob avaliação e, como eixo das ordenadas, o grau de compatibilidade entre um valor específico e o conceito tratado na modelagem.

As principais funções de pertinência *fuzzy* são:

a) Triangular – considerando os parâmetros a, b e c.

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 0 & , \text{ se } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & , \text{ se } x \in [a,b) \\ \frac{c-x}{c-b} & , \text{ se } x \in [b,c] \\ 0 & , \text{ se } x > c \end{cases}$$

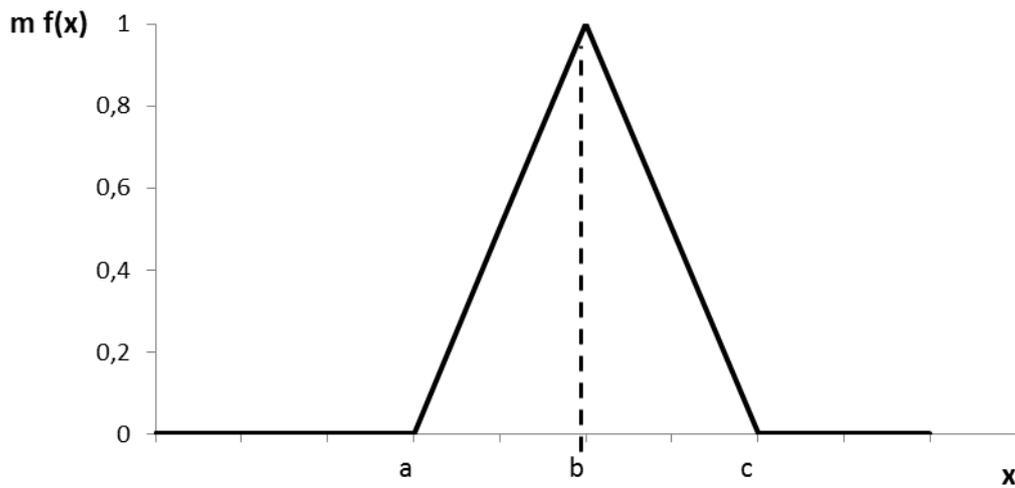


Figura 2: Função de Pertinência Triangular

Fonte: Os autores

b) Trapezoidal – considerando os parâmetros a, b, c e d.

$$\mu_F(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & , \text{ se } x \in [a,b) \\ 1 & , \text{ se } x \in [b,c) \\ \frac{d-x}{d-c} & , \text{ se } x \in [c,d] \\ 0 & , \text{ caso contrário} \end{cases}$$

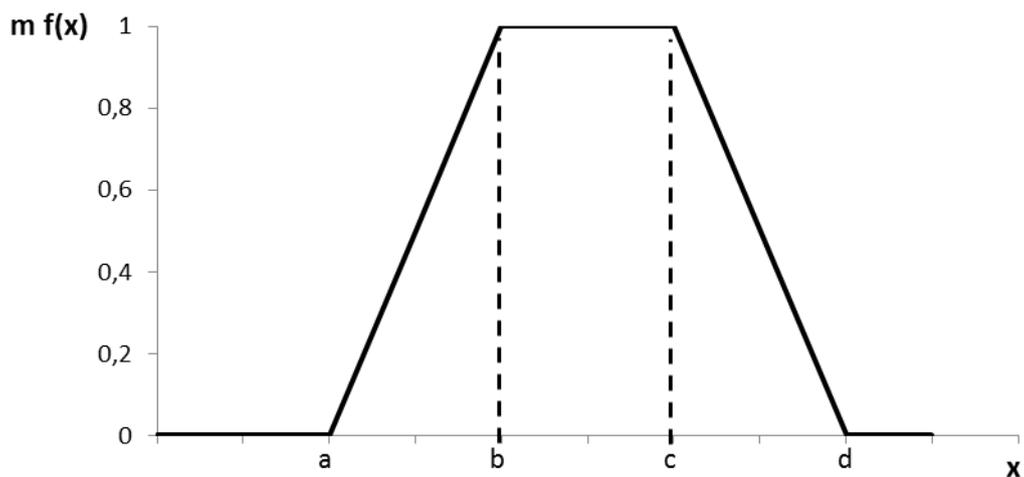


Figura 3: Função de Pertinência Trapezoidal

Fonte: Os autores

c) Gaussiana – considerando os parâmetros a e c.

$$\mu_F(x) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{a}\right)^2}$$

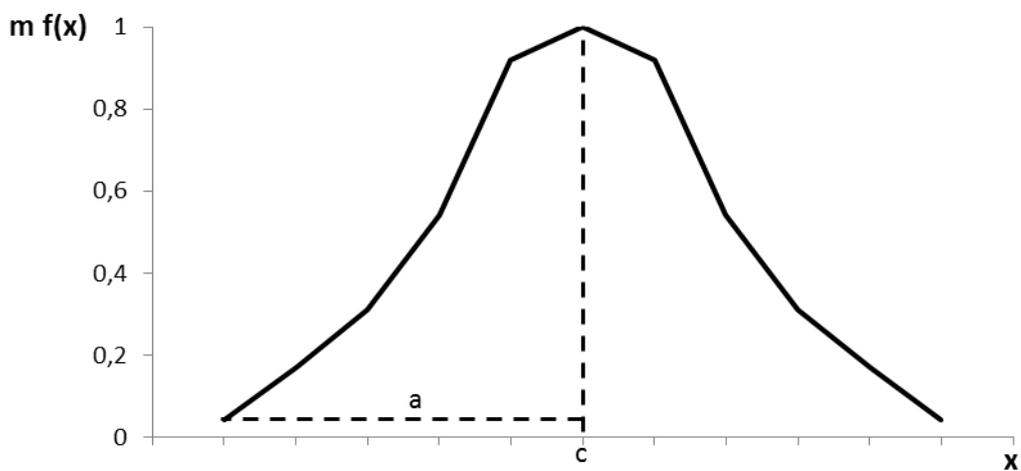


Figura 4: Função de Pertinência Gaussiana

Fonte: Os autores

O princípio de extensão proposto por ZADEH (1965) estabelece operações algébricas com as notações da função de pertinência de números *fuzzy*, tanto triangulares quanto trapezoidais. Considerando os números *fuzzy* triangulares denotados por (a,b,c), essas operações são:

- Simetria

$$-(a, b, c) = (-c, -b, -a)$$

- Adição (\oplus)

$$(a_1, b_1, c_1) \oplus (a_2, b_2, c_2) = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2)$$

Subtração (= Adição do simétrico)

$$(a_1, b_1, c_1) \oplus -(a_2, b_2, c_2) = (a_1 - c_2, b_1 - b_2, c_1 - a_2)$$

- Multiplicação (\otimes)

$$k \otimes (a, b, c) = (ka, kb, kc)$$

$$(a_1, b_1, c_1) \otimes (a_2, b_2, c_2) \cong (a_1 a_2, b_1 b_2, c_1 c_2)$$

com $a_1 \geq 0, a_2 \geq 0$

- Divisão (\emptyset)

$$(a_1, b_1, c_1) \emptyset (a_2, b_2, c_2) \cong (a_1/c_2, b_1/b_2, c_1/a_2)$$

com $a_1 \geq 0, a_2 \geq 0$

2.2.1.3. Sistemas *Fuzzy*

Os sistemas *Fuzzy* têm sido comumente utilizados, nos últimos anos, para resolver problemas em que há imprecisão. Entretanto, é esperado que os especialistas encontrem dificuldade em representar seu conhecimento através de número reais. Para aumentar ainda mais a complexidade, é comum que aquisição de conhecimento seja realizada entre vários especialistas, dentre os quais há diversos julgamentos quanto aos valores de pertinência de diferentes elementos. Portanto, é imprescindível que se ache uma alternativa para que o melhor valor que represente cada situação seja determinado.

De acordo com WANG (1997), um sistema *fuzzy* genérico é composto por quatro componentes principais conforme demonstrado na Figura 5.

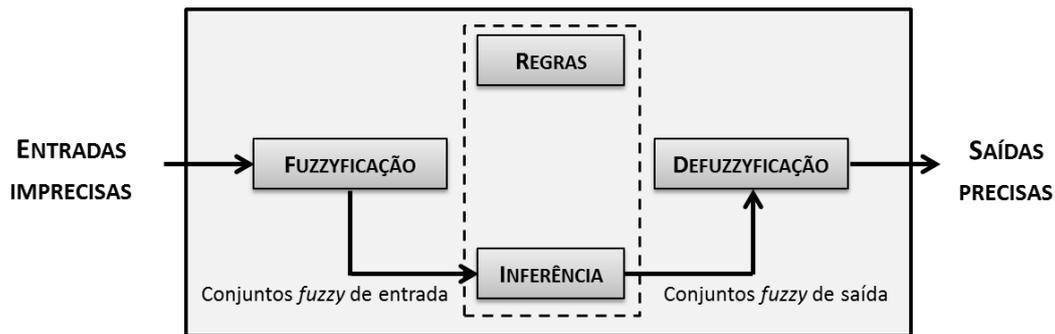


Figura 5: Sistema fuzzy

Fonte: Wang (1997).

Na fase de fuzzificação, convertem-se os valores reais de entrada em um grau de pertinência a conjuntos *fuzzy*, a fim de que seja possível realizar um tratamento de inferência.

De acordo com SHAW e SIMÕES (2007), a fuzzificação corresponde a um mapeamento do domínio de números reais (geralmente discretos) para o domínio *fuzzy*. Também representa que ocorre a atribuição de valores linguísticos, descrições vagas ou qualitativas, que são definidas por funções de pertinência às variáveis de entrada.

Já as regras são elementos da base de conhecimentos dos especialistas a respeito do processo modelado e definem a estratégia de controle do sistema. Essas regras podem ser em forma de sentenças linguísticas e constituem um aspecto fundamental para o correto desempenho do sistema *fuzzy*, pois esse desempenho só será confiável e satisfatório se as regras representarem o comportamento do sistema de maneira fiel e consistente.

As operações com os conjuntos *fuzzy* obtidos ocorrem no processo de inferência. Para que essas operações sejam bem sucedidas, a definição do conjunto *fuzzy* correspondente às variáveis de entrada e às de saída tem que ser bem estruturada, uma vez que o desempenho dessas operações de inferência dependerá do número de conjuntos e de sua forma adotada.

Na defuzzificação, de acordo com SHAW e SIMÕES (2007), o valor da variável linguística de saída inferida pelas regras *fuzzy* adotadas será traduzido num valor discreto, procurando-se a obtenção de um único valor numérico discreto que puder representar, da melhor maneira possível, os valores *fuzzy* inferidos da variável linguística de saída. Essa interpretação do conjunto *fuzzy* de saída se faz necessária, pois geralmente os valores requeridos na saída são não *fuzzy*.

2.2.2. Modelos *Fuzzy* para Localização de Instalações

2.2.2.1. Projeto Masterli

O Modelo COPPE/Cosenza encontrou inspiração nos pressupostos estabelecidos pelo projeto MASTERLI (*Modello di Assetto Territoriale e di Localizzazione Industriale*) (1971 – 1974), desenvolvido por um grupo interdisciplinar composto por especialistas das instituições SOMEA (Itália) e SEMA (França) no Centro di Studi della Confederazione dell'Industria Italiana. Posteriormente, com participações da COPPE-UFRJ, foram criadas outras duas versões, que vieram a ser validadas por uma aplicação denominada PLINCO.

Segundo COSENZA (2009), os principais objetivos a serem alcançados com esses modelos eram:

- Elaborar uma metodologia que auxiliasse o desenvolvimento de políticas industriais e regionais;
- Elaborar uma metodologia que ajudasse o investidor privado a escolher a melhor localização para seu projeto.

De acordo com SPHAIER (2009), no projeto “Alternativas de Localização Industrial para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro”, desenvolvido em 1974 pela COPPE/UFRJ a pedido da FUNDREM (Fundação para o Desenvolvimento das Regiões Metropolitanas do RJ), Carlos Alberto COSENZA veio a introduzir algumas modificações substanciais na estrutura e na operação do Modelo MASTERLI como:

- Possibilidade de operar com micro-regiões para localização industrial;
- Detalhamento dos perfis de oferta e demanda que, em sua operação matricial, possam considerar situações intermediárias que anteriormente eram agrupadas em apenas dois níveis;
- Possibilidade de ponderação de um eventual excesso de fatores locacionais;
- Possibilidade de penalização de uma eventual escassez de oferta de fatores locacionais.

2.2.2.2. Modelo COPPE-Cosenza

Ainda segundo SPHAIER (2009), a versão A do Modelo COPPE-Cosenza de análise hierárquica foi formulada em 1981, originalmente com o intuito de realizar estudos de localização industrial. Esse modelo é constituído simplesmente de uma operação com matrizes, fundamentando-se no confronto entre o nível de demanda e oferta de fatores de localização e, é justamente na formulação matemática mais rigorosa para tratar desse nível de oferta e demanda, que esse Modelo se diferencia do Modelo de MASTERLI.

Segundo o capítulo 8 do livro *Projetos Empresariais e Públicos* de CLEMENTE (2002), o Modelo COPPE-Cosenza de Análise Hierárquica realiza uma operação de duas matrizes: a primeira representa a demanda por fatores de localização de acordo com (h) tipos de indústrias por meio de (n) atributos de desempenho, enquanto a segunda apresenta a oferta desses (n) atributos de desempenho por (m) zonas elementares da planificação ou sítios locacionais.

Em um primeiro momento, classificam-se os fatores estratégicos para cada tipo de indústria em Cruciais (A), Condicionantes (B), Pouco Condicionantes (C) e Irrelevantes (D).

O passo seguinte a essa classificação é a construção de uma matriz tipo de indústria versus fatores estratégicos, que será chamada de matriz demanda. Nela a

classificação realizada será substituída por critérios de pesos definidos conforme as seguintes regras:

- i. o número de pontos atribuídos a um fator condicionante deverá ser maior do que a soma dos pontos atribuídos aos demais fatores pouco condicionantes e irrelevantes;
- ii. o número de pontos atribuídos a um fator pouco condicionante deverá ser maior do que a soma dos pontos atribuídos aos fatores irrelevantes;
- iii. a inexistência de um fator crucial elimina diretamente a alternativa de localização.

Após essa primeira etapa, é necessária a definição de outra matriz, a de fatores estratégicos versus zonas elementares, que, por sua vez, será conhecida como matriz oferta. Sua função será fornecer indicação da existência ou ausência de cada um dos fatores estratégicos em cada zona elementar. Para essa definição de existência deverão ser levados em conta os requisitos mínimos dos diferentes ramos da indústria.

Realizando o produto da matriz demanda pela matriz oferta, resulta-se em uma nova matriz, a de tipos de indústria versus zonas elementares. Essa nova matriz apresenta as zonas elementares mais atraentes para cada tipo de atividade industrial e oferece duas informações importantes seja para uma orientação da política governamental de investimentos e incentivos, seja para o empresário que esteja disposto a investir em uma planta industrial. Essas informações são:

- A média ponderada dos elementos de uma determinada linha, que irá proporcionar um índice para o conjunto da área estudada em relação às demandas do ramo da indústria correspondente;
- A média ponderada dos elementos de uma determinada coluna, que, por sua vez, irá gerar um índice para o conjunto das atividades industriais potenciais frente à zona elementar correspondente.

Essa teoria pode ser representada através de uma formulação matemática mais simples, que se utiliza de duas matrizes binárias (demanda e oferta) apresentadas a seguir:

- $A = (a_{ij})_{m \times n}$, demanda industrial de h atividades industriais relativamente a n fatores de localização;
- $B = (b_{jk})_{n \times m}$, oferta de n fatores de localização por m zonas elementares de planificação.

As variáveis a_{ij} e b_{jk} podem assumir os seguintes valores:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se a demanda do fator for Crucial ou Condicionante} \\ 0, & \text{se a demanda do fator for Pouco Condicionante ou Irrelevante} \end{cases}$$

$$b_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{se a oferta do fator for Crucial ou Condicionante} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Já a matriz produto representativa das possibilidades de localização dos h tipos de indústria nas m zonas elementares de localização é apresentada como $C = A \times B = (c_{ij})_{h \times m}$, tal que $\max_k(c_{ik})$ aponta a melhor localização para a atividade industrial i , enquanto $\max_i(c_{ik})$ indica o melhor tipo de indústria para a zona elementar k .

Considerando dois elementos genéricos, a_{ij} e b_{jk} , o produto $a_{ij} \otimes b_{jk}$ é definido através de uma operação binária, que assume o seguinte comportamento:

Tabela 1: Operação Produto

Fonte: Martins, G.W. (2010).

$a_{ij} \otimes b_{jk}$	0	1
0	$1/n^2$	$1/n$

1	0	1
---	---	---

Onde:

n é o número de fatores levados em consideração na análise realizada e as linhas representam os níveis de demanda.

Seja $E = (e_{il})_{h \times h}$ a matriz diagonal construída da seguinte forma:

$$E_{il} = \begin{cases} 0, & \text{se } i \neq l \\ 1 / \sum_j a_{ij}, & \text{se } i = l \end{cases}$$

Por fim, calcula-se a matriz $D = (EC) = (d_{ik})_{h \times m}$, que representará as possibilidades de localização dos h tipos de indústrias nas m zonas elementares de planificação, que agora estão representados por índices em relação aos fatores de localização demandados. Cada um dos elementos d_{ik} da matriz D representa o índice dos fatores de localização que são satisfeitos na localização do tipo de indústria i na zona elementar de planificação k .

Um índice $d_{ik} > 1$ indica que a oferta das condições de localização de uma zona elementar de planificação de ordem i é melhor do que a demanda de cada tipo de indústria de ordem k , enquanto que um índice $d_{ik} < 1$ significa o não atendimento de pelo menos um dos fatores demandados.

É necessário, ainda, definir os seguintes índices médios:

$$t_i = 1/m \sum_k d_{ik}; \quad i = 1, 2, \dots, h$$

$$z_k = 1/h \sum_i d_{ik}; \quad k = 1, 2, \dots, m$$

que representam respectivamente a disponibilidade média de recursos locais do território para cada tipo de indústria i , e o potencial médio de recursos locais de cada zona elementar de planificação k , em face do conjunto de atividades industriais.

De acordo com o volume de informações estatísticas disponíveis, pode-se realizar uma alteração na matriz A , deixando-a com quatro níveis ao invés de apenas dois.

Dessa maneira, a classificação da demanda em Crucial, Condicionante, Pouco Condicionante e Irrelevante corresponderá a uma classificação da oferta, por exemplo, em Disponível, Disponível com Restrições, Disponível com Pesadas Restrições e Ausente. Dessa forma, a operação produto deverá ser redefinida, se apresentado da seguinte forma:

Tabela 2: Operação Produto

Fonte: Martins, G.W. (2010).

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

Onde, novamente:

n é o número de fatores considerados e as linhas representam os níveis de demanda.

Entretanto, esse modelo ainda não se utilizou da aritmética dos números *fuzzy*. Como o objetivo do Modelo COPPE-Cosenza é encontrar uma medida de distância que venha a satisfazer as propriedades de simetria que a distância assimétrica retilínea não foi capaz de satisfazer, é necessário que se defina dois espaços *fuzzy*: um que represente o conjunto de demandas e outro representando o conjunto de potencialidades regionais. Isso feito parte-se para a avaliação das distâncias entre elementos idênticos presentes nesses dois conjuntos.

Considerando $F = \{f_i \mid 1, \dots, n\}$ como um conjunto finito de atributos/fatores de localização denotado genericamente como f , o conjunto *fuzzy* \tilde{A} em f será um conjunto de pares ordenados demonstrado por

$$\tilde{A} = (f, \mu_{\tilde{A}}(f) \mid f \in F)$$

onde \tilde{A} é a representação *fuzzy* da matriz de demanda $A = (\mu_{ij})_{n \times m}$ e $\mu_{\tilde{A}}(f)$ é a função de pertinência representando o grau de importância dos fatores: Crítico, Condicionante, Pouco Condicionante e Irrelevante.

Analogamente, temos

$$\tilde{B} = \{(f, \mu_{\tilde{B}}(f)) \mid f \in F\}$$

onde \tilde{B} figura como a representação *fuzzy* da matriz oferta $B = (b_{jk})_{n \times m}$ e $\mu_{\tilde{B}}(f)$ é uma função de pertinência que representa o grau de atendimento dos fatores disponibilizados pelas diversas alternativas de localização: Superior, Bom, Regular e Fraco.

Sendo $\tilde{A} = (a_i \mid i = 1, \dots, m)$ o conjunto de fatores gerais demandados por diferentes tipos de projetos, a matriz \tilde{A} terá o seguinte formato:

Tabela 3: Matriz \tilde{A} - Fatores demandados pelos projetos

Fonte: Martins, G.W. (2010).

	f_1	f_2	...	f_j	...	f_n
	w_1	w_2	...	w_j	...	w_n
\tilde{A}_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1n}
\tilde{A}_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2n}
:	:	:	...	:	...	:
\tilde{A}_j	a_{j1}	a_{j2}	...	a_{jj}	...	a_{jn}
:	:	:	...	:	...	:
\tilde{A}_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mj}	...	a_{mn}

Onde:

$\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_m$ é o conjunto de atributos demandados pelos projetos ou necessários

a eles;

f_1, f_2, \dots, f_n é o conjunto de fatores;

w_1, w_2, \dots, w_n é o grau de importância associado a cada fator para o conjunto do projeto;

a_{ij} é o coeficiente *fuzzy* do projeto i com relação ao fator j .

Analogamente, sendo $B = \{b_k \mid k=1, \dots, m\}$ o conjunto de localizações alternativas nas quais está contido $F=\{f_k \mid k=1, \dots, n\}$, o conjunto dos fatores comuns aos vários projetos, a matriz \tilde{B} se apresentará da seguinte maneira:

Tabela 4: Matriz \tilde{B} - Oferta de fatores pelas alternativas de localização

Fonte: Martins, G.W. (2010).

		B_1	B_2	...	B_k	...	B_m
f_1	w_1	b_{11}	b_{12}	...	b_{1k}	...	b_{1m}
f_2	w_2	b_{21}	b_{22}	...	b_{2k}	...	b_{2m}
:	:	:	:	...	:	...	:
f_j	w_j	b_{j1}	b_{j2}	...	b_{jk}	...	b_{jm}
:	:	:	:	...	:	...	:
f_n	w_n	b_{n1}	b_{n2}	...	b_{nk}	...	b_{nm}

Onde:

B_1, B_2, \dots, B_m é o conjunto das localizações alternativas;

w_1, w_2, \dots, w_n é o nível de oferta dos fatores;

f_1, f_2, \dots, f_n é o conjunto de fatores ofertados por B ;

b_{jk} é o coeficiente *fuzzy* da alternativa k , com relação ao fator j .

O próximo passo é a operação entre matrizes. Seja então a matriz $C = A \otimes B = (c_{jk})_{h \times m}$ a matriz representativa das possibilidades de localização para a firma i na área de planificação, através das comparações de Solicitação / Disponibilidade de cada fator. Dessa maneira, $\max_k \{c_{ik}\} = \bar{c}_i$ indica a melhor localização para o tipo de projeto i e $\max_i \{c_{ik}\} = \bar{c}_k$ simboliza o melhor tipo de projeto para a alternativa de área k . Portanto,

o produto $\tilde{a}_{ij} \otimes \tilde{b}_{jk} = \tilde{c}_{ik}$, para dois elementos genéricos \tilde{a}_{ij} e \tilde{b}_{jk} é representado pela seguinte matriz:

Tabela 5: Produto $A \otimes B$

Fonte: Martins, G.W. (2010).

		Oferta de Fatores (\tilde{B})				
		$a_{ij} \otimes b_{jk}$	0	.	.	1
Demanda por Fatores (\tilde{A})	0	0^+	.	.	.	0^{++}
	.		1			
	.			1		
	.				1	
	1	0	.	.	.	1

Onde:

c_{ik} é o coeficiente *fuzzy* da alternativa k com relação ao projeto i e, $0^+ = 1/n!$, $0^{++} = 1/n$ (sendo n – número de fatores considerados). Entre esse intervalo [0, 1], incluem-se todos os valores de suporte de A e B, inicialmente identificados como variáveis linguísticas, como podem ser observados a seguir:

Tabela 6: Variáveis linguísticas para b_{jk} e a_{ij}

Fonte: Martins, G.W. (2010).

FATORES	b_{jk}			a_{ij}
	Graus para as alternativas k_i			Importância para o projeto
	B_1	B_2	B_3	
f_1	Fraco	Fraco	Superior	Condicionante
f_2	Fraco	Superior	Bom	Crítico

f_3	Bom	Superior	Bom	Crítico
f_4	Fraco	Superior	Bom	Pouco Condicionante
f_5	Regular	Fraco	Fraco	Irrelevante
f_6	Superior	Superior	Superior	Condicionante
f_7	Bom	Bom	Bom	Crítico

Onde:

a_{ij} : coeficiente do grau de importância do fator j em relação ao projeto i ;

b_{jk} : coeficiente resultante do nível dos fatores disponíveis na área k .

As representações de pertinência dos valores de suporte se dão através de um modificador clássico de concentração:

$$\mu_{\tilde{A}\tilde{B}}(x) = [\text{sup}(x)]^{1/2}\alpha$$

Existem algumas regras operacionais que podem vir a ajudar a definir a distância entre os elementos de duas matrizes. São elas:

- Matriz diagonal inferior \tilde{c}_{ik}

Tabela 7: Matriz diagonal inferior \tilde{c}_{ik}

Fonte: Martins, G.W. (2010).

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

- Matriz de diferença de pertinências \tilde{c}_i

Tabela 8: Matriz de diferença de pertinências \tilde{c}_{ik}

Fonte: Martins, G.W. (2010).

Demanda por fatores (\tilde{A})	Oferta de fatores (S)				
	0	$\mu\tilde{B}_i(x)$			1
$a_{ij} \otimes b_{jk}$					
0	0^+	.	.	.	0^{++}
:		1			$1 + [\mu\tilde{B}(x) - \mu\tilde{A}(x)]$
$\mu\tilde{A}_i(x)$			1		
:	$1 + [\mu\tilde{B}(x) - \mu\tilde{A}(x)]$			1	
1	0	.	.	.	1

- Matriz de relacionamento de pertinências \tilde{c}_{ik}

Tabela 9: Matriz de relacionamento de pertinências \tilde{c}_{ik}

Fonte: Martins, G.W. (2010).

	0	$\mu B_1(x)$	$\mu B_2(x)$	$\mu B_3(x)$	$\mu B_4(x)$
0	$\frac{1}{n!}$	$\frac{1}{n-3}$	$\frac{1}{n-2}$	$\frac{1}{n-1}$	$\frac{1}{n}$
$\mu A_1(x)$	0	1	$1 + \frac{\mu B_1(x)}{n}$	$1 + \frac{\mu B_2(x)}{n}$	$1 + \frac{\mu B_3(x)}{n}$
$\mu A_2(x)$	0	$\frac{\mu B_1(x)}{\mu A_2(x)}$	1	$1 + \frac{\mu B_1(x)}{n}$	$1 + \frac{\mu B_2(x)}{n}$
$\mu A_3(x)$	0	$\frac{\mu B_1(x)}{\mu A_3(x)}$	$\frac{\mu B_2(x)}{\mu A_3(x)}$	1	$1 + \frac{\mu B_1(x)}{n}$
$\mu A_4(x)$	0	$\frac{\mu B_1(x)}{\mu A_4(x)}$	$\frac{\mu B_2(x)}{\mu A_4(x)}$	$\frac{\mu B_3(x)}{\mu A_4(x)}$	1

3. Práticas de Mercado para Localização de Instalações

As empresas adotam diversos métodos para localização das suas instalações. Em alguns negócios, dominados pelo direcionamento comercial, a abertura e fechamento de instalações acaba sendo feito somente em função do posicionamento dos centros de demanda e do posicionamento dos concorrentes.

No caso de empresas industriais, a localização das instalações é guiada pela posição dos insumos críticos para a operação. Um exemplo disso é o caso da Votorantim Metais, empresa do Grupo Votorantim, apresenta plantas em Alumínio – município de São Paulo onde está localizada uma grande jazida de alumínio – Niquelândia – município de Goiás que apresenta jazida de Níquel.

O fato é que a área de logística ainda não tem a participação adequada na tomada de decisões das empresas, e isso fica mais evidente quando da tomada de decisões que a influenciam diretamente.

Em muito casos, de posse das informações de custo referentes a nova localização – sejam elas baseadas em dados históricos ou até mesmo estimativas – as empresas calculam o investimento necessário para a abertura de uma nova instalação e julgam se aquele montante cabe em seus orçamentos, podendo até mesmo não avaliar o investimento no futuro.

Em outros casos, onde a decisão é tomada de forma mais madura, as empresas lançam mão de artifícios como modelos de Pesquisa Operacional visando maximizar seus retornos ou minimizar as despesas.

O desenvolvimento de modelos otimização pode apoiar-se em softwares robustos, que oferecem uma capacidade de processamento mais elevada. Isso permite modelar operações complexas, através de múltiplas variáveis, parâmetros e restrições. Além disso, permite considerar pontos de demanda no nível de município. Um exemplo de software desta natureza é o *AIMMS® – The Modeling System*.

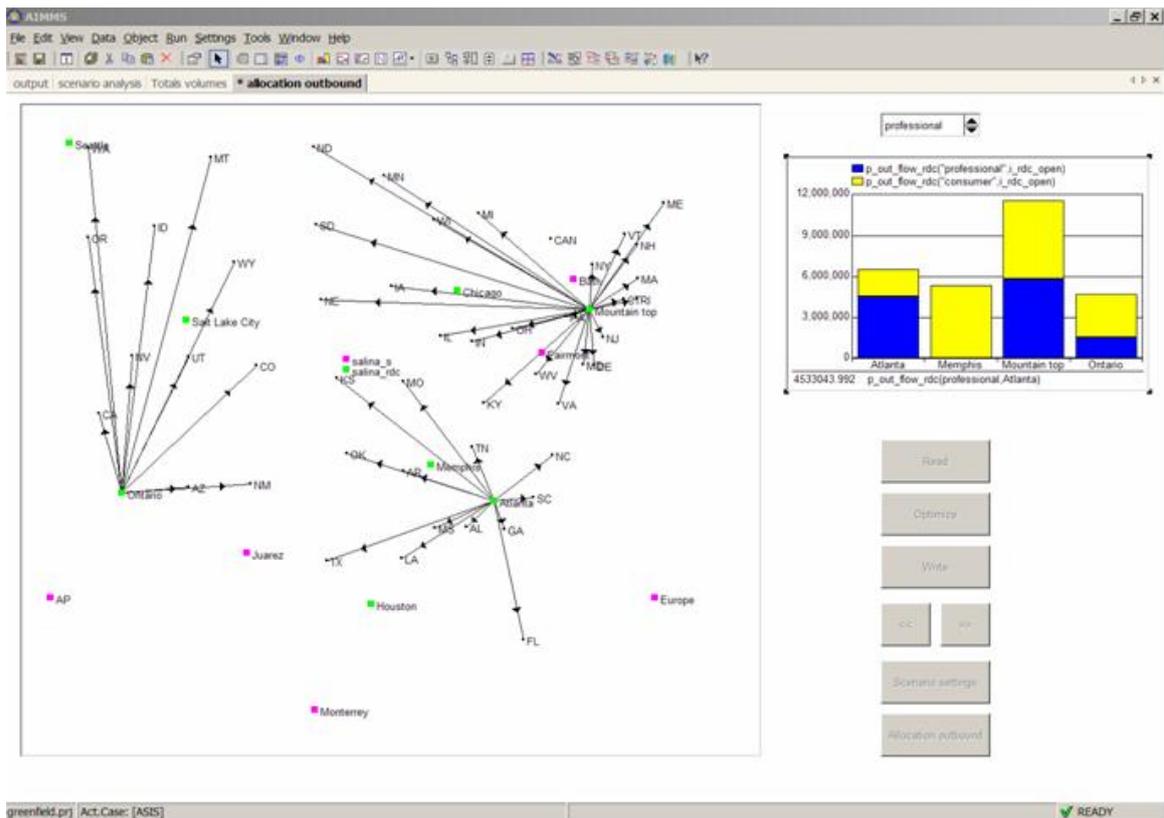


Figura 6: Exemplo de modelo de otimização desenvolvido pelo software AIMMS®.

Fonte: <http://www.aimms.com/industries/transport-logistics>, consultado em 11/09/2012.

O desenvolvimento de modelos de otimização é um produto oferecido por consultorias. A Belge Consultoria, por exemplo, desenvolveu um software para realização de otimização e simulação de operações, chamado “*Supply Chain Guru*”. Segundo descrição literalmente retirada do site <http://www.belge.com.br/supply.php> (consultado em 11 de setembro de 2012), o software permite:

- Determinar o efeito de mudanças na estrutura e política de sua rede;
- Otimizar modelos possibilitando a seleção dos melhores fornecedores;
- Simular múltiplos cenários de rede de modo a avaliar *trade-offs* negociações de serviço/custo;
- Prever investimento em estocagem, custos de transporte e utilização da produção para controle dos orçamentos.

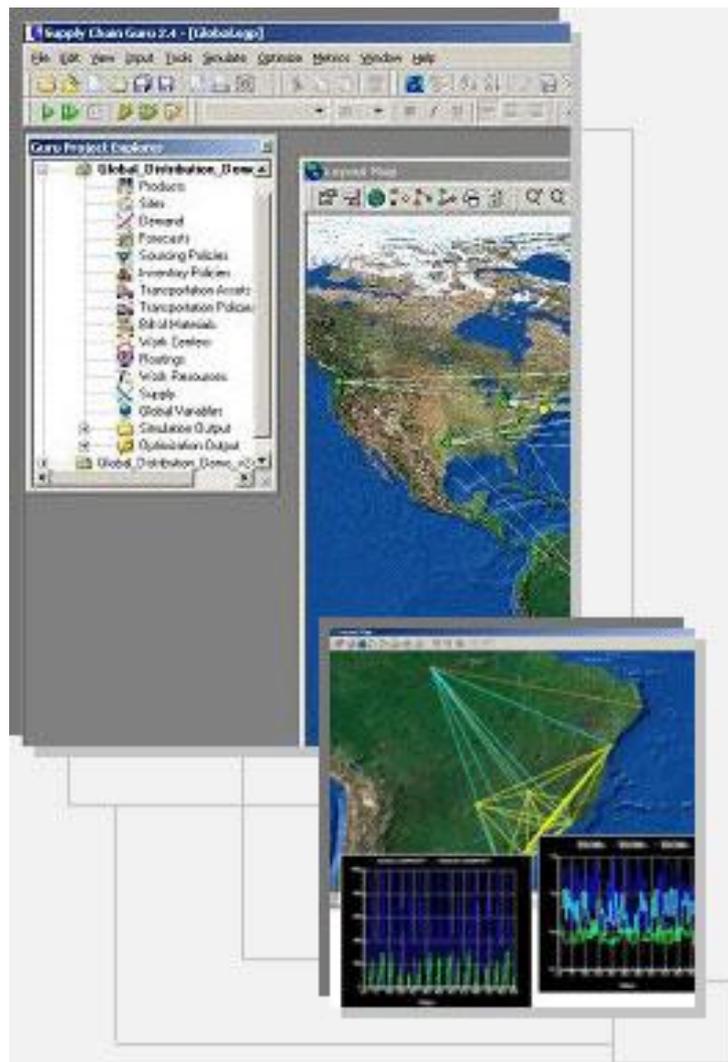


Figura 7: Imagem do aplicativo Supply Chain Guru.

Fonte: <http://www.belge.com.br/supply.php>, consultado em 11/09/2012.

4. Ferramenta baseada em Lógica *Fuzzy* para Localização de Instalações

4.1. Motivação para Aplicação de Lógica *Fuzzy*

Devido a sua natureza, a aplicação de lógica *fuzzy* para problemas de localização de instalações permite a incorporação de fatores subjetivos à tomada de decisão, no caso, de localização de instalações.

Nas opções *crisp*, é necessário realizar uma modelagem matemática da realidade. Quanto mais complexa, mais demorado é para construí-la, e mais tempo de processamento necessita.

Além de ser complexa a modelagem de múltiplas variáveis, existem *drivers* qualitativos que impactam a decisão de localização. Os mesmos, no entanto, acabam sendo tratados por fora ou são adotadas premissas para o seu tratamento.

O ponto é que, em muitos casos, a modelagem de um *driver* qualitativo é muito dispendiosa e acaba por ficar muito distante da realidade, após a adoção de tantas premissas.

Nesse sentido, a utilização de lógica *fuzzy* permite incorporar fatores qualitativos ao modelo de localização de instalações, utilizando modelos como o COPPE-Cosenza. Além disso, esse modelo, especificamente, permite combinar a expectativa de diferentes segmentos demandantes diante de cada *driver* na tomada de decisão.

4.2. Construção da Ferramenta de Apoio a Tomada de Decisão de Localização

A ferramenta de apoio à tomada de decisão apresentada no presente trabalho está apoiada sobre os trabalhos de LEMOS e COSENZA, publicado no Encontro Nacional de Engenharia de Produção de 2008, e de COSENZA, CARVALHO, GARCIA, COSTA e BRILLO, um estudo de 2009 do Grupo de Pesquisa e Estudos Avançados e Laboratório de Conjuntos *Fuzzy*.

4.2.1. Fatores Determinantes para o Problema de Localização de Instalações

Para a formulação do modelo proposto neste trabalho, utilizou-se a hierarquização publicada no artigo de LEMOS e COSENZA (2008). Através de um levantamento bibliográfico, foram selecionadas vinte e oito variáveis e, além disso, inseridas mais três que os autores julgaram aplicar-se à realidade brasileira. Com as variáveis em mãos, aplicaram um questionário de pesquisa a profissionais da área de logística e, também, a especialistas do Centro de Estudos em Logística, do COPPEAD/UFRJ.

Levando em consideração a classificação que os especialistas atribuíram a cada variável apresentada no questionário, foi desenvolvido um modelo *fuzzy* baseado no modelo de HISMEI-HSU, CHEN-TUNG-CHEN proposto por HSU e CHEN (1996), onde se trabalhou com a combinação dos prognósticos individuais de cada

respondente. A partir daí, gerou-se uma matriz de concordância através de uma função *fuzzy* específica que envolvia o cálculo do grau de concordância entre as opiniões e determinou-se a concordância relativa. Dessa maneira, chegou-se a um valor *fuzzy* para cada variável analisada.

O tratamento *fuzzy* permitiu a hierarquização dos fatores analisados. O resultado da hierarquização é apresentado no artigo após a sua defuzzificação.

Tabela 10: Hierarquização das variáveis preliminares de localização de acordo com as opiniões dos especialistas do Cel/Coppead e de Profissionais de Mercado dentro da realidade brasileira.

Fonte: Cosenza e Lemos (2008).

	Especialistas CEL/COPPEAD	Profissionais de Mercado
Acessibilidade aos diferentes modais de transporte	3,52	3,45
Área geográfica a ser atendida pela nova estrutura	3,59	3,45
Capacidade de processamento dos armazéns	3,26	3,32
Clima	2,92	2,88
Condições sindicais	2,83	2,00
Custo de estoque de segurança	3,27	3,44
Custo de estoque em trânsito	3,26	3,44
Custo total logístico	3,73	3,65
Custos com mão de obra	3,19	3,4
Custos com transporte	3,53	3,67
Custos da instalação	3,37	3,26
Custo de capital	3,27	3,54
Custos de manutenção de estoques	3,24	3,6

Custos de manutenção dos sistemas de estocagem	2,96	3,14
Divisão da demanda entre as instalações	3,38	3,26
Efeitos da consolidação dos estoques	3,09	3,29
Existência de operadores logísticos com CD's espalhados pelo Brasil	3,16	3,65
Facilidade de acesso ao mercado	3,37	3,49
Facilidade de acesso aos fornecedores	3,24	3,49
Fatores econômicos	3,12	3,08
Fluxo de entrada e saída de produtos	2,98	3,26
Fontes de energia	2,95	3,3
Força competitiva	2,98	2,78
ICMS (Crédito e Débito)	3,62	3,56
Impostos estaduais, municipais e federais	3,56	3,56
Incentivos fiscais	3,75	3,45
Isenções tributárias	3,75	3,56
Localização direcionada pela produção	3,13	2,98
Localização direcionada pelo mercado	3,38	3,35
Localização dos principais concorrentes	3,13	2,83
Nível de serviço ao cliente	3,65	3,45
Nível mínimo de processamento do armazém	3,24	3,17
Oferta de mão de obra especializada	2,84	3,11
Tempo de transito do produto acabado	3,21	3,37

A percepção dos segmentos entrevistados no trabalho publicado por COSENZA E LEMOS (2008) traz uma contribuição importante para a problemática de localização de instalações nas empresas. Por esse motivo, decidiu-se por mantê-las disponíveis na ferramenta de localização construída.

Para isso, no entanto, foi necessário converter os valores *crisp* apresentados como resultado do trabalho sob a forma *fuzzy*. Na intenção de não afastar-se do objetivo do trabalho, foi adotado um método simplificado para tal conversão, ao invés do percurso inverso ao da defuzzificação. O critério adotado é apresentado na tabela a seguir.

Tabela 11: Critério para Fuzzyficação da hierarquização de fatores.

Fonte: Os autores.

Resultado	Classificação da Demanda
Inferior ou igual a 2,0	Irrelevante
De 2,0 a 3,0 (inclusive)	Pouco Condicionante
De 3,0 a 3,3 (inclusive)	Condicionante
Acima de 3,3	Crucial

O método utilizado provocou a seguinte dispersão dos resultados.

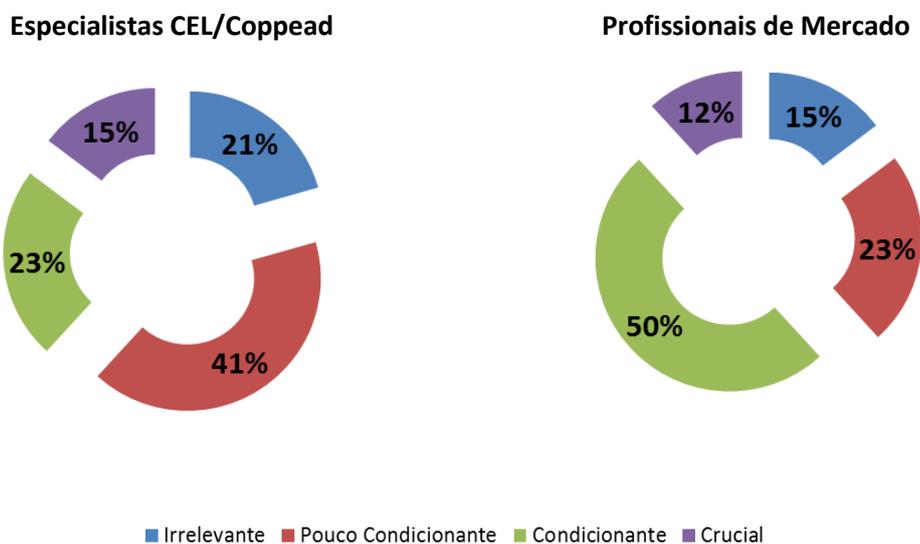


Figura 8: Percepção dos especialistas CEL/Coppead e Profissionais de Mercado.

Fonte: Os autores

Os gráficos apontam que o método adotado apresentou coerência com os grupos de entrevistados, já que as maiores parcelas de fatores concentraram-se entre as

condições Pouco Condicionantes e Condicionantes. Além disso, as parcelas Crucial e Irrelevante são bastante parecidas em ambos. Por fim, os fatores foram mais fortemente classificados sob a ótica dos profissionais de mercado, concentrando-se na parcela Condicionante.

A classificação de cada um dos fatores é apresentada a seguir.

Tabela 12: Classificação dos Fatores apresentados por Cosenza e Lemos (2008).

Fonte: Os autores.

	Especialistas CEL/COPPEAD	Profissionais de Mercado
Acessibilidade aos diferentes modais de transporte	Condicionante	Condicionante
Área geográfica a ser atendida pela nova estrutura	Condicionante	Condicionante
Capacidade de processamento dos armazéns	Pouco Condicionante	Condicionante
Clima	Irrelevante	Irrelevante
Condições sindicais	Irrelevante	Irrelevante
Custo de estoque de segurança	Pouco Condicionante	Condicionante
Custo de estoque em trânsito	Pouco Condicionante	Condicionante
Custo total logístico	Crucial	Crucial
Custos com mão de obra	Pouco Condicionante	Condicionante
Custos com transporte	Condicionante	Crucial
Custos da instalação	Condicionante	Pouco Condicionante

Custo de capital	Pouco Condicionante	Condicionante
Custos de manutenção de estoques	Pouco Condicionante	Crucial
Custos de manutenção dos sistemas de estocagem	Irrelevante	Pouco Condicionante
Divisão da demanda entre as instalações	Condicionante	Pouco Condicionante
Efeitos da consolidação dos estoques	Pouco Condicionante	Pouco Condicionante
Existência de operadores logísticos com CD's espalhados pelo Brasil	Pouco Condicionante	Crucial
Facilidade de acesso ao mercado	Condicionante	Condicionante
Facilidade de acesso aos fornecedores	Pouco Condicionante	Condicionante
Fatores econômicos	Pouco Condicionante	Pouco Condicionante
Fluxo de entrada e saída de produtos	Irrelevante	Pouco Condicionante
Fontes de energia	Irrelevante	Condicionante
Força competitiva	Irrelevante	Irrelevante
ICMS (Crédito e Débito)	Crucial	Condicionante
Impostos estaduais, municipais e federais	Condicionante	Condicionante

Incentivos fiscais	Crucial	Condicionante
Isenções tributárias	Crucial	Condicionante
Localização direcionada pela produção	Pouco Condicionante	Irrelevante
Localização direcionada pelo mercado	Condicionante	Condicionante
Localização dos principais concorrentes	Pouco Condicionante	Irrelevante
Nível de serviço ao cliente	Crucial	Condicionante
Nível mínimo de processamento do armazém	Pouco Condicionante	Pouco Condicionante
Oferta de mão de obra especializada	Irrelevante	Pouco Condicionante
Tempo de transito do produto acabado	Pouco Condicionante	Condicionante

Os autores destacam, ainda, que das trinta e quatro variáveis analisadas pelos dois grupos entrevistados – representando o mercado e academia – cinco variáveis em consenso foram classificadas como Muito Importantes pelos dois grupos. São elas: isenções tributárias, custo logístico total, o crédito e débito de ICMS, impostos estaduais, municipais e federais, e os custos com transportes.

4.2.2. Adaptação do Modelo COPPE-Cosenza para MS Excel®

COSENZA, CARVALHO, GARCIA, COSTA e DORIA (2009) desenvolveram uma ferramenta de apoio à tomada de decisão, adaptando o modelo COPPE-Cosenza ao software MS Excel®. O objetivo era que a ferramenta fosse facilmente customizável, o

que permitiria sua aplicação com diversos propósitos. O resultado é uma ferramenta que permite modelar qualquer ambiente de demanda e oferta de fatores, em busca de uma solução adequada.

A motivação da construção de um modelo em MS Excel® foi a rápida conversão de informações sobre o perfil de consumo, detidas de forma diferente pelos diversos *stakeholders* da organização, em um instrumento operacional eficiente para apoio da tomada de decisão. Esta motivação está bastante alinhada com a do presente trabalho.

A seguir, um esquema do fluxo seguido pelo modelo, o qual se reflete na sua estrutura no programa.

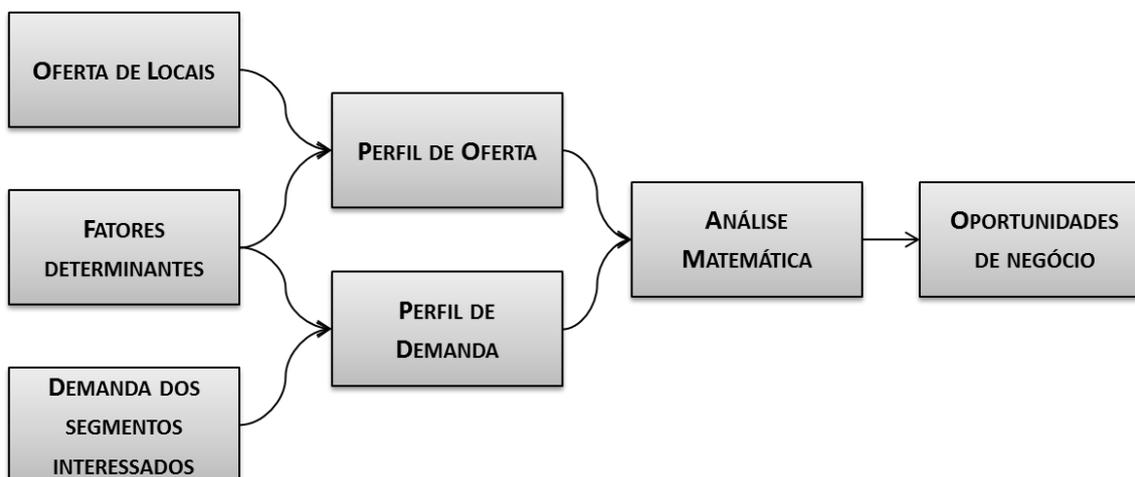


Figura 9: Fluxo de funcionamento do modelo COPPE-Cosenza adaptado em MS Excel®.

Fonte: Os autores, adaptado de Cosenza, Carvalho, Garcia, Costa e Doria (2009).

A lógica do modelo está apoiada na realização de operações entre as matrizes construídas a partir dos perfis de demanda e oferta.

A matriz de perfil de demanda tem tantas linhas quantos forem os segmentos de mercado envolvidos na tomada de decisão, e tantas colunas quantos foram os fatores determinantes envolvidos – a saber, no caso do presente trabalho, os trinta e quatro mapeados por COSENZA e LEMOS (2008) no item 4.2.1. A matriz de perfil de oferta,

por outro lado, apresenta os locais de potencial localização nas colunas e, nas linhas, os fatores determinantes.

O trabalho de COSENZA, CARVALHO, GARCIA, COSTA e DORIA (2009) propõe a gradação dos fatores em quatro níveis, tanto no caso da demanda quanto da oferta. O presente trabalho, adaptando a proposta realizada pelos mesmos, chegou à classificação a seguir.

- Crucial;
- Condicionante;
- Pouco Condicionante; e
- Irrelevante, no caso do perfil de demanda. E
- Disponível;
- Disponível com Restrições;
- Disponível com Pesadas Restrições;
- Ausente, no caso do perfil de oferta.

As matrizes produzidas no modelo refletem as caixas apresentadas nas Figuras 10 e 11.

Matriz A - Perfil de Demanda	
$h \times n$	Fatores Determinantes
Segmentos de Mercado	a_{ij} Valores possíveis: A, B, C, D

A	Crucial
B	Condicionante
C	Pouco Condicionante
D	Irrelevante

Figura 10: Matriz Perfil de Demanda e classificações possíveis.

Fonte: Os autores, adaptado de Cosenza, Carvalho, Garcia, Costa e Doria (2009).

Matriz B - Perfil de Oferta	
$n \times m$	Locais Potenciais
Fatores Determinantes	b_{jk} Valores possíveis: A, B, C, D

A	Disponível
B	Disponível com Restrições
C	Disponível com Pesadas Restrições
D	Ausente

Figura 11: Matriz Perfil de Oferta e classificações possíveis.

Fonte: Os autores, adaptado de Cosenza, Carvalho, Garcia, Costa e Doria (2009).

A partir da classificação da demanda pelos fatores determinantes e da sua aderência aos locais potenciais avaliados, utiliza-se o algoritmo COPPE-Cosenza para realizar a operação de multiplicação entre as matrizes.

O algoritmo COPPE-Cosenza, associado às possíveis combinações de resultados entre as matrizes de demanda e de oferta, produz uma matriz de classificações possíveis. Por exemplo, se um fator é crucial para o segmento em questão, porém está disponível com pesadas restrições em determinado local, este local tem um índice de oportunidade de $1-2/n$ naquele fator, onde n é o número de fatores determinantes avaliados.

Algoritmo COPPE-Cosenza		Oferta			
		A	B	C	D
Demanda	A	1	$1-1/n$	$1-2/n$	$1-3/n$
	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

Figura 12: Algoritmo COPPE-Cosenza.

Fonte: Os autores, adaptado de Cosenza, Carvalho, Garcia, Costa e Doria (2009).

Matriz C - Matriz de Índices	
$h \times m$	Locais Potenciais
Segmentos de Mercado	c_{ik}

Figura 13: Matriz de possíveis índices de Oportunidade.

Fonte: Os autores, adaptado de Cosenza, Carvalho, Garcia, Costa e Doria (2009).

Uma vez verificados os índices de oportunidade, para cada segmento demandante, cada local potencial, e cada fator determinante, o próximo passo é verifica a aderência global do local ao segmento demandante.

Matriz E - Matriz Diagonal					
$h \times h$	Fatores Determinantes				
Fatores Determinantes	1/n	0	0	0	0
	0	1/n	0	0	0
	0	0	...	0	0
	0	0	0	1/n	0
	0	0	0	0	1/n

Figura 14: Matriz Diagonal.

Fonte: Os autores, adaptado de Cosenza, Carvalho, Garcia, Costa e Doria (2009).

Matriz D - Índice de Oportunidade					
$h \times m$	Locais Potenciais				T_i
Segmentos de Mercado	d_{ik}				
Z_k					

Figura 15: Matriz de Índices de Oportunidade.

Fonte: Os autores, adaptado de Cosenza, Carvalho, Garcia, Costa e Doria (2009).

Os índices da matriz de índices de oportunidade podem apontar em três direções. O atingimento dos fatores determinantes nos níveis exigidos, para o local avaliado, leva o índice a ser igual à unidade. Caso o índice d_{ik} seja inferior a unidade, interpreta-se que pelo menos um fator determinante não foi atingido no nível exigido pelo segmento demandante. Analogamente, quando o índice é superior a unidade, observa-se que o local potencial atingiu os fatores demandantes nos níveis exigidos e ainda os majorou.

Mais uma forma de interpretar os resultados é verificar o atendimento do perfil de demanda de cada segmento pelo grupo de locais potenciais apresentados. Isso pode indicar se o perfil construído por algum segmento está muito exigente, ou se o grupo de locais potenciais está muito abaixo das expectativas do mesmo. A análise deste efeito com a natureza do segmento demandante pode direcionar ainda mais a tomada de decisão, por exemplo, se é orientado por vendas ou por operações. Por outro lado, pode-se verificar a aderência de cada um dos locais ao perfil de demanda global do modelo, verificando se ele não está compatível com o negócio tomador de decisão. Estes fatores são apresentados na matriz de índice de oportunidade como o somatório dos índices apresentados nas linhas ou colunas.

4.2.3. Ferramenta de Apoio a Tomada de Decisão

4.2.3.1. Estrutura da Ferramenta e Modo de Utilização

A exemplo de COSENZA, CARVALHO, GARCIA, COSTA e DORIA (2009), o modelo aqui proposto almeja ser de fácil customização, para ampliar as possibilidades de aplicação. Ele está preparado para receber as percepções de três segmentos demandantes e cinco locais potenciais a serem avaliados.

Além dos três segmentos de demanda cujas exigências são coletadas, o modelo já está carregado com as percepções dos especialistas do CEL/COPPEAD e também do grupo de profissionais de mercado, obtidos em COSENZA e LEMOS (2008). O objetivo disto é apresentar estes pontos de vista a serem contrastados com os levantados especificamente para a decisão do momento de utilização.

A ferramenta está dividida em seis partes, a saber:

- “Questionário”, uma tela de interface com o usuário, onde o mesmo deve realizar o preenchimento do perfil de demanda dos segmentos selecionados, bem como o nível de oferta de cada local potencial, dentro de cada um dos trinta e quatro fatores determinantes;
- “MatrizDemanda”, onde é compilado o perfil de demanda;

- “MatrizOferta”, onde é compilado o perfil de oferta;
- “COPPECosenza”, com o algoritmo do modelo COPPE-Cosenza calculado para a ferramenta proposta;
- “MatrizOportunidade”, onde é feito o cálculo dos índices de oportunidade de negócio;
- “Resultados”; e
- “Dados_segmento”, contendo os resultados da hierarquização realizada em COSENZA e LEMOS (2008) e sua “fuzzificação simplicada”.

Na aba inicial, apresentada na Figura 16, o usuário tem a oportunidade de cadastrar, também, o departamento e o nível hierárquico de cada segmento demandante. A intenção disso é que seja possível fazer análises posteriores dos resultados de acordo com as características do segmento demandante. Os campos para tal cadastro estão destacados na Figura 17.

A ferramenta já apresenta, sob a forma de uma lista de validação, as opções de classificação que podem ser atribuídas a cada fator já estão disponíveis, conforme apresentado nas Figuras 18 e 19.

As abas “MatrizDemanda” e “MatrizOferta” convertem as classificações imputadas pelos usuários na primeira aba, de forma a utilizá-las posteriormente nos cálculos do modelo COPPE-Cosenza. As Figuras 20 e 21 mostram o conteúdo das mesmas. Destaca-se a apresentação das pontuações dos especialistas do CEL/COPPEAD e dos profissionais de mercado, levantados por COSENZA e LEMOS (2008).

Na Figura 22 observa-se a matriz COPPE-Cosenza, utilizada para calcular os índices de oportunidade de cada local, sob o ponto de vista de cada segmento de demanda. Destaca-se, aqui, o fato de termos trinta e quatro fatores determinantes no modelo, o que leva a matriz COPPE-Cosenza apresentar diferenças muito discretas entre os seus elementos. Posteriormente, isso pode prejudicar a análise dos resultados.

Na aba “MatrizOportunidade” são apresentados os cálculos que levam ao resultado do modelo proposto. Os desempenhos do local potencial em cada fator determinante, de acordo com o perfil de cada segmento demandante, são somados e divididos pelo total de fatores demandantes, formando o índice de oportunidade do local no segmento. Retomando o que foi apresentado no item 4.2.2, o índice ser igual a 1 indica que o local atende plenamente às expectativas de demanda daquele segmento; em sendo superior a 1, supera as expectativas e, em sendo inferior, não é adequado ao propósito avaliado, segundo a percepção do segmento demandante em questão. As Figuras 23 e 24 apresentam o conteúdo da planilha em questão.

Finalmente, a aba de “Resultados” apresenta os desempenhos de cada local potencial, de acordo com os perfis de demanda em questão e, ainda, os herdados do levantamento de COSENZA e LEMOS (2008). As Figura 25 e 26 esclarecem o conteúdo de tal aba.

Nesta oportunidade, são apresentados três tipos de análise. Através de um gráfico de barras, é mostrado o desempenho de cada local potencial segundo cada segmento demandante. Nos gráficos de colunas, por outro lado, são apresentados os índices que indicam o quanto cada local atendeu os segmentos demandantes como um todo e, ainda, quanto cada segmento demandante foi atingido pelos locais.

Estes três gráficos devem ser analisados conjuntamente e apoiar a tomada de decisão do gestor ou da equipe gestora. No caso de incompatibilidade entre os resultados obtidos, a recomendação é a realização de uma nova rodada de coleta de perfis de demanda, abrangendo *stakeholders* ainda não contemplados.

Destaca-se, ainda, que a versão apresentada aqui pretende ser um modelo simplificado, uma versão demo, cujo funcionamento ilustra os pontos defendidos ao longo desta monografia.

A2 Departamento

Departamento	Demanda pelo Fator			Oferta do Fator					
	Dep 1	Dep 2	Dep 3	Local	Local 1	Local 2	Local 3	Local 4	Local 5
	NH 1	NH 2	NH 3						
Acessibilidade aos diferentes modais de transporte	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Área geográfica a ser atendida pela nova estrutura	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Capacidade de processamento dos armazéns	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Clima	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Condições sindicais	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custo de capital	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custo de estoque de segurança	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custo de estoque em trânsito	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custo total logístico	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos com mão de obra	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos com transporte	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos da instalação	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos de manutenção de estoques	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos de manutenção dos sistemas de estocagem	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Divisão da demanda entre as instalações	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Efeitos da consolidação dos estoques	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Existência de operadores logísticos com CD's espalhados pelo Brasil	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Facilidade de acesso ao mercado	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Facilidade de acesso aos fornecedores	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Fatores econômicos	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Fluxo de entrada e saída de produtos	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Fontes de energia	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Força competitiva	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
ICMS (Crédito e Débito)	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Impostos estaduais, municipais e federais	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Incentivos fiscais	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Isenções tributárias	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Localização direcionada pela produção	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Localização direcionada pelo mercado	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Localização dos principais concorrentes	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nível de serviço ao cliente	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nível mínimo de processamento do armazém	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Oferta de mão de obra especializada	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Tempo de transito do produto acabado	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Questionario MatrizDemanda MatrizOferta COPPECosenza MatrizOportunidade Resultados Dados segmento

Figura 16: Aba “Questionário” da ferramenta.

Fonte: Os autores.

A2		Departamento					Oferta do Fator				
Departamento	Demanda pelo Fator			Local	Local 1	Local 2	Local 3	Local 4	Local 5		
	Dep 1	Dep 2	Dep 3								
	NH 1	NH 2	NH 3								
Nível Hierárquico											
Acessibilidade aos diferentes modais de transporte	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Área geográfica a ser atendida pela nova estrutura	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Capacidade de processamento dos armazéns	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Clima	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Condições sindicais	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Custo de capital	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Custo de estoque de segurança	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Custo de estoque em trânsito	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Custo total logístico	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Custos com mão de obra	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Custos com transporte	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Custos da instalação	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Custos de manutenção de estoques	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Custos de manutenção dos sistemas de estocagem	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Divisão da demanda entre as instalações	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Efeitos da consolidação dos estoques	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Existência de operadores logísticos com CD's espalhados pelo Brasil	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Facilidade de acesso ao mercado	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Facilidade de acesso aos fornecedores	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Fatores econômicos	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Fluxo de entrada e saída de produtos	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Fontes de energia	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Força competitiva	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
ICMS (Crédito e Débito)	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Impostos estaduais, municipais e federais	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Incentivos fiscais	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Isonções tributárias	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Localização direcionada pela produção	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Localização direcionada pelo mercado	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Localização dos principais concorrentes	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Nível de serviço ao cliente	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Nível mínimo de processamento do armazém	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Oferta de mão de obra especializada	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		
Tempo de transito do produto acabado	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente		

Figura 17: Destaque para os locais de preenchimento das informações que caracterizam os perfis demandantes e os locais potenciais, na aba “Questionario” da ferramenta.

Fonte: Os autores.

B4		f. Crucial							
Departamento	Demanda pelo Fator			Oferta do Fator					
	Dep 1	Dep 2	Dep 3	Local	Local 1	Local 2	Local 3	Local 4	Local 5
	NH 1	NH 2	NH 3						
Acessibilidade aos diferentes modais de transporte	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Área geográfica a ser atendida pela nova estrutura	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Capacidade de processamento dos armazéns	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Clima	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Condições sindicais	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custo de capital	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custo de estoque de segurança	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custo de estoque em trânsito	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custo total logístico	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos com mão de obra	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos com transporte	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos da instalação	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos de manutenção de estoques	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos de manutenção dos sistemas de estocagem	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Divisão da demanda entre as instalações	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Efeitos da consolidação dos estoques	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Existência de operadores logísticos com CD's espalhados pelo Brasil	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Facilidade de acesso ao mercado	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Facilidade de acesso aos fornecedores	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Fatores econômicos	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Fluxo de entrada e saída de produtos	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Fontes de energia	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Força competitiva	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
ICMS (Crédito e Débito)	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Impostos estaduais, municipais e federais	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Incentivos fiscais	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Isonções tributárias	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Localização direcionada pela produção	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Localização direcionada pelo mercado	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Localização dos principais concorrentes	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nível de serviço ao cliente	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nível mínimo de processamento do armazém	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Oferta de mão de obra especializada	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Tempo de transito do produto acabado	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Figura 18: Destaque para a lista de validação das classificações das exigências dos segmentos demandantes, na aba “Questionario” da ferramenta.

Fonte: Os autores.

G4 f_{ic} Ausente									
Departamento	Demanda pelo Fator			Local	Oferta do Fator				
	Dep 1	Dep 2	Dep 3		Local 1	Local 2	Local 3	Local 4	Local 5
Nível Hierárquico	NH 1	NH 2	NH 3						
Acessibilidade aos diferentes modais de transporte	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Área geográfica a ser atendida pela nova estrutura	Crucial	Crucial	Crucial		Disponível	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Capacidade de processamento dos armazéns	Crucial	Crucial	Crucial		Disponível com Restrições	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Clima	Crucial	Crucial	Crucial		Disponível com Pesadas Restri	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Condições sindicais	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custo de capital	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custo de estoque de segurança	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custo de estoque em trânsito	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custo total logístico	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos com mão de obra	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos com transporte	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos da instalação	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos de manutenção de estoques	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Custos de manutenção dos sistemas de estocagem	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Divisão da demanda entre as instalações	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Efeitos da consolidação dos estoques	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Existência de operadores logísticos com CD's espalhados pelo Brasil	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Facilidade de acesso ao mercado	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Facilidade de acesso aos fornecedores	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Fatores econômicos	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Fluxo de entrada e saída de produtos	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Fontes de energia	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Força competitiva	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
ICMS (Crédito e Débito)	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Impostos estaduais, municipais e federais	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Incentivos fiscais	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Isenções tributárias	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Localização direcionada pela produção	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Localização direcionada pelo mercado	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Localização dos principais concorrentes	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nível de serviço ao cliente	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nível mínimo de processamento do armazém	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Oferta de mão de obra especializada	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Tempo de transito do produto acabado	Crucial	Crucial	Crucial		Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Figura 19: Destaque para alista de validação das classificações dos locais potenciais, na aba “Questionario” da ferramenta.

Fonte: Os autores.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN		
1	A	1	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	Especialistas CEL/COPPEAD	3	3	2	1	1	3	3	3	4	3	3	3	2	2	3	2	2	2	2	1	1	1	1	4	3	4	4	2	3	2	4	2	1	2	2	2	2	2	2	4	4
3	Profissionais de Mercado	3	3	3	1	1	3	3	3	4	3	3	3	2	2	3	3	2	2	2	1	1	1	1	4	3	4	4	1	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
4	Dep 1/NH 1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	Dep 2/NH 2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
6	Dep 3/NH 3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
7	34																																									
8																																										
9																																										
10																																										
11																																										
12																																										
13																																										
14																																										
15																																										
16																																										
17																																										
18																																										
19																																										
20																																										
21																																										
22																																										
23																																										
24																																										
25																																										
26																																										
27																																										
28																																										
29																																										

Figura 20: Aba “MatrizDemanda” da ferramenta.

Fonte: Os autores.

A2		f _{ic} B																				
A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
B		Local 1	Local 2	Local 3	Local 4	Local 5																
3	3	1	1	1	1	1	4	Disponível											4			
4	4	1	1	1	1	1	3	Disponível com Restrições											3			
5	5	1	1	1	1	1	2	Disponível com Pesadas Restrições											2			
6	6	1	1	1	1	1	1	Ausente											1			
7	7	1	1	1	1	1																
8	8	1	1	1	1	1																
9	9	1	1	1	1	1																
10	10	1	1	1	1	1																
11	11	1	1	1	1	1																
12	12	1	1	1	1	1																
13	13	1	1	1	1	1																
14	14	1	1	1	1	1																
15	15	1	1	1	1	1																
16	16	1	1	1	1	1																
17	17	1	1	1	1	1																
18	18	1	1	1	1	1																
19	19	1	1	1	1	1																
20	20	1	1	1	1	1																
21	21	1	1	1	1	1																
22	22	1	1	1	1	1																
23	23	1	1	1	1	1																
24	24	1	1	1	1	1																
25	25	1	1	1	1	1																
26	26	1	1	1	1	1																
27	27	1	1	1	1	1																
28	28	1	1	1	1	1																
29	29	1	1	1	1	1																
30	30	1	1	1	1	1																
31	31	1	1	1	1	1																
32	32	1	1	1	1	1																
33	33	1	1	1	1	1																
34	34	1	1	1	1	1																
35	35	1	1	1	1	1																
36	36	1	1	1	1	1																
37	37																					
38	38																					
39	39																					
40	40																					
41	41																					

Figura 21: Aba “MatrizOferta” da ferramenta.

Fonte: Os autores, adaptado de Cosenza, Carvalho, Garcia, Costa e Doria (2009).

A4		f _x Demanda		Oferta				H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
A	B	C	D	E	F	G											
			Disponível	Disponível com Restrições	Disponível com Pesadas Restrições	Ausente											
		34	4	3	2	1											
4	Crucial	4	1,00	0,97	0,94	0,91	1	-1	-2	-3							
5	Condicionante	3	1,03	1,00	0,97	0,94	1	1	-1	-2							
6	Pouco Condicionante	2	1,06	1,03	1,00	0,97	2	1	1	-1							
7	Irrelevante	1	1,09	1,06	1,03	1,00	3	2	1	1							
9	Crucial/Disponível	1,000															
10	Condicionante/Disponível	1,029															
11	Pouco Condicionante/Disponível	1,059															
12	Irrelevante/Disponível	1,088															
13	Crucial/Disponível com Restrições	0,971															
14	Condicionante/Disponível com Restrições	1,000															
15	Pouco Condicionante/Disponível com Restrições	1,029															
16	Irrelevante/Disponível com Restrições	1,059															
17	Crucial/Disponível com Pesadas Restrições	0,941															
18	Condicionante/Disponível com Pesadas Restrições	0,971															
19	Pouco Condicionante/Disponível com Pesadas Restrições	1,000															
20	Irrelevante/Disponível com Pesadas Restrições	1,029															
21	Crucial/Ausente	0,912															
22	Condicionante/Ausente	0,941															
23	Pouco Condicionante/Ausente	0,971															
24	Irrelevante/Ausente	1,000															

Figura 22: Aba “COPPECosenza” da ferramenta.

Fonte: Os autores.

		Acessibilidade aos diferentes modais de transporte	Área geográfica a ser atendida pela nova estrutura	Capacidade de processamento dos armazéns	Clima	Condições sindicais	Custo de capital	Custo de estoque de segurança	Custo de estoque em trânsito	Custo total logístico	Custos com mão de obra	Custos com transporte
1	Local 1	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
2	Especialistas CEL/COPPEAD	Condicionante	Condicionante	Pouco Condicionante	Irrelevante	Irrelevante	Pouco Condicionante	Pouco Condicionante	Pouco Condicionante	Crucial	Pouco Condicionante	Condicionante
3	Fator: Local 1 - Especialistas CEL/COPPEAD	0,94	0,94	0,97	1,00	1,00	0,97	0,97	0,97	0,91	0,97	0,94
4	Local 1	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
5	Profissionais de Mercado	Condicionante	Condicionante	Condicionante	Irrelevante	Irrelevante	Condicionante	Condicionante	Condicionante	Crucial	Condicionante	Crucial
6	Fator: Local 1 - Profissionais de Mercado	0,94	0,94	0,94	1,00	1,00	0,94	0,94	0,94	0,91	0,94	0,91
7	Local 1	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
8	Dep 1/NH 1	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial
9	Fator: Local 1 - Dep 1/NH 1	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
10	Local 1	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
11	Dep 2/NH 2	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial
12	Fator: Local 1 - Dep 2/NH 2	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
13	Local 1	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
14	Dep 3/NH 3	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial
15	Fator: Local 1 - Dep 3/NH 3	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
16	Local 2	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
17	Especialistas CEL/COPPEAD	Condicionante	Condicionante	Pouco Condicionante	Irrelevante	Irrelevante	Pouco Condicionante	Pouco Condicionante	Pouco Condicionante	Crucial	Pouco Condicionante	Condicionante
18	Fator: Local 2 - Especialistas CEL/COPPEAD	0,94	0,94	0,97	1,00	1,00	0,97	0,97	0,97	0,91	0,97	0,94
19	Local 2	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
20	Profissionais de Mercado	Condicionante	Condicionante	Condicionante	Irrelevante	Irrelevante	Condicionante	Condicionante	Condicionante	Crucial	Condicionante	Crucial
21	Fator: Local 2 - Profissionais de Mercado	0,94	0,94	0,94	1,00	1,00	0,94	0,94	0,94	0,91	0,94	0,91
22	Local 2	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
23	Dep 1/NH 1	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial
24	Fator: Local 2 - Dep 1/NH 1	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
25	Local 2	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
26	Dep 2/NH 2	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial
27	Fator: Local 2 - Dep 2/NH 2	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
28	Local 2	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
29	Dep 3/NH 3	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial
30	Fator: Local 2 - Dep 3/NH 3	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
31	Local 3	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Figura 23: Aba “Resultados” da ferramenta.

Fonte: Os autores.

AK4		=SOMA(C4:AJ4)/MatrizDemanda!\$A\$7											
		Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
		ICMS (Crédito e Débito)	Impostos estaduais, municipais e federais	Incentivos fiscais	Isenções tributárias	Localização direcionada pela produção	Localização direcionada pelo mercado	Localização dos principais concorrentes	Nível de serviço ao cliente	Nível mínimo de processamento do armazém	Oferta de mão de obra especializada	Tempo de trânsito do produto acabado	
1													
2	1	Local 1	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
3	1	Especialistas CEL/COPPEAD	Crucial	Condicionante	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Pouco Condicionante	Irrelevante	Pouco Condicionante	
4		Fator: Local 1 - Especialistas CEL/COPPEAD	0,91	0,94	0,91	0,91	0,97	0,94	0,97	0,91	0,97	1,00	0,97 0,96
5	1	Local 1	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
6	2	Profissionais de Mercado	Condicionante	Condicionante	Condicionante	Condicionante	Irrelevante	Condicionante	Irrelevante	Condicionante	Pouco Condicionante	Crucial	Condicionante
7		Fator: Local 1 - Profissionais de Mercado	0,94	0,94	0,94	0,94	1,00	0,94	1,00	0,94	0,97	0,97	0,94 0,95
8	1	Local 1	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
9	3	Dep 1/NH 1	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	
10		Fator: Local 1 - Dep 1/NH 1	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91 0,91
11	1	Local 1	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
12	4	Dep 2/NH 2	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	
13		Fator: Local 1 - Dep 2/NH 2	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91 0,91
14	1	Local 1	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
15	5	Dep 3/NH 3	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	
16		Fator: Local 1 - Dep 3/NH 3	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91 0,91
17	2	Local 2	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
18	1	Especialistas CEL/COPPEAD	Crucial	Condicionante	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Pouco Condicionante	Irrelevante	Pouco Condicionante	
19		Fator: Local 2 - Especialistas CEL/COPPEAD	0,91	0,94	0,91	0,91	0,97	0,94	0,97	0,91	0,97	1,00	0,97 0,96
20	2	Local 2	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
21	2	Profissionais de Mercado	Condicionante	Condicionante	Condicionante	Condicionante	Irrelevante	Condicionante	Irrelevante	Condicionante	Pouco Condicionante	Crucial	Condicionante
22		Fator: Local 2 - Profissionais de Mercado	0,94	0,94	0,94	0,94	1,00	0,94	1,00	0,94	0,97	0,97	0,94 0,95
23	2	Local 2	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
24	3	Dep 1/NH 1	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	
25		Fator: Local 2 - Dep 1/NH 1	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91 0,91
26	2	Local 2	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
27	4	Dep 2/NH 2	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	
28		Fator: Local 2 - Dep 2/NH 2	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91 0,91
29	2	Local 2	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	
30	5	Dep 3/NH 3	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	Crucial	
31		Fator: Local 2 - Dep 3/NH 3	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91 0,91
32	3	Local 3	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	

Figura 24: Detalhe para o cálculo do índice geral de oportunidade de negócio para a combinação local/segmento, na aba “MatrizOportunidade” da ferramenta.

Fonte: Os autores.

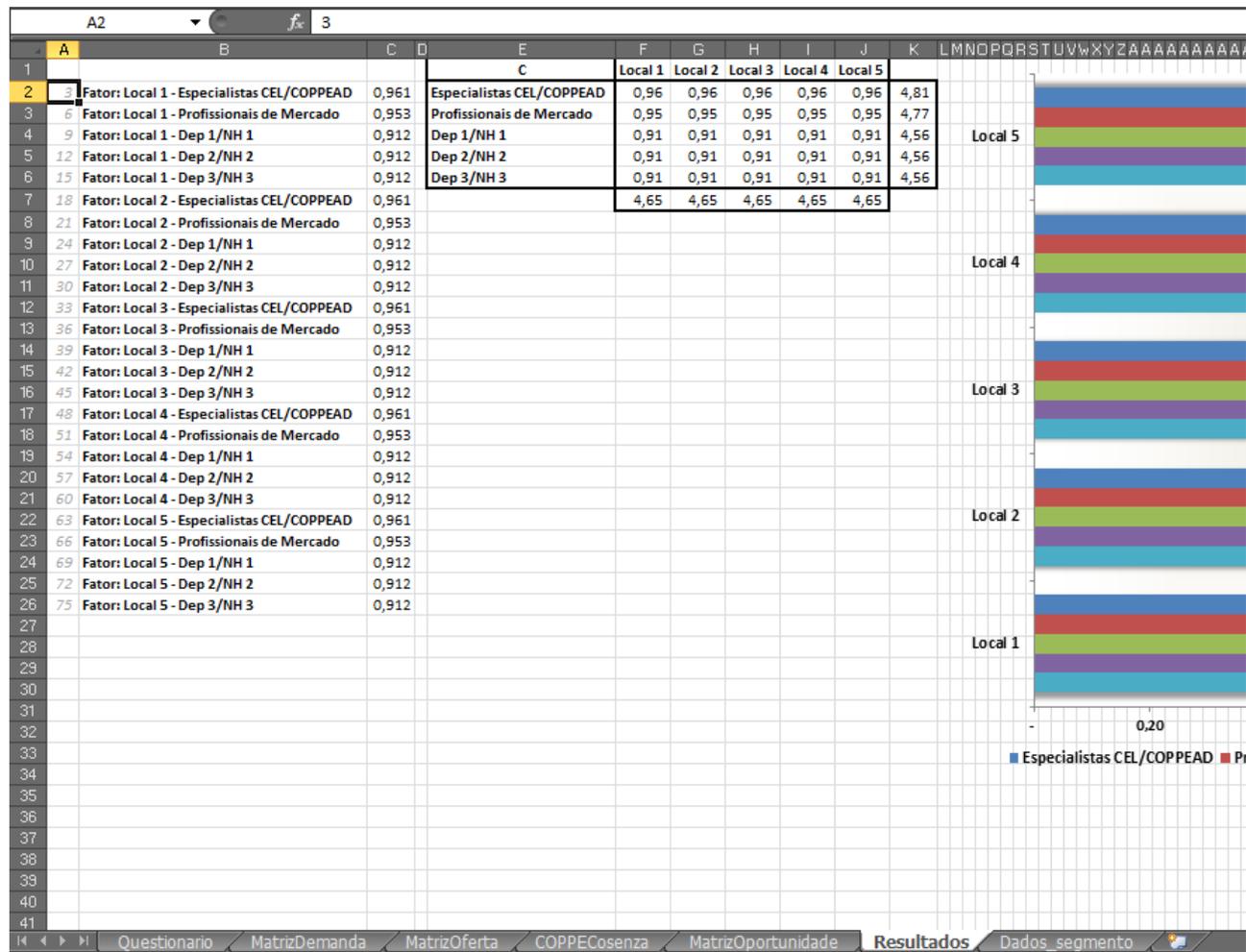


Figura 25: Aba “Resultados” da ferramenta.

Fonte: Os autores.

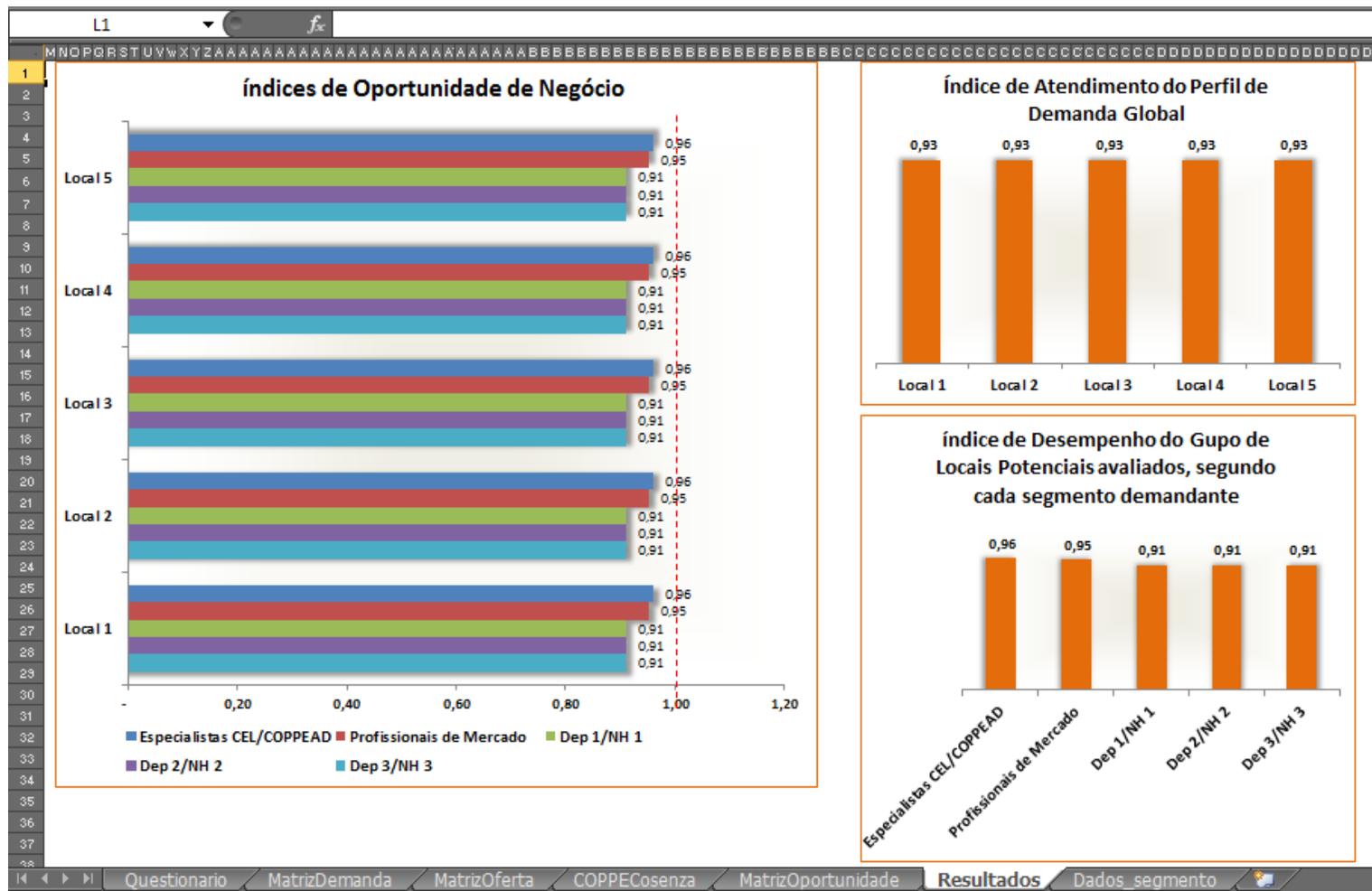


Figura 26: Gráficos apresentados na aba “Resultados” da ferramenta.

Fonte: Os autores.

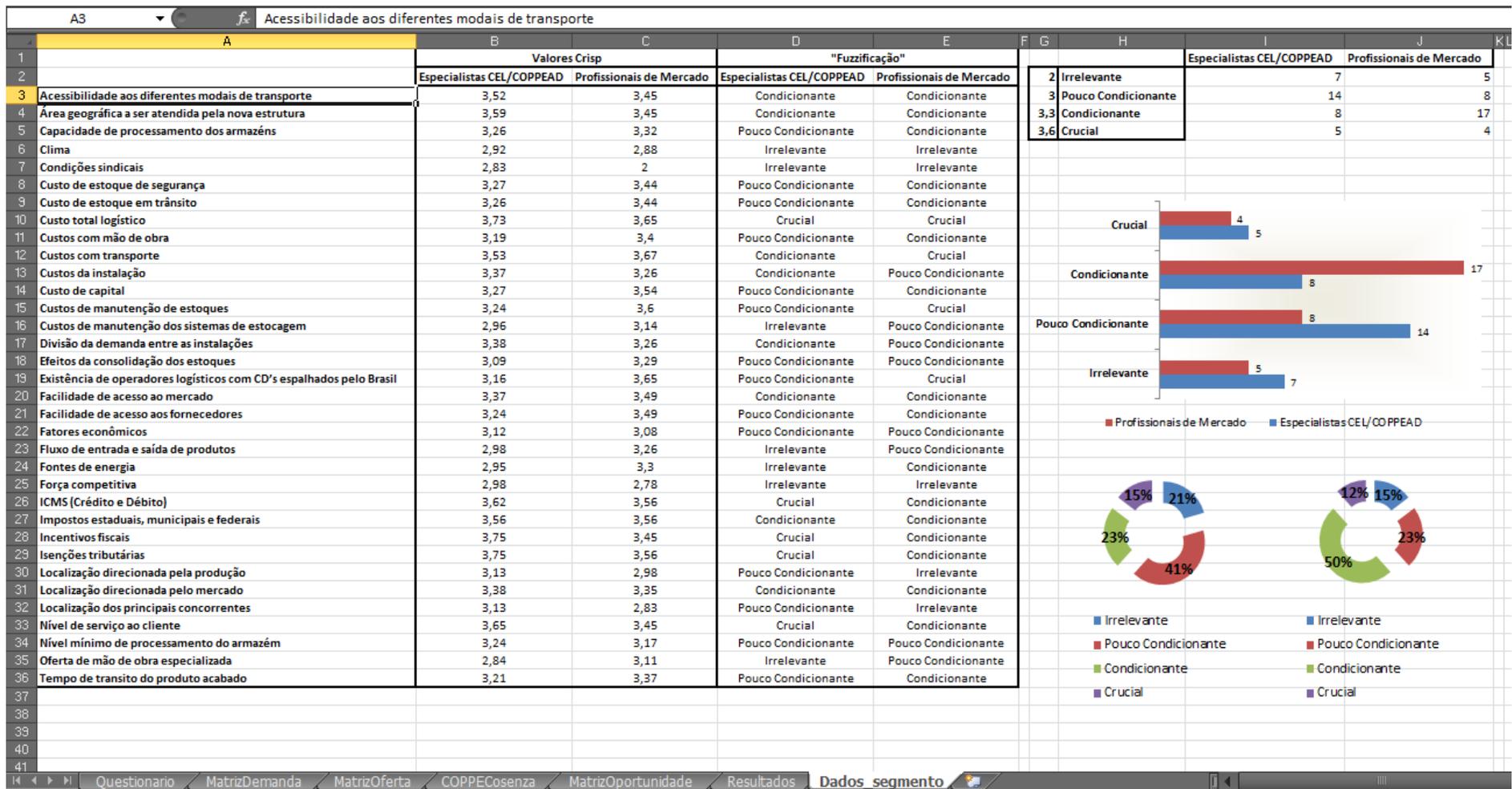


Figura 27: Aba "Dados_Segmento" da ferramenta.

Fonte: Os autores.

5. Conclusões

O presente trabalho traz uma abordagem prática para a aplicação de lógica *fuzzy* na tomada de decisão das empresas. Verificou-se que a modelagem *fuzzy* para o problema de localização de instalações contempla, de forma simples, fatores complexos como os incentivos fiscais, permitindo-os “puxar” os resultados e não somente serem sensibilizados posteriormente, como muitas vezes é feito nas abordagens *crisp*.

É importante ressaltar, no entanto, que o modelo aqui apresentado tem como objetivo a localização de uma nova instalação. Modelos *crisp* bastante robustos de otimização, por outro lado, já permitem a verificação simultânea das possibilidades de abertura de múltiplas instalações, contemplando os *tradeoffs* através da sua função objetivo. Modelos como esse, entretanto, são onerosos em tempo de construção e processamento.

Dito isso, é interessante exercitar formas de incorporar a decisão de abertura de múltiplas instalações a um modelo *fuzzy* nos moldes do que foi aqui apresentado.

Especificamente sobre o modelo apresentado, vale destacar a possibilidade de utilização somente dos fatores determinantes que se destacaram no levantamento de COSENZA e LEMOS (2008). Isso simplifica o trabalho a ser desenvolvido “por fora” do modelo, além de tornar os fatores da matriz produto COPPE-Cosenza mais afastados entre si, o que deixa a leitura dos resultados mais simples.

Finalmente, é importante que o modelo seja aplicado em casos reais, de forma a verificar o comportamento dos resultados e, ainda, o montante de trabalho a ser feito independentemente do modelo – exemplo, levantamento de custos logísticos envolvidos na operação em cada local potencial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBRÓSIO, P., 2003, **Gestão Estratégica da Armazenagem**. 1 ed. São Paulo, Aduaneiras.

BALLOU, R., 2006, **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística empresarial**. 5 ed. Porto Alegre, Bookman.

BALLOU, R., 1993, **Logística empresarial**. 1 ed. São Paulo, Atlas.

AMENDOLA, M., SOUZA, A. L., BARROS, L. C., Manual do uso da teoria dos conjuntos fuzzy no MATLAB 6.5. Versão 2005 do manual apresentado no Ciclo de Palestras/2004, realizado na FEAGRI/UNICAMP. Disponível em: http://www.ime.unicamp.br/~laeciocb/manual_fuzzy_matlab.pdf. Acesso em: 25 de agosto de 2012.

BAZARAA, M., 1979, **Nonlinear Programming Theory and Algorithms**. 1 ed. New York, John Wiley and Sons.

BOWERSOX, D., CLOSS, D., 2001, **Logística empresarial. O Processo de Integração da Cadeia de Suprimentos**. 1 ed. São Paulo, Atlas.

BRANDEAU, M. L., CHIU, S. S., 1989, "An overview of representative problems in location research", **Management Science**, v. 35, n. 12 (Dez) , pp. 645–674.

BOWERSOX, D., CLOSS, D., COOPER, B., 2006, **Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos**. 1 ed, Porto Alegre, Bookman.

CLEMENTE, A., 2002, **Projetos Empresariais e Públicos**. 2 Ed. São Paulo, Atlas.

COSENZA, C.A.N., 2002, Hierarchy Models for the organization of economic space. *Working Paper*.

COSENZA, C.A.N., BRILLO DE CARVALHO, J.B., CLARO GARCIA, L.,
ORNELLAS DA COSTA, A.J., DORIA, F.A., 2009, A Simple Excel Program to Run a
Fast Decision-Making Algorithm. Advanced Studies Group and Fuzzy Sets Laboratory,

COSENZA, H., LEMOS, L., 2008. "Estudo de Localização de Centros de
Distribuição: uma aplicação *fuzzy* na hierarquização de atributos". *ENEGEP*,
TN_STO_074_527_12085, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13-16 de outubro.

FUJIMOTO, R. Y., 2005, *Diagnóstico automático de defeitos em rolamentos
baseado em Lógica Fuzzy*. Dissertação de M.Sc., Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

KANDEL, A., 1986, ***Fuzzy mathematical techniques with applications***. 1 ed.
Reading, Addison-Wesley Publishing Company.

KOBAYASHI, S., 2000, ***Renovação da logística: como definir estratégias de
distribuição física global***. 1 ed. São Paulo, Atlas.

LUNA, H. P., 1995, "Sistemas de apoio à decisão". In: Terra, L.D.B., Markus
M., da Costa Jr., P. P. (eds), *Manufatura Integrada por Computador*, 1 ed., p.83–100,
Belo Horizonte, Brasil, Fundação CEFETMINAS.

MARTINS, G.W., 2010, *Uma Contribuição aos Estudos de Localização
Industrial: Determinando o Potencial de Transporte Aéreo de uma Região com Base
no Modelo de Análise Hierárquica COPPE-Cosenza*. Dissertação de M.Sc.,
COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MARTOS, A.C., 2000, *Projeto de redes logísticas com consideração de
estoques e modais: aplicação de programação linear inteira-mista à indústria
petroquímica*. Dissertação de M.Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,
São Paulo, SP, Brasil.

MINOUX, M., 1986, ***Mathematical Programming Theory and Algorithms***. 1
ed. New York, John Wiley and Sons.

- NOVAES, A. G., 2001, **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. 1 ed. Rio de Janeiro, Campus.
- NOZICK, L. K., TURNQUIST, M. A., 2001, “Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers”, **European Journal of Operational Research**, v. 129, n. 2, pp. 362-371.
- OLIVEIRA JUNIOR, H. A., 1999, **Lógica Difusa: Aspectos práticos e aplicações**. 1 ed. Rio de Janeiro, Interciência.
- OWEN, S. H., DASKIN, M. S., 1998, “Strategic facility location: A review”, **European Journal of Operational Research**, v. 111, n.3 , 423-447.
- SIMÕES, M. G., SHAW, I. S., 207, **Controle e Modelagem Fuzzy**. 2 ed. São Paulo, Blücher/FAPESP.
- SPHAIER, A. A., 2009, *Adaptação de um Modelo para a Avaliação da Qualidade de Serviços Prestados por uma Empresa de Tecnologia da Informação*. Dissertação de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- WAGNER, H. M., 1986, **Pesquisa Operacional**. 2 ed. Rio de Janeiro, Prentice-Hall do Brasil.
- WANG, Li-Xin., 1997. **A Course in Fuzzy Systems and Control**. 1 ed. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- WANKE, P. *Aspectos fundamentais do problema de localização de instalações em redes logísticas*. Disponível em:
http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com_content&task=view&id=1092&Itemid=74&lang=br. Acesso em 23 de agosto de 2012.
- WEBER, L., KLEIN, P. A. T., 2003, **Aplicação da Lógica Fuzzy em Software e Hardware**. 1 ed. Canos, Ulbra.

ZADEH, L. A., 1965, "Fuzzy Sets". *Information and Control*, v. 8, n. 3, pp. 338-353.

ZADEH, L.A.,1988, "Fuzzy Logic", *IEEE Computer Magazine*, v. 21, n. 4,pp. 88-93.