Análise de Multicritério Aplicada ao Estudo de Alternativas de Controle Ambiental no Setor Agroindustrial: Produção de Queijo Qualho

OLIVEIRA, E. D., ANTUNES, D. E., MENDES, D., DEMETRIO, J. C. C., DEMETRIO, F. J. C.*

a. Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, São Luís - MA

**Corresponding author, fernandojcd@hotmail.com*

Resumo

Este artigo e um estudo de caso que esta sendo realizado no setor de produção Agroindustrial (produção de Queijo Qualho), localizado em São Luis Maranhão. Adotando-se as ferramentas de Analise de Multicritério e Apoio a Decisão, que possibilitou a identificação da melhor alternativa de controle ambiental, cujo propósito também é o registro para a produção, comercialização, viabilidade econômica de novo produto em São Luís, capital do Maranhão. O resultado encontrado foi satisfatório pois os critérios apontaram que o problema do soro a partir do queijo qualho, foi solucionada promovendo a melhor alternativa, a produção de Iogurte, evitando o descarte do soro em lençóis freáticos e solo

Palavras-chave: *multicritério, queijo, controle ambiental, viabilidade*

1. Introdução

O setor agrícola tem grande importância na economia brasileira e suas atividades são desenvolvidas no espaço rural, em áreas que se encontram ocupadas pelo setor primário da economia, no qual se destacam a agricultura, a pecuária e as atividades extrativistas. No entanto, agroindústria brasileira depende, para sua própria sobrevivência, do incremento da tecnologia e da absorção de tecnologia capaz de torná-la competitiva. As vantagens competitivas são adquiridas com a maior capacitação tecnológicas, agilidade de resposta a mudanças de mercado e capacidade de atendimento a rigorosas especificações de atributos dos produtos (GUILHOTO, 2007). Um dos principais setores agroindustriais responsáveis pela crescente valorização das atividades voltadas ao processamento de alimentos é o de laticínios. A indústria de beneficiamento de leite produz diferentes produtos, dentre os quais podemos destacar a produção de queijo.

A produção de queijo de coalho no Brasil é restrito à região Nordeste (LEITE JÚNIOR *et al.,* 2000) e sua produção rural tem participação considerável na economia, colocando-se como extremamente expressiva na formação de renda dos produtores de leite. Um subproduto resultante da fabricação do queijo é o soro de queijo, tecnicamente chamado de "lactossoro", contém,

aproximadamente, uma boa parte dos sólidos presentes no leite também é uma mistura de proteínas, lactose, sais minerais e contém uma pequena quantidade de gordura do leite (BARBOSA, 2010).

Segundo FLORENTINO (2006) citado por BARBOSA (2010) o soro contém em sua composição media, 6,9% de sólidos totais, 0,6% de sais minerais, 0,3% de gordura, 0,9% de proteínas, 5,0% de lactose e 0,1% de acido láctico resultante da fermentação da lactose. Dessa forma, esse volume equivale a aproximadamente 24.300 toneladas de sais minerais, 36.450 toneladas de proteínas, 12.150 toneladas de gordura e 202.500 toneladas de lactose, demonstrando que o problema relacionado à poluição e bem mais sério do que se imagina. O que significa que o descarte do soro sem um tratamento eficiente não e só um crime previsto por lei, mas é também rejeitar um alimento que possui alta qualidade nutricional.

O potencial de poluição do soro de queijo é aproximadamente cem vezes maior do que o de um esgoto. Atualmente, constitui prática adotada pela maioria das usinas brasileiras descartar o soro de queijo, direta ou indiretamente, nos cursos de água. Uma fábrica com produção média de 300.000 litros de soro de queijo por dia polui o equivalente a uma pequena cidade com 150.000 habitantes (TORRES, 1988).

O soro, do ponto de vista biológico, é um dos resíduos mais poluentes, estando sua demanda bioquímica de oxigênio (DBO) entre 30.000 e 60.000 mg/l dependendo do processo específico de produção de queijo utilizado (CONDACK, 1993).

CHIARADI (1999), em seu levantamento bibliográfico, mostrou que são muitas as soluções para melhor valorizar este importante subproduto da fabricação de queijos tais como fabricação de bebidas lácteas, bebidas fermento-destiladas e ricota, mas nenhuma pode ser generalizada, devendo ser estudado cada caso de acordo com o tipo de soro disponível, quantidade e potencial do mercado consumidor. Nesse cenário, observa-se que a análise de multicritério vem sendo utilizada como importante ferramenta quando se dispõe de vários critérios de análise, bem como quando se incorporam variáveis de difícil mensuração. Contudo, objetivou-se com esse trabalho realizar uma análise de multicritério e apoio a decisão aplicada ao estudo de alternativas de controle ambiental no setor agroindustrial de laticínios verificando qual alternativa é mais promissora para o aproveitamento do soro de queijo além de suprir a exigência ambiental dos órgãos fiscalizadores.

2. Materiais e Métodos

Para a realização do trabalho fez-se uso do Analytic Hierarchy Process – AHP,e o software *Expert Choice Decision Making Methodology* ,tendo como base o descarte do soro na produção de queijo coalho e, ainda, sua utilização como matéria-prima na obtenção de novos produtos visando sugerir alternativa de controle ambiental..

A etapa de tomada de decisão foi realizada por meio da aplicação de questionário elaborado pelos autores a partir de modelos disponíveis na literatura com as indicações necessárias a construção da matriz individual de avaliação, incluindo a escala de comparação a ser utilizada, apresentada em SAATY (1991) às pessoas ligadas ao setor de produção: professores da área de Tecnologia de Leite e Derivados, Nutricionistas, Administradores ,Técnicos em Agroindústria e Auxiliares de Produção, totalizando 20 pessoas. Com isso, adotou-se questionário composto por critérios de seleção onde se obteve nota de 1 -9 para todos os critérios analisados, segue tabela abaixo.

O julgamento reflete as respostas de duas perguntas: qual dos dois elementos é mais importante com respeito a um critério de nível superior, e com que intensidade, usando a escala de 1-9, da Tabela 1.

Tabela 1 – Comparações do AHP. (Saaty, 1991)

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i.	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

É importante notar que o elemento mais importante da comparação é sempre usado como um valor inteiro da escala, e o menos importante, como o inverso dessa unidade. Se o elemento-linha é menos importante do que o elemento-coluna da matriz, entramos com o valor recíproco na posição correspondente da matriz. Devido à relação de reciprocidade e à necessidade de consistência entre duas atividades ou critérios, os recíprocos dos valores acima de zero são inseridos na matriz criada quando uma comparação entre duas atividades já foi realizada. O processo é robusto, porque diferenças sutis em uma hierarquia na prática não se tornam decisivas. Na FIG. 1. é apresentado o exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos de acordo com o método AHP. Exemplo:

Matriz A

$$\begin{bmatrix} \text{Iluminação} & A & B & C & D \\ A & 1 & 5 & 6 & 7 \\ B & 1/5 & 1 & 4 & 6 \\ C & 1/6 & 1/4 & 1 & 4 \\ D & 1/7 & 1/6 & 1/4 & 1 \end{bmatrix}$$

Fig. 1. Exemplo de preenchimento da matriz de julgamentos (método AHP)

As posições da diagonal serão sempre 1, afinal, um elemento é igualmente importante a ele mesmo. Para preencher os outros elementos da matriz fora da diagonal, fazem-se os julgamentos e determina-se a intensidade de importância de acordo com a Tabela 1, que apresenta a escala de comparações empregadas no método.

A consistência da matriz deve ser garantida, a partir de uma quantidade básica de dados, todos os outros podem ser logicamente deduzidos. Se A é 5 vezes mais dominante do que B, e A é 6 vezes mais dominante que C, então A=5B eA=6C. Logo, B/ C = 6/5 = posição (B, C). Portanto, se o julgamento da posição(B, C) for diferente de 6/5, então a matriz é inconsistente, como ocorre na Matriz A.

Chan (2004, p. 440-441) resume os passos recomendados para aplicação do AHP da seguinte forma:

(1) Definir o problema e o que se procura saber. Expor as suposições refletidas na definição do problema, identificar partes envolvidas, checar como estas definem o problema e suas formas de participação no AHP.

(2) Decompor o problema desestruturado em hierarquias sistemáticas, do topo (objetivo geral) para o último nível (fatores mais específicos, usualmente as alternativas). Caminhando do topo para a extremidade, a estrutura do AHP contém objetivos, critérios (parâmetros de avaliação) e classificação de alternativas (medição da adequação da solução para o critério). Cada nó é dividido em níveis apropriados de detalhes. Quanto mais critérios, menos importante cada critério individual se torna, e a compensação é feita pela atribuição de pesos para cada critério. É importante certificar-se de que os níveis estejam consistentes internamente e completos, e que as relações entre os níveis estejam claras.

(3) Construir uma matriz de comparação paritária entre os elementos do nível inferior e os do nível imediatamente acima. Em hierarquias simples, cada elemento de nível inferior afeta todos os elementos do nível superior. Em outras hierarquias, elementos de nível inferior afetam somente alguns elementos do nível superior, requerendo a construção de matrizes únicas.

(4) Fazer os julgamentos para completar as matrizes. Para isso, são necessários n (n - 1) /2 julgamentos para uma matriz n x n, sendo n o número de linhas e colunas. O analista ou grupo participante julga se A domina o elemento B. Se afirmativo, inserir o número na célula da linha de A com a coluna de B. A posição coluna A com linha B terá o valor recíproco. Assim prossegue-se o preenchimento da matriz. Os valores inseridos são aqueles da escala de comparação, mostrados na Tabela 1.

(5) Calcular o índice de consistência (IC). Se não for satisfatório, refazer julgamentos.

$$\text{I.C.= Índice de Consistência} = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (1)$$

De acordo com Saaty (1991), para obter-se a consistência de uma matriz positiva recíproca (matriz criada no Passo 4), seu autovalor máximo deveria ser igual a n (dimensão da matriz). No caso de uma matriz consistente, precisamos de n -1 comparações paritárias já que, a partir dessas, as outras podem ser deduzidas logicamente.

O autovetor apresenta a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento. O método da análise hierárquica busca o autovalor máximo, λ max , que pode ser calculado pela multiplicação da matriz de julgamentos A (Passo 4) pelo vetor coluna de

prioridades computado w, seguido da divisão desse novo vetor encontrado, Aw, pelo primeiro vetor w, chegando-se ao valor de λ max .

Cabe lembrar que Aw= λ w e, que no método da análise hierárquica, Aw= λ max w. Para o cálculo de λ max , utiliza-se a fórmula abaixo:

$$\lambda_{\max} = \text{média do vetor } \frac{Aw}{w} \quad (2)$$

Como regra geral, se o índice de consistência for menor do que 0.1, então há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP. Se for maior do que 0.1 recomenda-se que julgamentos sejam refeitos (por exemplo, reescrevendo questões do questionário ou recategorizando elementos) até que a consistência aumente. Saaty (1991) sugere também o uso da Razão de Consistência, que considera o IC e o Índice Randômico (IR), que varia com o tamanho n da amostra.

$$\text{Razão de Consistência} = \frac{IC}{\textit{Índice Randômico}\,(IR)\ \textit{para}\ n}$$

Saaty (1991) propõe uma tabela com os índices randômicos (IR) de matrizes de ordem 1 a 15 calculados em laboratório, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Randômico Médio do AHP. (Saaty, 1991)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Dessa forma, se RC for menor que 0,10, a matriz é considerada consistente.

3 Resultados e Discussão

A distinção entre as metodologias multicritérios e as metodologias tradicionais de avaliação é o alto grau de incorporação dos valores subjetivos dos especialistas nos modelos de avaliação, permitindo que uma mesma alternativa seja analisada de forma diferente de acordo com os critérios de valor individuais de cada especialista. Dessa forma a tomada de decisão pode ser vista como um esforço para tentar resolver problemas de objetivos muitas vezes conflitantes, cuja presença impede a existência de uma solução ótima e conduz a procura de uma solução de compromisso (ZELENY, 1994).

Os critérios abordados foram: custo, tecnologia adotada, investimento requerido e processo de produção. Conforme observa-se na tabela 3 a seguir.

1. Critérios de Avaliação

Tabela 3 – Critérios de Avaliação abordados no trabalho

Critérios	Variáveis	AI
Custo	Custo de Produção	A1
Tecnologia	Tecnologia Empregada	A2
Processo	Processo de Produção	A3
Investimento	Investimento Requerido	A4

Os subcritérios da Tabela 4, têm níveis de Registro para a produção, comercialização, viabilidade econômica e menor Impacto ambiental para Certificação.

2.Critérios de Avaliação

Tabela 4 – Subcritérios de Avaliação

Critérios	Variáveis	EI
Iogurte	Bebidas lácteas	E1
Água Ardente	Fermento-destilado	E2
Ricota	Queijo com baixa gordura	E3

Fig. 3. Hierarquia Gerada

A Figura 4 apresenta, a partir da aplicação de questionário, os resultados da análise de preferência julgadas par a par das variáveis estudadas.

with respect to: Goal: Aproveitamento do Soro

1	Custo de Produção	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tecnologia Empregada
2	Custo de Produção	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Processo de Produção
3	Custo de Produção	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Investimento Requerido
4	Tecnologia Empregada	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Processo de Produção
5	Tecnologia Empregada	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Investimento Requerido
6	Processo de Produção	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Investimento Requerido

Fig. 4. Questionário 1

A Figura 5 apresenta, a partir da aplicação de questionário, os resultados da análise de preferência julgadas par a par das sub-variáveis estudadas. Questionários aplicados aos atores envolvidos no processo.

1	Produção de Bebidas Destiladas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Produção de Ricota
2	Produção de Bebidas Destiladas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	produção de Iogurte
3	Produção de Ricota	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	produção de Iogurte

Fig.5. Questionário 2

Obtidos os resultados das preferências, a Figura 6 apresenta a matriz resultante do julgamento das variáveis.

Compare the relative importance with respect to: Goal: Aproveitamento do Soro

	Custo de P	Tecnologia	Processo d	Investimen
Custo de Produção		3,0	3,0	2,0
Tecnologia Empregada			4,0	3,0
Processo de Produção				4,0
Investimento Requerido	Incon: 0,06			

Fig. 6. Matriz Principal Gerada a em conformidade com a Coleta de Dados

A Figura 7 mostra a matriz resultante das preferências em relação ao critério Custo de Produção.

Compare the relative importance with respect to: Custo de Produção

	Produção d	Produção d	produção d
Produção de Bebidas Destiladas		3,0	2,0
Produção de Ricota			3,0
produção de Iogurte	Incon: 0,05		

Fig. 7. Matriz Secundaria Gerada conforme a Coleta de Dados

A Figura 8 mostra a matriz resultante das preferências em relação ao critério Tecnologia Empregada.

Compare the relative importance with respect to: Tecnologia Empregada

	Produção d	Produção d	Produção d
Produção de Bebidas Destiladas		3,0	2,0
Produção de Ricota			3,0
Produção de Iogurte	Incon: 0,05		

Fig. 8. Matriz Secundaria Gerada a conforme a Coleta de Dados

A Figura 9 mostra a matriz resultante das preferências em relação ao critério Processo de Produção.

Compare the relative importance with respect to: Processo de Produção

	Produção d	Produção d	Produção d
Produção de Bebidas Destiladas		6,0	6,0
Produção de Ricota			2,0
Produção de Iogurte	Incon: 0,05		

Fig. 9. Matriz Secundaria Gerada a conforme a Coleta de Dados

A Figura 10 mostra a matriz resultante das preferências em relação ao critério Investimento Requerido.

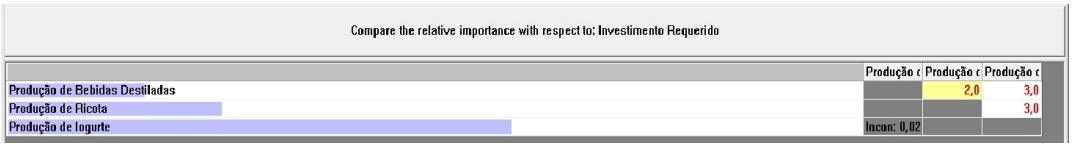

Fig. 10. Matriz Secundaria Gerada a conforme a Coleta de Dados

A Figura 11 apresenta o resultado da prioridade dos decisores em relação as variáveis analisadas

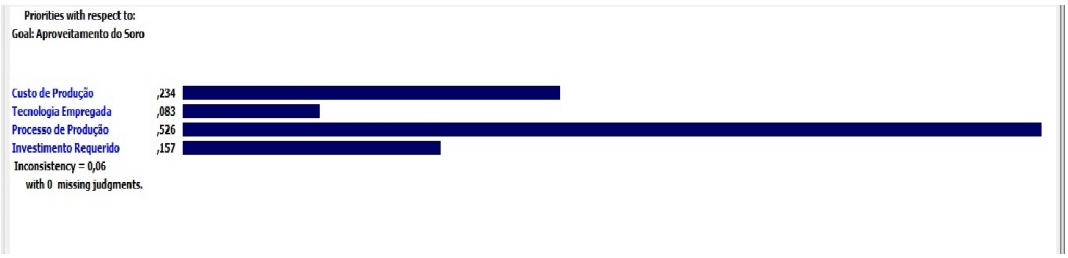

Fig. 11. Resultados da Prioridade

A Figura 12 apresenta o resultado das prioridades dos decisores em relação às sub-variáveis analisadas.

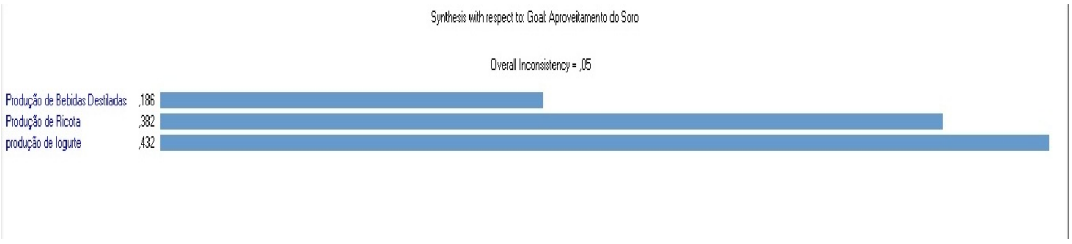

Fig. 12. Gráfico de Prioridades

A Figura 13 mostra até quanto os resultados serão mantidos se alterarmos o grau de preferência em uma das variáveis ou sub-variáveis estudadas.

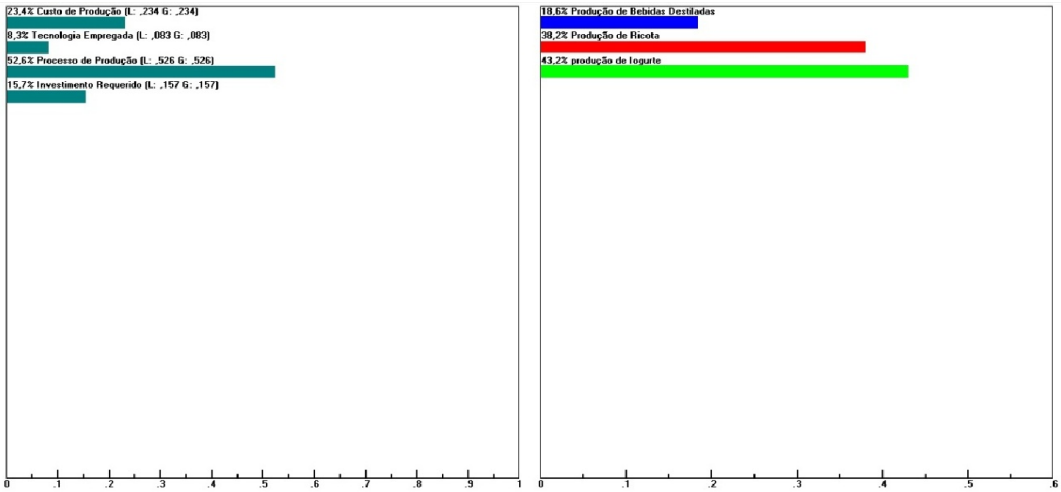

Fig. 13. Análise da Consistência

Como o valor encontrado para a Razão de Consistência foi inferior a 10%, podemos considerar os resultados consistentes.

CONCLUSÃO

Na análise do exemplo aqui exposto, podemos verificar que estão satisfeitas as propriedades indispensáveis ao objetivo do método. Logo o problema do soro a partir do Queijo Qualho, foi solucionada promovendo a melhor alternativa, a produção de Iogurte, evitando o descarte do soro em lençóis freáticos e solo, que poderiam causar impacto significativo ao meio ambiente e propulsionado a melhor alternativa exposta nos critérios para comercialização, produção e viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

BARBOSA ,Antusia dos Santos; FLORENTINO, Eliane Rolim; FLORÊNCIO, Isanna Menezes; ARAÚJO, Alfredina dos Santos. UTILIZAÇÃO DO SORO COMO SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE AGUARDENTE: ESTUDO CINÉTICO DA PRODUÇÃO DE ETANOL. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.5, n.1, p.07 - 25 janeiro/março de 2010.

CONDACK, J. Ultrafiltração do soro de queijo: parâmetros operacionais e utilização do concentrado protéico na fabricação de requeijão cremoso. Tese de mestrado. 120p. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. MG. 1993.

CHIARADIA, A.C.N.; FERREIRA, P.E.. REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO PELO SORO DE QUEIJO. **Anais** do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

GUILHOTO, J. J. M., AZZONI, C. R., SILVEIRA, F. G., ICHIHARA, S. M., DINIZ, B. P. C. e MOREIRA, G. R. C. *PIB da Agricultura Familiar*: Brasil – Estados. NEAD Estudos. Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). Brasília, 2007.

LEITE JÚNIOR, A. F. S. et al. Qualidade microbiológica do queijo de coalho comercializado à temperatura ambiente ou sob refrigeração, em Campina Grande-PB. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v.14, n.74, p. 53-59, 2000.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica.** Rio de Janeiro: Makrom Books, 2Ed. 1991.

TORRES, C. C. Bebidas à base de soro de queijo: caracterização físico-química, microbiológica e sensorial. Tese mestrado. 117p. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. MG. 1988.

ZELENY, M. Six Concepts of Optimality. In: **TIM/ORSA Joint National Meeting**. USA, Boston. 1994.