

# Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do Fuzzy – Processo Analítico Hierárquico

Guilherme Fabris de Souza e Leandro Luís Corso

## Resumo

É uma característica da indústria moderna, a busca constante por mais produtividade, agilidade, inovação e rapidez em seus processos. E para somar, a expressão Indústria 4.0, que engloba tecnologias para automação, troca de dados, internet das coisas, computação na nuvem e conceitos de sistemas ciber-físicos, busca facilitar a visão de fábricas inteligentes. Porém, quando ainda não há uma indústria instalada ou quando deseja-se ampliar as instalações, essa importante decisão deve ser tomada levando diversos fatores em consideração. Comumente executivos sentem dificuldade para apresentar justificativas técnicas quando possuem a tarefa de definição da localidade da instalação industrial. Este tipo de decisão, pode ser de suma importância para a saúde do empreendimento, e é essencial que se tenha a maior assertividade possível na escolha. A fim de modelar a incerteza da preferência humana, o presente artigo teve como objetivo apresentar a aplicação do método AHP combinado com a Lógica Fuzzy aplicado à um problema de definição de localidade para instalação industrial. O problema em questão conta com quatro possíveis localidades, e para cada, avalia-se seis diferentes critérios. As ferramentas apresentadas neste artigo demonstram-se eficientes e úteis do ponto de vista metodológico, uma vez que vários trabalhos já comprovaram a sua eficácia.

## Palavras-chave

Instalação industrial, definição de localidade, Processo Analítico Hierárquico, Fuzzy.

# Definition of location for industrial installation with the support of Fuzzy – Analytic Hierarchical Process

## Abstract

It is a characteristic of modern industry, the constant search for more productivity, agility, innovation and speed in its processes. And to sum up, the expression Industry 4.0, which includes technologies for automation, data exchange, internet of things, cloud computing and concepts of cyber-physical systems, seeks to facilitate the vision of intelligent factories. However, when there is still no industry installed or when it is desired to expand the facilities, this important decision must be made taking several factors into account. Executives commonly find it difficult to provide technical justifications when they are tasked with defining the location of the industrial facility. This type of decision can be extremely important for the health of the enterprise, and it is essential to have the greatest possible assertiveness in the choice. In order to model the uncertainty of human preference, this article aimed to present the application of the AHP method combined with the Fuzzy Logic applied to a problem of defining a location for an industrial installation. The problem in question has four possible locations, and for each, six different criteria are evaluated. The tools presented in this article prove to be efficient and useful from a methodological point of view, since several works have already proved their effectiveness.

## Keywords

Industrial installation, location definition, Hierarchical Analytical Process, Fuzzy

## I. INTRODUÇÃO

Definir a localização de uma instalação é uma tarefa que demanda uma análise detalhada de diversos fatores tomando como o regra base que, as empresas competem entre si para possuírem vantagens em comparação aos seus concorrentes, para melhor satisfazer seus clientes, conquistar novos e lhes proporcionar maiores lucros. É de fácil entendimento, que a localização ideal é aquela que minimiza os custos envolvidos na produção e negócio e a maximização do nível de serviços oferecidos a seus clientes [1][2].

Neste contexto tem-se fatores como estratégia de longo prazo, análise de custo/benefício, aspectos da cultura local, mão de obra qualificada, facilidade de despacho da produção são exemplo que fatores que devem ser minuciosamente analisados para a empresa obter êxito organizacional, gerando a maior quantidade possível de benefícios com o mínimo uso de recurso. Com tantas variáveis envolvidas é comum que executivos sintam dificuldades para apresentar uma justificativa técnica convincente [4].

O presente trabalho tem como objetivo avaliar fatores que influenciam na escolha de uma localidade geográfica para a

instalação de uma indústria que opera no ramo da usinagem. A empresa em questão está expandindo suas operações e almeja escolher entre três opções de localidade a mais adequada por questão de sigilo as informações da mesma será suprimida do presente trabalho. Será tomado como principal ferramenta para o auxílio na solução deste problema o método de análise hierárquico (AHP – Analytic Hierarchy Process), este método é amplamente usado em tomadas de decisões com múltiplos critérios [5].

O trabalho em questão adota o tipo de pesquisa de natureza prática, por gerar conhecimento para aplicação. Com uma abordagem de pesquisa qualitativa e de objetivos caracterizados como pesquisa exploratória, por proporcionar uma compreensão do problema por meio de pesquisas bibliográficas, já publicadas em livros, artigos e periódicos.

## II. REFERENCIAL TEÓRICO

A Indústria 4.0 traz consigo conceitos de manufatura digital, que promovem mudanças nos negócios e processos, para assegurar a vantagem competitiva e sustentabilidade da instituição que os está aplicando.

Desta forma, neste cenário de crescente demanda por processos cada vez mais refinados, os gestores devem estar atentos à necessidade de técnicas e ferramentas adequadas que proporcionem um bom gerenciamento, suporte e acompanhamento baseados em critérios bem definidos. O objetivo é garantir que se obtenha, a maior quantidade possível, decisões assertivas frente às tarefas e problemas enfrentados pelos gestores.

Porém, existem problemas que tornam a etapa de quantificar o desempenho um desafio, seja por não conter dados disponíveis ou estruturados na forma ideal ou por relacionar variáveis subjetivas ou que necessitam de algum tipo de julgamento. Obter o resultado da comparação entre este tipo de variável torna-se uma tarefa mais complexa por serem de caráter pessoal e, conseqüentemente, muito difícil de expor.

Por esta motivação que, a utilização de métodos que possuam a capacidade de lidar com estes desafios ganham importância em situações de tomada de decisão.

Nessa seção são revisados os conceitos e o referencial teórico para o entendimento do método F-AHP e os fatores que exercem influência na escolha da melhor localização geográfica para a implantação de uma instalação industrial.

### A. Teoria Fuzzy

Proposta por Lotfi A. Zadeh a lógica difusa tem sido aplicada em diversas áreas. Essa teoria tem como principal objetivo lidar com dados que contém algum tipo de incerteza. Diferente da lógica booleana, na qual as variáveis podem assumir ou valor zero ou o valor um, ao usar a teoria difusa, cada variável pode assumir um valor no intervalo entre 0 e 1, indicando a sua adesão a um determinado conjunto numérico. Este conceito recebe destaque na categorização de dados, e tomada de decisões [3].

A Teoria Fuzzy cria linguisticamente escalas de valores que buscam quantificar o objeto a ser estudado. O uso dessa teoria possibilita a criação de variáveis linguísticas que auxiliam na expressão de regras e fatos, e possibilitam captar

o grau de incerteza presente nessas variáveis e traduzir para um modelamento matemático. Esta característica da lógica Fuzzy chama-se grau de participação, ou também conhecido como função de pertinência [12].

### B. Sistema Lógico Fuzzy

A Figura 1 ilustra as operações que o sistema lógico Fuzzy, o qual caracteriza-se por 4 pontos fundamentais. Também, na mesma figura, é possível analisar a relação entre ele.

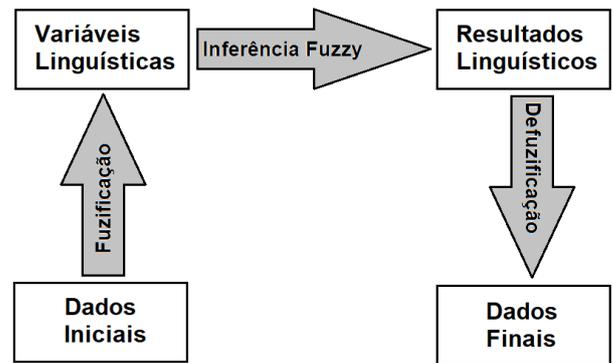


Figura 1 – Sistema Fuzzy.

Seguindo fluxo da esquerda para a direita, tem-se as etapas designadas pelas flechas cinzas.

### C. Fuzificação

A “Fuzificação”, ocorre com a transformação dos dados de entrada iniciais em suas respectivas variáveis linguísticas. Nesta etapa, todas as informações relativas à imprecisão ou incerteza associada a estas variáveis devem ser consideradas [13].

### D. Inferência Fuzzy

A etapa de inferência Fuzzy possui a finalidade de relacionar as possíveis variáveis entre si, através de regras pré-estabelecidas, de forma a cumprir com o objetivo dos operadores Fuzzy [13].

### E. Defuzificação

A última etapa do sistema lógica chama-se defuzificação, esta etapa consiste na tradução do resultado linguístico do processo de inferência Fuzzy, em um valor numérico [14].

### F. Operadores Fuzzy

Para a combinação das funções de pertinência, existem vários operadores Fuzzy conhecidos. Dentre eles, os operadores que se destacam são; a Soma Algébrica, o Produto Algébrico, o Operador Gamma e a Média Ponderada AHP [20].

Como o foco deste trabalho se dá na aplicação da lógica Fuzzy para a contribuição na solução de um problema que utiliza o método de Análise Hierárquica, o foco deste trabalho será no operador Média Ponderada AHP, o qual está representado abaixo pela Equação 1.

$$U_i = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

Neste operador, os pesos da evidência de entrada  $w_i$ , são calculados a partir do uso do método AHP, e  $x_i$  é o valor de entrada que pode ser obtido por meio do empirismo aplicando método AHP [15].

*G. Processo Analítico Hierárquico*

Desenvolvido por Thomas Saaty, o AHP é um método que avalia múltiplas alternativas por ordem de prioridade, e tem como objetivo o apoio à tomada de decisão.

Este método fundamenta-se na separação das alternativas em classes equivalentes e busca-se fornecer uma ordem temporária de prioridade que resulte nas posições relativas destas classes frente à determinados critérios [4][6].

Uma de suas vantagens é a possibilitar modelar um problema com dados quantitativos e qualitativos, juntamente com graus de certeza e incerteza [7]. Em síntese, o AHP permite decompor o problema em uma hierarquia de subproblemas, que pode ser mais facilmente analisada e avaliada subjetivamente, conforme ilustrado na Figura 1.

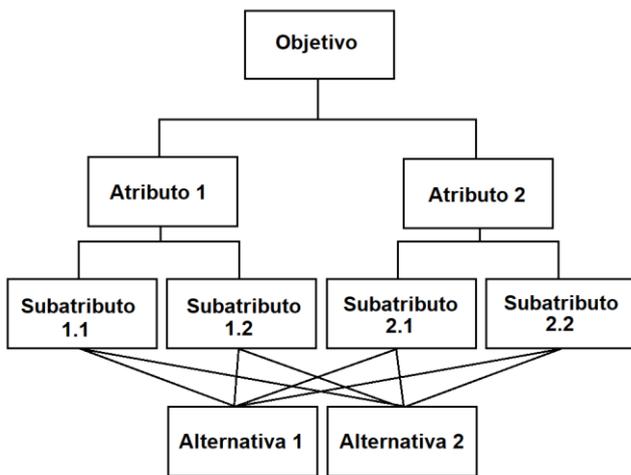


Figura 2 – Estrutura hierárquica para tomada de decisão.

*H. Estruturação do problema em hierarquias*

A estruturação do problema deve ser feita em níveis hierárquicos, de forma que possibilite uma melhor avaliação e compreensão do mesmo. Uma hierarquia é uma abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total que também facilita o processo de raciocínio humano [10]. Na Figura 1 ilustra os principais elementos de uma hierarquia. No topo da árvore hierárquica está localizado o objetivo geral em estudo, seguido dos atributos e subatributos do problema. Localizadas na base da estrutura estão as alternativas analisadas, as quais estão sujeitas ao processo decisório. Essa estrutura gráfica em níveis possibilita uma melhor visualização do problema auxiliando e orientando na análise e nas comparações par a par, que devem ser feitas para que se definam as prioridades de um subatributo em relação a outro, assim como, a prioridade dos atributos e das alternativas. A atribuir níveis de relevância aos elementos, envolve realizar julgamentos priorizando um elemento em relação ao outro [8].

*I. Definição de Prioridades e Julgamentos*

Através da comparação par a par define-se a prioridade de um critério sobre outro ou de uma alternativa sobre outra. Estas comparações são fundamentadas na observação de um especialista, que determina a importância relativa entre os pares. A obtenção de prioridades de forma interativa através do consenso obtido em reuniões com uma equipe multidisciplinar nas quais julgaram-se os critérios e subcritérios considerados significativos [8][11].

O AHP avalia as prioridades e relaciona medidas subjetivas e objetivas, demonstrando a intensidade de domínio de uma alternativa sobre outra [6]. Essa dominância torna-se explícita no momento em que é realizada a conversão em valores numéricos da comparação par a par por meio de uma série de matrizes quadradas. Toma-se como base uma escala fundamental de valores que representam a intensidade dos julgamentos comparativos. Estes valores são demonstrados na Tabela 1.

*J. Consistência Lógica*

Como o AHP se baseia nas comparações paritárias através de julgamentos realizados por tomadores de decisão que relevam preferências entre as alternativas usando critérios diferentes [9]. Mesmo avaliadores com experiência na aplicação deste método, pode ser visto inconsistências entre os julgamentos, principalmente quando o a quantidade de comparações que deve ser feita no modelo é grande.

Portanto, deve haver uma forma de validar os julgamentos realizados para assegurar que as comparações são consistentes entre si.

A inconsistência é um fator inerente ao ser humano [22], por este motivo, é incluída um valor de tolerância dentro de certos parâmetros para a sua aceitação. Chamado de Índice de Consistência (IC), o qual é a definição matemática que propõe a seguinte equação:

$$IC = |\lambda_{m\acute{a}x} - n| / (n - 1) \quad (2)$$

Onde,  $(n)$  representa a ordem da matriz e  $\lambda_{m\acute{a}x}$  o estimador de autovalor máximo de julgamentos paritários. Uma fórmula para o cálculo do estimador de autovalor máximo é dada por:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = T \cdot w \quad (3)$$

onde  $(T)$  é o somatório das colunas das matrizes e  $(w)$  é o autovetor normalizado para  $\sum vI = 1$ . A gravidade da ocorrência de inconsistência é reduzida com o aumento da ordem da matriz de julgamentos [16]. Com objetivo de permitir a avaliação da inconsistência em função da ordem máxima da matriz de julgamento, é feito o uso da Razão de Consistência (RC) [22]. Onde o RC é obtido através da fórmula:

$$RC = IC / IR \quad (4)$$

onde IR é um índice randômico de consistência obtido para uma matriz recíproca, com elementos não negativos gerados de forma randômica.

Os julgamentos da matriz de decisão são considerados consistentes se:  $RC = 0$  para  $n = 2$ ,  $RC < 0,05$  para  $n = 3$ ,  $RC < 0,09$  para  $n = 4$  e  $RC \leq 0,10$  para  $n > 4$ . Caso contrário,

existe alguma inconsistência nos julgamentos e o especialista deve ser solicitado a rever a sua opinião [22].

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância fraca de um sobre o outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um atributo em relação ao outro.
5	Importância forte ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem um atributo em relação ao outro.
7	Importância muito forte ou demonstrada	Um atributo é fortemente favorecido em relação ao outro; seu domínio de importância é demonstrado na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um atributo em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre valores adjacentes	Quando se procura uma condição de favorecimento entre duas definições.

Tabela 1 – Escala fundamental de julgamento em grau de importância, adaptada de [5].

### III. MATERIAL E MÉTODOS

Para cumprir com o objetivo deste trabalho que se resume em auxiliar na escolha geográfica para a instalação de uma indústria do ramo da usinagem, utilizou-se como principal ferramenta um método de auxílio na tomada de decisão entre múltiplas alternativas. O método de análise hierárquica (AHP) foi escolhido, juntamente com a aplicação da lógica Fuzzy para a contribuir no resultado. A aplicação do método se resume nas seguintes etapas:

- avaliar os critérios para seleção;
- selecionar as alternativas para localidade;
- julgar as alternativas pela ótica dos critérios;
- definiu-se o objetivo do problema, e alternativas de solução, critérios e subcritérios, pelos quais as alternativas de solução serão avaliadas;
- organizou-se as definições anteriores em uma estrutura hierárquica;
- determinou-se a priorização de cada nível;
- incluiu-se a variável incerteza através da lógica Fuzzy;
- realizou-se a comparação paritária entre critérios;
- obter a ordenação das alternativas;

Os fatores que receberam destaque nesta tomada de decisão, foram selecionados em conjunto com os colaboradores da empresa, cada um deles assim como o seu impacto na indústria é descrito a seguir.

#### A. Disponibilidade de Matéria-Prima

Qualquer indústria precisa de matéria-prima para produzir seus produtos, uma vantagem de custos em relação aos concorrentes pode ser obtida com a instalação industrial próxima a sua base de fornecedores. A relevância deste fator é ainda maior para o caso de empresas que usam matérias-primas volumosas, perecíveis, ou mais difíceis de transportar que o produto final. Além da vantagem dos custos de transporte, possuir uma cadeia de fornecedores que respondam rápido a variações na demanda é crucial para o sucesso da operação. Fazem parte deste perfil fábricas de papel, enlatados de pesca e envasadoras de leite [18].

#### B. Energia Elétrica

Ter um recurso essencial com garantia de disponibilidade de e preços competitivos é um fator importante para qualquer indústria, principalmente para indústrias que possuem processos produtivos que demandem um alto consumo elétrico seja por motivos de automação ou para conversão da matéria prima em um subproduto necessário no processo produtivo. Um exemplo de indústria que se encaixa este perfil são empresas de extração eletrolítica de alumínio [19].

#### C. Água

Inúmeros processos produtivos tem a água como um fator essencial. Este recurso não é somente necessário para o processo produtivo em si, mas também consumido dentro do parque industrial nas cozinhas, banheiros, bebedouros por exemplo. Exemplos de indústrias que utilizam abundantemente este recurso são: Refinarias de açúcar e álcool, indústrias de alimentos, bebidas, perfumaria e refrigerantes [19].

#### D. Mão de Obra

Na indústria em geral a busca por mão de obra qualificada e seus custos, têm um peso significativo, logo, estabelecer suas operações em uma localidade que possua uma grande população é um fator bastante favorável, pois quanto maior a oferta de mão de obra, menores são os salários pagos, e associado a isso, deve-se levar em consideração a qualificação da força de trabalho, e estrutura educacional da região para a formação, desenvolvimento e especialização e novos funcionários, além de universidades e centros de pesquisas para desenvolvimentos e inovações [18].

#### E. Incentivos Fiscais

É sabido que os estados brasileiros possuem diferenças em sua carga tributária, e em um país que possuem uma carga tributária tão elevada, qualquer vantagem que se possa conseguir é de grande valia. Frequentemente é visto incentivos fiscais, como isenção por um determinado período

dos tributos municipais (ISS, IPTU) e créditos do ICMS estadual, facilidade de crédito entre outros. Todos estes são benefícios para serem considerados na escolha da localidade geográfica para a instalação industrial. Além disso, existem interesses políticos em atrair empresas e indústrias para desenvolver certas regiões do país, gerar receita e empregos para a região, motivo que tem feito com que prefeitos e governadores doem terrenos, realizem obras de infraestrutura nos locais onde se busca atrair uma futura sede empresarial [19].

F. Proximidade dos Consumidores

A agilidade e facilidade e proximidade em relação aos pontos de venda ou consumidores está diretamente ligada aos custos de transporte. Este custo é ainda mais acentuado para produtos de alto valor agregado ou para grandes volumes transportados [18].

IV. APLICAÇÃO

Um estudo de caso será apresentado nesta seção, com a aplicação da metodologia em uma indústria do segmento de usinagem que produz componentes para diversos segmentos do mercado. Essa empresa possui clientes nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil, com sua base de fornecedora localizada 40% nas regiões sul e 60% na região sudeste. Para tratar deste caso, uma equipe multidisciplinar foi formada, pelo gerente de projetos, pelo encarregado financeiro, e por um especialista em AHP. Foi identificado quatro localidades em potencial, tratadas aqui hipoteticamente como Cidade A, Cidade B, Cidade C e Cidade D. Os critérios relevantes considerados no processo decisório deste caso, foram previamente citados neste trabalho na seção três, são eles; Disponibilidade de Matéria-Prima, Energia Elétrica, Água, Mão de Obra, Incentivos Fiscais e Proximidade dos Consumidores. Estes critérios juntamente com as especificações de cada um, estão relacionados na Tabela 3.

Já a Figura 2 ilustra uma visão gráfica do caso tratado, para tal criou-se uma árvore hierárquica, na qual coloca-se no topo o objetivo da empresa, que é determinar a melhor localização geográfica para as suas instalações. Abaixo tem-se os seis critérios primários. No último nível hierárquico

estão representadas as possíveis alternativas avaliadas, Cidade A, Cidade B, Cidade C e Cidade D.

O método do processo analítico hierárquico prevê que deve ser definida a preferência de cada localidade para os atributos ou critérios predefinidos. Ou seja, para isso a equipe responsável para a tarefa realizou um levantamento das informações que foram definidas como necessárias para definir a preferência de cada cidade para cada um dos atributos relevantes. Com estas informações em mãos, o processo de priorização de fez seguindo as seguintes etapas:

- a) realizou-se uma comparação paritária, analisando par a par das alternativas para verificar a que melhor atende ao critério;
- b) normalizou-se os resultados dos critérios em relação às cidades;
- c) a equipe definiu valores em uma escala de 1 a 5, sendo 1 o valor de menor importância e 5 o de maior, para cada critério;
- d) foi gerado uma tabela de contribuição, através da tabela de comparação paritária dos critérios, e os valores de grau de importância definidos arbitrariamente pela equipe.

Os resultados foram normalizados e estão apresentados na Tabela 2 que relaciona as cidades e a contribuição em cada respectivo fator.

	Cidade A	Cidade B	Cidade C	Cidade D
Matéria Prima	0,230	0,250	0,200	0,320
Energia Elétrica	0,220	0,250	0,300	0,230
Água	0,330	0,280	0,220	0,170
Mão de Obra	0,210	0,330	0,190	0,270
Incentivos Fiscais	0,180	0,270	0,130	0,420
Proximidade Consumidores	0,345	0,192	0,287	0,176

Tabela 2 – Contribuição de cada cidade para cada atributo.

Critérios	Especificação
Matéria Prima	Distância dos fornecedores Custo de transporte
Energia Elétrica	Custo da energia elétrica
Água	Custo do m <sup>3</sup> e tarifa da água
Mão de Obra	Custo de MO direta (valor hora, adicional noturno)
Incentivos Fiscais	Desconto ou postergação em impostos Cessão de terra
Proximidade Consumidores	Distância dos clientes Custo de transporte

Tabela 3 – Relação dos critérios relevantes para o caso.

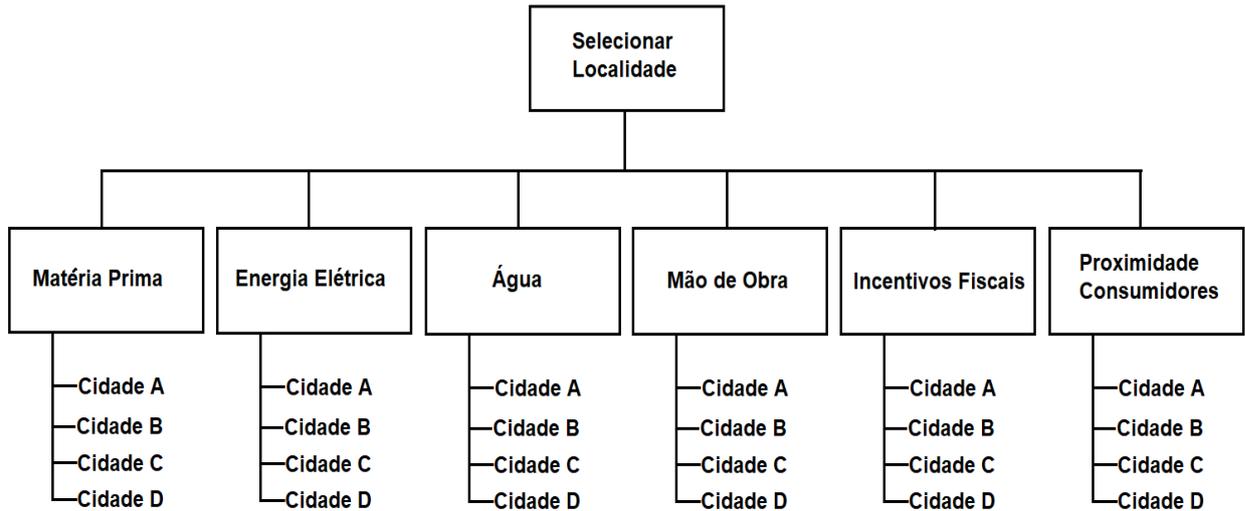


Figura 3 – Árvore hierárquica representando o problema em estudo.

Na etapa seguinte realizou-se a comparação par a par dos atributos analisados. Para o julgamento paritário das alternativas frente aos critérios de avaliação, adotou-se a escala fundamental de julgamento em grau de importância (Tabela 1), onde os responsáveis definiram os valores de importância correspondentes a cada comparação paritária. Após a definição da tabela de comparação paritária dos critérios, realizou-se o processo de fuzificação. Este processo é representado pela Tabela 4, a qual foi expressa no formato do Número Triangular Fuzzy (TFN), que define um intervalo de confiança para a relevância de cada comparação paritária, este intervalo foi definido dentro dos limites

expressos na escala de julgamento em grau de importância, ou seja do 1 ao 9. A Figura 4 ilustra esta função.

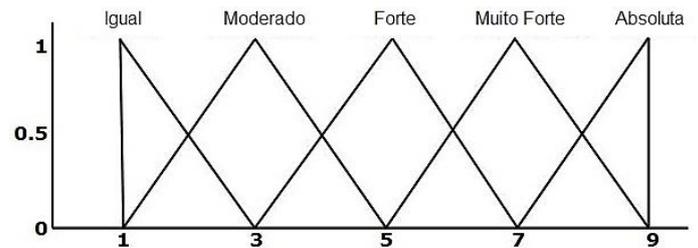


Figura 4 – Função Número Triangular Fuzzy (TFN).

	Matéria Prima	Energia Elétrica	Água	Mão de Obra	Incentivos Fiscais	Proximidade Consumidores
Matéria Prima	(1,1,1)	(6,7,8)	(6,7,8)	(2,3,4)	(6,7,8)	(6,7,8)
Energia Elétrica	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6})$	(1,1,1)	(4,5,6)	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6})$
Água	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6})$	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	(1,1,1)	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6})$	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6})$
Mão de Obra	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(4,5,6)	(6,7,8)	(1,1,1)	(4,5,6)	(3,4,5)
Incentivos Fiscais	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6})$	(2,3,4)	(4,5,6)	$(\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$	(1,1,1)	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$
Proximidade Consumidores	$(\frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6})$	(6,7,8)	(6,7,8)	$(\frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3})$	(2,3,4)	(1,1,1)

Tabela 4 – Comparação paritária dos critérios.

A Tabela 5 apresenta os resultados do próximo passo do método, que se caracteriza pelo cálculo do valor da média geométrica fuzzy para cada critério julgado. A formula utilizada para o cálculo é dada por:

$$\tilde{r}_i = \tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2,) \quad (6)$$

Na sequência, calcula-se os pesos Fuzzy, para tal etapa, utiliza-se a seguinte formula:

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \otimes \tilde{r}_2 \otimes \dots \otimes \tilde{r}_n)^{-1} \quad (7)$$

Na sequência representados pela Tabela 6, estão os valores dos pesos Fuzzy.

A última etapa é a defuzificação, que se caracteriza pela representação de um número nítido através de um número difuso. O método de defuzificação aplicado neste trabalho, tem como objetivo calcular o centroide do conjunto fuzzy. Conhecido como *Center of Area*, sua fórmula é dada por:

$$w_i = \left( \frac{l+m+u}{3} \right) \quad (8)$$

Os resultados desta etapa são apresentados pela Tabela 7 e a normalização destes resultados na Tabela 8.

	Valor da Média Geométrica Fuzzy $\tilde{r}_i$
Matéria Prima	(3,70, 4,39, 5,04)
Energia Elétrica	(0,37, 0,43, 0,52)
Água	(0,19, 0,22, 0,26)
Mão de Obra	(2,04, 2,48, 2,99)
Incentivos Fiscais	(0,59, 0,72, 0,89)
Proximidade Consumidores	(1,10, 1,32, 1,56)

Tabela 5 – Resultado do cálculo do valor da média geométrica Fuzzy.

	Pesos Fuzzy $\tilde{w}_i$
Matéria Prima	$\left( \frac{371}{1126}, \frac{40}{87}, \frac{504}{815} \right)$
Energia Elétrica	$\left( \frac{37}{1126}, \frac{43}{957}, \frac{52}{815} \right)$
Água	$\left( \frac{19}{1126}, \frac{2}{87}, \frac{26}{815} \right)$
Mão de Obra	$\left( \frac{102}{563}, \frac{248}{957}, \frac{26}{815} \right)$
Incentivos Fiscais	$\left( \frac{59}{1126}, \frac{24}{319}, \frac{89}{815} \right)$
Proximidade Consumidores	$\left( \frac{55}{563}, \frac{4}{29}, \frac{156}{815} \right)$

Tabela 6 – Resultado do cálculo dos pesos Fuzzy.

	Pesos $w_i$
Matéria Prima	0,473
Energia Elétrica	0,048
Água	0,024
Mão de Obra	0,271
Incentivos Fiscais	0,079
Proximidade Consumidores	0,143

Tabela 7 – Resultado dos pesos de cada critério julgado.

	Pesos Normalizados $w_i$
Matéria Prima	0,456
Energia Elétrica	0,046
Água	0,023
Mão de Obra	0,261
Incentivos Fiscais	0,076
Proximidade Consumidores	0,138

Tabela 8 – Resultado normalizado dos pesos de cada critério julgado.

## V. RESULTADOS

O índice de preferência geral para cada uma das cidades foi calculado através da multiplicação da preferência de cada localidade para os critérios predefinidos (Tabela 2) e dos pesos normalizados (Tabela 7), com a soma destes respectivos produtos, como segue:

$$\begin{aligned} \text{Cidade A} &= (0,456 * 0,230) + (0,046 * 0,220) \\ &\quad + (0,023 * 0,330) + (0,261 * 0,210) \\ &\quad + (0,076 * 0,180) + (0,138 * 0,345) \\ &= 0,238 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cidade B} &= (0,456 * 0,250) + (0,046 * 0,250) \\ &\quad + (0,023 * 0,280) + (0,261 * 0,330) \\ &\quad + (0,076 * 0,270) + (0,138 * 0,192) \\ &= 0,265 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cidade C} &= (0,456 * 0,200) + (0,046 * 0,300) \\ &\quad + (0,023 * 0,220) + (0,261 * 0,190) \\ &\quad + (0,076 * 0,130) + (0,138 * 0,287) \\ &= 0,255 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cidade D} &= (0,456 * 0,320) + (0,046 * 0,230) \\
 &+ (0,023 * 0,170) + (0,261 * 0,270) \\
 &+ (0,076 * 0,420) + (0,138 * 0,176) \\
 &= 0,287
 \end{aligned}$$

Portanto em ordem de pontuação, da maior para a menor, dentre as quatro localidades, em ordem de importância calculada pelo processo matemático F-AHP, são: D-B-C-A.

A aplicação do método AHP com apoio da lógica difusa, indicou a Cidade D como a melhor localização geográfica para receber as instalações.

## VI. CONCLUSÃO

A aplicação do método de análise hierárquica com o apoio da lógica difusa como ferramenta auxiliar na tomada de decisão, atingiu o seu objetivo, que era o de ranquear as alternativas dos possíveis locais para a instalação da indústria de usinagem em ordem prioritária, a partir da análise de prioridades gerada pelos atributos e subatributos definidos pela equipe responsável pela tarefa, em conformidade com a estratégia da empresa.

O resultado obtido levou em consideração quatro localidades em potencial selecionadas pelos executivos da própria empresa, e seis atributos principais considerando para cada atributo um nível de preferência diferenciado, por meio da escala fundamental de Saaty para julgamentos comparativos, a qual auxilia a distinguir a importância de cada um. A adição da incerteza ao problema através da lógica difusa, resultou em uma distribuição de sobreposição dos valores de importância comparados adicionando equilíbrio aos critérios comparados.

Destaca-se que os critérios matéria prima e mão de obra, foram decisivos para o resultado obtido, todavia, é importante ressaltar que o método aplicado serve como um auxílio na decisão, e observa-se que pela proximidade dos valores dos resultados uma análise de sensibilidade pode ser sugerida para a empresa. Cabe ainda, aos analistas e gestores avaliarem os resultados como um todo, utilizando a ferramenta para otimizar suas tarefas e encontrar melhores formas de selecionar os fornecedores, podendo proporcionar bons negócios e parcerias, gerando vantagens competitivas para a organização.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- [1] Akgüna, İ.; Erdalb, H. Solving an ammunition distribution network design problem using multi-objective mathematical modeling, combined AHP-TOPSIS, and GIS. *Computers & Industrial Engineering*, S.I, v. 129, n. 1, p.512-528, mar. 2019.
- [2] Chien-Chang Chou and Ker-Wei Yu, "Application of a New Hybrid Fuzzy AHP Model to the Location Choice," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, Article ID 592138, 12 pages, 2013.
- [3] H.-Y. Wu, G.-H. Tzeng, And Y.-H. Chen, "A fuzzy MCDM approach for evaluating banking performance based on Balanced Scorecard," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 6, pp. 10135–10147, 2009.
- [4] Carvalho, K. M. De.; Pessoa, L. C. Classificação de projetos: um estudo da aplicação do método AHP. *Revista Gestão e Projetos - GeP*, v.3, n.1, p. 280-298, jan./abr. 2012.
- [5] Fontanive, F., Corso, L. L., Zeilmann, R. P. B., & Biasin, R. N. (2017). Aplicação do Método de Análise Multicriterial AHP como Ferramenta de Apoio a Tomada de Decisão. *Revista Espacios*, 2017.
- [7] Gomes, L. F. A. M.; Araya, M. C. G.; Carignano, C. Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

Tradução de: Marcela Cecília González Araya.

- [8] LAI, Chyh-ming. Integrating simplified swarm optimization with AHP for solving capacitated military logistic depot location problem. *Applied Soft Computing*, [s.l.], v. 78, n. 1, p.1-12, maio 2019.
- [9] R.-H. Chiu, L.-H. Lin, and S.-C. Ting, "Evaluation of green port factors and performance: a fuzzy AHP analysis," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2014, Article ID 802976, 12 pages, 2014.
- [10] Baswaraj A.; Rao, M. S.; Pawarc P. J. Application of AHP for process parameter selection and consistency verification in secondary steel manufacturing. *Materials Today: proceedings*. v. 5, p. 27166-27170 – 2018.
- [11] Geng, Z.; Li, H.; Zhu Q.; Han Y. Production prediction and energy-saving model based on Extreme Learning Machine integrated ISM-AHP: Application in complex chemical processes. *Energy*, v. 160, p. 898-909, 2018.
- [12] Meshram, S.G.; Alvandi, E.; Singh, V.P.; Meshram, C. Comparison of Ahp And Fuzzy Ahp Models for Prioritization of Watersheds. *Soft Comput. Fusion Found. Methodol. Appl.* 2019, 23, 13615–13625.
- [13] Singh, D.K.; Kaushik, P. Framework for Fuzzy Rule Based Automatic Intrusion Response Selection System (Frairss) Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Fuzzy topsis. *J. Intell. Fuzzy Syst.* 2018, 35, 2559–2571.
- [14] Jovicic, S.; Prusa, P.; Samson, J.; Lazarevic, D. A Fuzzy - AHP Approach to Evaluate the Criteria of Third-Party Logistics (3pl) Service Provider. *Int. J. Traffic Transp. Eng.* 2019.
- [15] Wang, H.; Zhang, J. Research on Performance Evaluation of Leisure Agriculture Supply-Side Structural Reform with Interval-Valued Dual Hesitant Fuzzy Linguistic information. *J. Intell. Fuzzy Syst.* 2019, 37, 1801–1808.
- [16] Saaty, T. L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [17] Marjanovic, M.; Caha, J. *Fuzzy Approach Landslide Susceptibility Zonation*. 2011.
- [18] Corrêa, C. A., & Corrêa, H. L. *Administração de produção e operações: manufatura e serviços- uma abordagem estratégica (2. ed.)*. São Paulo: Atlas. 2006.
- [19] Peinado, J., & Graeml, A. R. *Administração da produção: operações industriais e de serviços*. Curitiba: UnicenP. 2007.
- [20] Jana Krejci and Jan Stoklasa, "Aggregation in the analytic hierarchy process: Why weighted geometric mean should be used instead of weighted arithmetic mean". *Expert Systems With Applications*, p. 97-106, jul. 2018.
- [21] Handy A. Taha, "Pesquisa Operacional," Pearson, 2007.
- [22] Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2001). "Models, Methods, Concepts Applications of the Analytic Hierarchy Process". Springer, 2012.