

INSTALAÇÃO DE UMA FABRICA DE PRODUÇÃO DE AÇÚCAR DE BETERRABA USANDO AHP

Installation of a sugar beet production plant using AHP

Filipe Montez Coelho Madeira

Escola Superior de Gestão e Tecnologia do Instituto Politécnico de Santarém, Portugal

filipe.madeira@esg.ipsantarem.pt

Carlos Manuel Cordeiro Pedro

Escola Superior de Gestão e Tecnologia do Instituto Politécnico de Santarém, Portugal

170100286@ @esg.ipsantarem.pt

Florival António de Sousa Feliciano

Escola Superior de Gestão e Tecnologia do Instituto Politécnico de Santarém, Portugal

170100289@esg.ipsantarem.pt

João Diogo Fidalgo Castelo

Escola Superior de Gestão e Tecnologia do Instituto Politécnico de Santarém, Portugal

170100290@esg.ipsantarem.pt

RESUMO

Uma dada organização, sociedade anónima, desenvolve atividades agroindustriais, nomeadamente, a refinação de açúcar e a sua comercialização, bem como dos demais produtos derivados. As suas operações são asseguradas através da sua unidade fabril, sediada em Portugal e de uma sucursal em Espanha.

Em 2017, foi introduzida uma nova regulamentação para o mercado de açúcar da União Europeia deixando de existir quotas de produção e comercialização, permitindo assim aos produtores europeus produzirem em mercado aberto. Uma das principais consequências desta medida, em Portugal, foi o aumento de 17% da área cultivada de beterraba branca, no período de 2016 para 2017.

Neste quadro de expansão, este trabalho visa avaliar a decisão sobre a melhor localização para a instalação de uma nova fábrica de produção de açúcar de beterraba, em Portugal.

Como o problema de localização representa uma das mais importantes questões estratégicas enfrentadas pelos decisores, a escolha do local para instalação de uma fábrica é sempre uma decisão chave. Portanto, quer a seleção de critérios de julgamento, como a própria avaliação das alternativas no processo de escolha da melhor localização, são elementos críticos.

Para apoio à decisão e considerando este problema complexo, com múltiplos critérios, foi adotado um dos métodos existentes e adequados a este tipo de problemas – o Método de Análise Hierárquica (AHP).

Em 1980, o professor L. Saaty da Universidade de Pittsburgh, criou o Método de Análise Hierárquica. Este permite o uso de critérios qualitativos bem como quantitativos no processo de avaliação. O princípio básico do AHP é dividir o problema de decisão em vários níveis hierárquicos, e descobrir a relação entre eles, determinando a importância relativa de cada critério, em cada nível hierárquico, por comparação. As principais etapas do método AHP são as seguintes: construção da hierarquia de decisão (objetivo, critérios e alternativas); estabelecimento da matriz de comparação (em pares) usando a Escala Fundamental de Saaty; obtenção da prioridade relativa de cada critério (inclui a normalização de valores e obtenção do vetor de prioridades); avaliação da consistência das prioridades relativas; construção da matriz de comparação paritária para cada critério, considerando cada uma das alternativas selecionadas e por fim, obtenção da prioridade composta para as diferentes alternativas.

Neste caso de estudo, as alternativas eram as localidades de Beja, Coruche e Elvas. Foram identificados sete critérios, todos num mesmo nível: proximidade dos fornecedores; disponibilidade de área de cultivo; proximidade dos mercados consumidores em Portugal; proximidade dos mercados consumidores em Espanha; rendimento; investimento em infraestruturas e por último a proximidade à assistência técnica. O resultado obtido através da aplicação do método AHP, determinou como primeira opção de localização Beja, de seguida Coruche e, por último, Elvas. Na comparação entre os pesos relativos, dados os critérios, o fator preponderante foi a disponibilidade de área de cultivo com 31%, seguido da proximidade ao mercado de consumo em Portugal com 20%.

A definição deste modelo permitiu auxiliar a decisão, eventualmente suportada num outro conjunto de fatores característicos deste tipo de processo de decisão, complexo, onde aspetos financeiros, políticos se interrelacionam.

Palavras-chave: AHP, priorização de alternativas, multicritério, problemas de decisão, fábrica de açúcar de beterraba

ABSTRACT

One real organization has as main activity the development of agro-industrial activities, namely, the refining of sugar and its commercialization, as well as derivatives products, with operations that are carried out through its manufacturing unit. Its headquarter is in Portugal and it has a branch office in Spain. In 2017, new regulations were introduced for the European Union sugar market, leaving production and marketing without quotas. One of the main consequences of this measure in Portugal was the increase of 17% of the cultivated area of white beet in 2017.

In this work, we aim to evaluate the best location for the installation of a new beet sugar production plant in Portugal. Because the location problem is one of the most important strategic issues faced by decision-makers, deciding where to locate a plant is always a key decision. Therefore, the selection of judgment criteria, as well as the evaluation of alternatives, are critical elements in the process of choosing the best location. When considering this complex problem with multiple criteria, one of the existing and adequate methods to support the decision is the Hierarchical Analysis Method (AHP), which was created in 1980 by Professor L. Saaty of the University of Pittsburgh. This method allows the use qualitative and quantitative criteria in the evaluation process. The basic principle of AHP is to divide the decision problem into several hierarchical levels, and to discover the relationship between them, by determining the relative importance of each criterion, at each hierarchical level, by comparison. The main steps of the AHP method are as follows: construction of the decision hierarchy (objective, criteria and alternatives); establishment of the comparison matrix (in pairs) using the Saaty Fundamental Scale; obtaining the relative priority of each criteria (including normalization of values and obtaining priority vector); assessing the consistency of relative priorities; constructing a parity comparison matrix for each criteria, considering each one of the selected alternatives and, finally, obtaining the composite priority for the different alternatives.

In this case study, the alternatives are the localities of Beja, Coruche and Elvas. Seven criteria were identified, all on the same level: proximity to suppliers; availability of crop area; proximity of consumer markets in Portugal; proximity of consumer markets in Spain; yield; investment in infrastructures and finally the proximity to technical assistance. The result obtained through the application of the AHP method, determined as the first location option Beja, then Coruche and finally Elvas. In the comparison between the relative weights, given the criteria, the predominant factor was the availability of cultivation area with 31%, followed by proximity to the consumer market in Portugal with 20%.

The definition of this model helped the decision, which could be certainly supported by another set of factors, frequently founded in this type of complex decision process, where financial and political aspects interrelate.

Keywords: AHP, decision problems, multicriteria, prioritization of alternatives, sugar beet production plant localization

1 INTRODUÇÃO

No período de 1996 a 2006, o cultivo de açúcar de beterraba em Portugal foi considerado um caso de sucesso, tendo apresentado grande qualidade e níveis de produtividade acima da média europeia, tendo permitido que durante esses anos as importações desse produto fossem bastante reduzidas.

A partir de 2007 e com a aplicação das novas regras da Política Agrícola Comum (PAC), as quotas portuguesas de produção de açúcar de beterraba foram reduzidas drasticamente, a ponto de levar ao abandono total do seu cultivo e ao insucesso das tentativas de dinamização da sua produção. Ao longo dos anos, foram apresentadas algumas propostas governamentais, no sentido de negociar o aumento das quotas de produção, mas sem sucesso. Finalmente, em outubro de 2017, a nova regulamentação do mercado de açúcar da União Europeia retirou os limites de quotas de produção. Uma das primeiras consequências dessa medida foi o aumento em 17% da área cultivada de beterraba branca, no período de 2016 para 2017.

Neste contexto expansivo uma empresa com peso significativo no setor, em Portugal, pretende aumentar a sua capacidade produtiva: Para tal, necessita de avaliar qual o melhor local para instalar uma nova fábrica de produção de açúcar de beterraba, em Portugal.

Como o problema de localização representa uma importante questão estratégica, quer a seleção de critérios, como a avaliação das alternativas se constituem como elementos críticos. O decisor identificou sete critérios, designadamente: proximidade dos fornecedores; disponibilidade de área de cultivo; proximidade dos mercados consumidores em Portugal; proximidade dos mercados consumidores em Espanha; rendimento; investimento em infraestruturas e por último a proximidade à assistência técnica. As alternativas a considerar para a instalação uma nova fábrica de produção de açúcar de beterraba são as localidades de Beja, Coruche e Elvas.

Para apoio à decisão e considerando este problema complexo, com múltiplos critérios, neste estudo foi adotado o Método de Análise Hierárquica (AHP - *Analytic Hierarchy Process*).

2 O MÉTODO AHP

Segundo Costa (2006), a análise multicritério busca a modelagem e solução de problemas com múltiplas opções, critérios e importância relativa distintas, sendo um instrumento poderoso no âmbito da tomada de decisão por hierarquias. Trata-se de uma metodologia estruturada para lidar com decisões complexas, e que ajuda a encontrar, dentro das alternativas, a que melhor se adequa às necessidades e compreensão do problema. Para se tomar uma decisão de forma organizada e determinar prioridades usando o método AHP é necessário desdobrar a decisão nos seguintes passos:

1. Definir o problema e determinar o tipo de conhecimento pretendido;
2. Estruturar a decisão de forma hierarquizada, contendo, no início, o objetivo da decisão, seguido dos critérios (de uma perspectiva mais ampla). Nos níveis intermédios dispõem-se os critérios dos quais os elementos subsequentes dependem, conforme a complexidade do problema, e no nível inferior dispõem-se as alternativas em análise, sujeitas ao processo decisório. Esta estrutura possibilita uma visualização gráfica do problema e orienta os especialistas sobre a comparação par a par, ou comparações paritárias, que devem ser feitas para que se obtenham as prioridades de um subatributo em relação a outro. Saaty e Vargas (2001) explicam que atribuir preferência a um elemento envolve explicitar julgamentos referentes a questões de dominância de um elemento sobre outro quando comparados a uma prioridade.
3. Construir um conjunto de matrizes de comparação de pares de elementos, em que cada elemento num nível superior é utilizado para comparar os elementos imediatamente abaixo, aos quais dizem respeito. Recai assim na comparação das alternativas com os critérios. Uma vez que o problema é decomposto e a hierarquia é construída, começa o processo de ordenação dos critérios a fim de determinar a importância relativa dentro de cada nível. A comparação e atribuição de importância começa no segundo nível e termina no nível mais baixo.

	Critério 1	Critério 2	Critério 3
Critério 1	1		
Critério 2		1	

Critério 3			1
------------	--	--	---

Tabela 1 - Modelo da matriz de prioridades dos critérios - Adaptado de Saaty (1991)

	SC 1	SC 2	SC 3	SC 4
SC 1	1			
SC 2		1		
SC 3			1	
SC 4				1

Tabela 2 - Modelo da matriz de prioridades dos subcritérios - Adaptado de Saaty (1991)

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1		
Alternativa 2		1	
Alternativa 3			1

Tabela 3 - Modelo da matriz de prioridades das alternativas - Adaptado de Saaty (1991)

- Estabelecem-se as prioridades e atribuem-se as cotações, através da elaboração de vários julgamentos baseados em comparações de pares de elementos, de modo a obter uma prioridade global. Para realizar as comparações é necessária uma escala numérica (relativa) que indica quantas vezes um elemento é mais importante ou dominante relativamente a outro elemento, de acordo com o critério referente ao qual estão a ser comparados. Assim, a cotação é atribuída de acordo com o definido na escala seguinte:

TABELA: ESCALA FUNDAMENTAL DE SAATY (1980)

1	Igual importância	As duas escolhas contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o juízo favorecem uma escolha em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência ou juízo favorece fortemente uma escolha em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma escolha é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma escolha em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Figura 1 - Escala fundamental para julgamentos comparativos - adaptado de Saaty & Vargas (2001).

As prioridades de um critério sobre outro ou de uma alternativa sobre outra são estabelecidas através de comparações par a par fundamentadas na observação de um especialista, que determina a importância relativa entre eles. Saaty & Vargas (2001) sustentam que através das comparações por pares, as prioridades avaliadas pelo AHP capturam medidas subjetivas e objetivas e demonstram a intensidade de domínio de uma alternativa sobre outra. As comparações par a par são convertidas em valores numéricos numa série de matrizes quadradas, usando uma escala fundamental de valores que representam a intensidade dos julgamentos comparativos.

5. De seguida é necessário criar um processo matemático para normalizar e definir os pesos relativos para cada matriz. Os pesos relativos (w) são obtidos pela divisão do elemento que corresponde à maior importância ($\lambda_{máx}$), onde λ_i , corresponde ao grau de importância de cada alternativa como: $w \times A = w \times \lambda_{máx}$. Se as comparações das importâncias são completamente coerentes, a matriz A tem classe 1 e $w \times \lambda_{máx} = n$. Neste caso, os pesos podem ser obtidos por normalização de uma linha ou coluna da matriz A (Wang & Yang, 2007). Note-se que a consistência dos julgamentos obtidos através do AHP está estritamente relacionada com as comparações das importâncias. A consistência é definida pela relação entre as entradas de: $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$. O Índice de Consistência (CI) é dado por Saaty (1991): $CI = (\lambda_{máx} - n) / (n - 1)$. Sendo o AHP baseado em comparações paritárias por decisores que julgam preferências entre alternativas usando critérios diferentes, ainda que estes possuam conhecimento e experiência, podem ocorrer inconsistências principalmente quando existir um grande número de comparações a serem feitas no modelo. Sendo assim, é importante que haja uma forma de validar os julgamentos e assegurar que eles são consistentes, de modo que um conjunto de comparações paritárias seja consistente com um outro conjunto de comparações.
6. Finalmente o rácio RC (Razão de Consistência), permite concluir sobre a coerência das avaliações. É calculado como a razão CI / RI , onde os valores do índice aleatório (RI) são obtidos da tabela seguinte:

Ordem da matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valores de RI	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tabela 4 - Valores de RI - Fonte: Gass e Rapsacák (2004).

O valor 10% é o limite superior aceite para RC. Se o RC exceder esse valor, o procedimento de avaliação deve ser repetido para melhorar a coerência.

De notar que os cálculos matemáticos envolvendo o AHP podem parecer simples num primeiro momento, no entanto, em casos mais complexos, com grande números de critérios e alternativas, as análises e cálculos tornam-se grandes e exaustivos, devendo ser suportados por aplicações informáticas específicas de cálculo.

3 APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

Este estudo foi aplicado por um decisor com o apoio da equipa que o realizou, tendo estabelecido a seguinte hierarquia para a tomada de decisão.

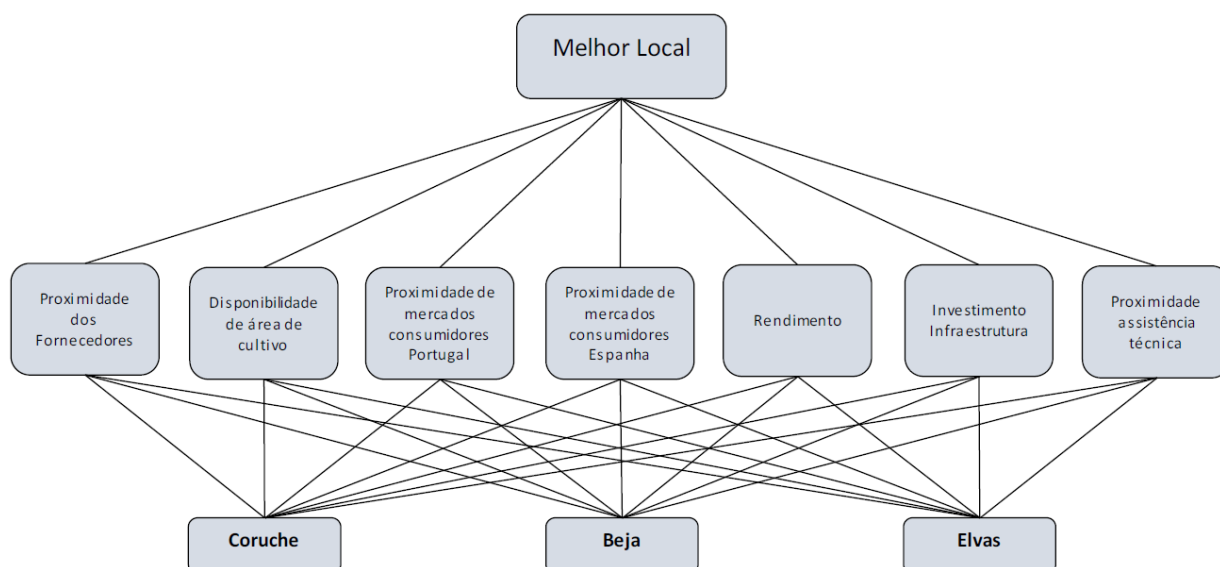


Figura 4 - Hierarquia da tomada de decisão

Na proximidade dos fornecedores, pretende-se avaliar as distâncias (médias) que os fornecedores de beterraba deverão percorrer até à fábrica, tendo o custo deste transporte um impacto bastante grande para o par agricultor-fábrica.

Para a disponibilidade de área de cultivo interessa analisar a disponibilidade de terreno (regadio) adequado para o cultivo de beterraba (envolvendo uma análise complexa, tendo em conta a rotação dos terrenos, água disponível, entre outros...).

No que diz respeito à proximidade de mercados consumidores em Portugal é feita a análise das distâncias (médias) à fábrica para os seus principais clientes. Atualmente é no litoral norte e centro que está a maior concentração de clientes.

A proximidade de mercados consumidores em Espanha, analisa as distâncias (médias) da fábrica aos principais clientes em Espanha.

O critério rendimento está diretamente relacionado com a sacarose nas respetivas áreas de cultivo.

Os investimentos nas infraestruturas representam o custo do investimento (encargos financeiros) a efetuar.

Por último, a proximidade da assistência técnica pretende avaliar as distâncias (médias) que os prestadores de serviço (técnicos de campo, recolha de beterraba) têm que realizar desde os campos de cultivo até à fábrica a instalar.

4 RESULTADOS

A equipa que aplicou o método usou um programa de folha de cálculo para registar as diversas matrizes e efetuar os cálculos. Iniciou-se pelo julgamento dos 7 critérios relativamente a cada uma das 3 alternativas.

Locais	Coruche	Beja	Elvas	Prior. relativa
Coruche	1	1/7	2	0,1497
Beja	7	1	6	0,7513
Elvas	1/2	1/6	1	0,0991
			RC=	7,07%

Tabela 5 – Matriz Comparação das alternativas face ao critério proximidade dos fornecedores

Locais	Coruche	Beja	Elvas	Prior. relativa
Coruche	1	1/2	4	0,3339
Beja	2	1	5	0,5679
Elvas	1/4	1/5	1	0,0982
			RC=	2,13%

Tabela 6 – Matriz Comparação das alternativas face ao critério disponibilidade de área de cultivo

Locais	Coruche	Beja	Elvas	Prior. relativa
Coruche	1	3	2	0,5485
Beja	1/3	1	1/1	0,2106
Elvas	1/2	1	1	0,2409
			RC=	1,58%

Tabela 7 – Matriz Comparação das alternativas face ao critério proximidade aos mercados consumidores em Portugal

Locais	Coruche	Beja	Elvas	Prior. relativa
Coruche	1	2	1/2	0,3119
Beja	1/2	1	1/2	0,1976
Elvas	2	2	1	0,4905
			RC=	4,63%

Tabela 8 – Matriz Comparação das alternativas face ao critério proximidade aos mercados consumidores em Espanha

Locais	Coruche	Beja	Elvas	Prior. relativa
Coruche	1	1/5	1/1	0,1313
Beja	5	1	8	0,7563
Elvas	1	1/8	1	0,1124
			RC=	2,13%

Tabela 9 – Matriz Comparação das alternativas face ao critério rendimento

Locais	Coruche	Beja	Elvas	Prior. relativa
Coruche	1	5	6	0,7320
Beja	1/5	1	1	0,1381
Elvas	1/6	1/1	1	0,1299
			RC=	0,32%

Tabela 10 – Matriz Comparação das alternativas face ao critério investimento em infraestruturas

Locais	Coruche	Beja	Elvas	Prior. relativa
Coruche	1	1/4	1/3	0,1199
Beja	4	1	3	0,6080
Elvas	3	1/3	1	0,2721
			RC=	6,39%

Tabela 11 – Matriz Comparação das alternativas face ao critério de proximidade da assistência técnica

Seguidamente foi feita a análise da comparação entre critérios em relação ao objetivo, tendo-se obtido os dados discriminados na matriz seguinte:

	Prox. dos Forneced.	Disponib. de área de cult.	Prox. mer. Cons. Pt	Prox. Merc. Cons. Esp	Rendimento	Invest. Infraestrutur a	Prox. assistência técnica	Prior. relativa
Prox. dos Forneced.	1	1/4	1	2	5	3	2	0,1754
Disponib. de área de cult.	4	1	1	2	8	7	2	0,3131
Prox. mer. Cons. Pt	1/1	1/1	1	2	4	3	2	0,1997
Prox. Merc. Cons. Esp	1/2	1/2	1/2	1	3	2	2	0,1230
Rendimento	1/5	1/8	1/4	1/3	1	1	1	0,0495
Invest. Infraestrutura	1/3	1/7	1/3	1/2	1/1	1	1	0,0582
Prox. assistência técnica	1/2	1/2	1/2	1/2	1/1	1/1	1	0,0811
							RC=	9,81%

Tabela 12 – Matriz de Prioridade Relativa entre critérios

Por fim, foi calculada a prioridade composta, obtida a partir dos diversos vetores normalizados:

	Prox. dos Forneced.	Disponib. de área de cult.	Prox. mer. Cons. Pt	Prox. Merc. Cons. Esp	Rendimento	Invest. Infraestrutura	Prox. assistência técnica	PRIORIDADE COMPOSTA
Coruche	0,1497	0,3339	0,5485	0,3119	0,1313	0,7320	0,1199	0,3375
Beja	0,7513	0,5679	0,2106	0,1976	0,7563	0,1381	0,6080	0,4707
Elvas	0,0991	0,0982	0,2409	0,4905	0,1124	0,1299	0,2721	0,1917
PESO DOS CRITERIOS	0,1754	0,3131	0,1997	0,1230	0,0495	0,0582	0,0811	

Tabela 13 – Matriz de Prioridade Composta

5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O resultado obtido através da aplicação do método AHP, determinou como primeira opção de localização, Beja, seguida de Coruche e, por último, Elvas. Na comparação entre os pesos relativos, dados os critérios, o fator preponderante foi a disponibilidade de área de cultivo com 31%, seguido da proximidade ao mercado de consumo em Portugal com cerca de 20%.

De realçar que para todas as matrizes a razão de consistência (RC) calculada foi menor que 10%, pelo que a aplicação do modelo pode ser considerada consistente.

Os critérios envolvendo distâncias médias poderiam ter sido analisados de forma objetiva e quantitativa, em vez de se ter optado pelos julgamentos. Outras limitações deste estudo resultam de não ter havido uma análise prévia por parte dos autores sobre os métodos alternativos, bem como da adequabilidade da aplicação do AHP a este tipo de casos em concreto. Sendo uma decisão complexa, poderia a mesma ter sido aplicada a um grupo de decisores.

6 CONCLUSÃO

A aplicação de métodos multicritério como o AHP beneficiam a tomada de decisão e os decisores envolvidos, tendo criado um modelo de análise e de reflexão, constituindo-se como mais uma ferramenta de suporte para o complexo processo de decisão, sobre qual a localização para uma nova fábrica de produção de açúcar de beterraba, em Portugal, por parte da empresa.

Neste caso de estudo, as alternativas eram as localidades de Beja, Coruche e Elvas. Foram identificados sete critérios, todos num mesmo nível: proximidade dos fornecedores; disponibilidade de área de cultivo; proximidade dos mercados consumidores em Portugal; proximidade dos mercados consumidores em Espanha; rendimento; investimento em infraestruturas e por último a proximidade à assistência técnica.

De realçar que para além da priorização dos locais a instalar foi possível obter uma comparação relativa do peso dos diferentes critérios nesta decisão. Assim, o resultado obtido através da aplicação do método AHP, determinou como primeira opção de localização Beja (com 47%), de seguida Coruche (34%) e, por último, Elvas (19%).

7 REFERÊNCIAS

- Costa, H.G. (2006). *Auxílio multicritério à decisão: método AHP*. Latec/Universidade Federal Fluminense - Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO), Rio de Janeiro, 2006.
- Gass, S.I., Rapsák, T. (2004). *Singular value decomposition in AHP*. European Journal of Operational Research, v. 154, n. 3, p. 573-584.
- Saaty, T.L. (1991). *Método de Análise Hierárquica*. Tradução e Revisão por Wainer da Silveira e Silva, São Paulo, McGraw-Hill.
- Saaty, T.L., Vargas, L.G. (2001). *Models, methods, concepts applications of the analytic hierarchy process*. Norwell: Kluwer Academic Publishers. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-1665-1>
- Wang, J.J., Yang, D.L. (2007). *Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information system outsourcing*. Computers & Operations Research, 34(12), 3691-3700.