MODELAGEM MATEMÁTICA DA INFORMAÇÃO: A ENTROPIA COMO MEDIDA DE IMPORTÂNCIA NA ANÁLISE DE PROBLEMAS DECISÓRIOS MULTICRITERIAIS

Nelson Hein[1]

Adriana Kroenke[2]

Moacir Manoel Rodrigues Júnior[3]

Modelagem Matemática

Resumo: Este artigo trata de problemas decisórios em cenários complexos em que muitos critérios estão em tratamento, o peso da importância do atributo (λ_i), conferido ao i-*ésimo* atributo como medida de importância relativa em uma dada situação de decisão, é diretamente relacionada a quantidade de informação intrínseca gerada por um conjunto de possíveis alternativas de cada i-*ésimo* atributo e em paralelo, a subjetividade associada as importância, reflete a cultura, psicologia e meio em que vive o tomador de decisão.

Palavras-chaves: Modelagem matemática. Análise multicritério. Entropia.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, vários tem sido os pesquisadores que aplicaram conceitos da física para explicar fenômenos econômicos criando um novo campo de pesquisa. Várias denominações foram propostas a este novo ramo de conhecimento. Farmer *et al.* (2005) denominaram a vertente como *Economical Physics*. Alternativamente, físicos preferem chamar a linha de *Phynance*, como sendo resultando da junção das palavras: física com finanças. Em uma analogia com os termos da biofísica, geofísica e astrofísica, foi introduzido

[1] Doutor em Engenharia de Produção (UFSC); Professor da Universidade Regional de Blumenau (FURB) hein@furb.br

[2] Mestre em Ciências Contábeis; Professora do Departamento de Matemática da Universidade Regional de Blumenau (FURB); Doutoranda em Métodos Numéricos e Engenharia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR); didlen@terra.com.br

[3] Mestre em Ciências Contábeis; Professor do Departamento de Matemática da Universidade Regional de Blumenau (FURB); Doutorando em Métodos Numéricos e Engenharia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR); moacir_ro@hotmail.com

por Stanley *et al.* (1996) o termo *Econophysics*, que legitima o estudo da economia por físicos.

Um dos conceitos estudados nesta emergente área do conhecimento é a entropia. Os físicos concordam que a entropia é uma categoria central em sua área. Contudo existem muitas definições e interpretações distintas sobre o conceito. Tipicamente é compreendida como uma medida da desordem, incerteza, ignorância, dispersão, desorganização, ou ainda, carência de informação.

Para Ayres (1998) o termo entropia é muito usado, porém pouco estudado. Na interpretação econométrica, Golan (2002) considera que a entropia sobre um sistema econômico é uma medida da ignorância que o pesquisador quer saber daqueles valores momentâneos que representam à essência da população em análise. Allegrini *et al.* (2003) critica o uso e o propósito da entropia como medida de desordem, apontando problemas de subjetividade. Com efeito, o conceito de ordem e desordem que dificulta sua definição e depende de questões que são extraídas do sistema. Contudo, a subjetividade entra no modelo no momento que se escolhe a definição que se quer usar, que dê sustento as questões de interesse. Bais e Farmer (2005) vão mais além quando questionam se é a entropia um atributo subjetivo no domínio do observador ou, se pelo contrário, seja uma propriedade intrínseca do sistema físico.

Com o objetivo de discutir como a entropia pode contribuir no estabelecimento de ordenações (*rankings*), em cenários complexos em que muitos critérios são observados e analisados é que se firma este artigo, fazendo na próxima seção uma discussão do conceito de entropia na física iniciada por Clausius em 1865 (BENTES, *et al*, 2009). Na seqüência a visão de Shannon (1948) na avaliação da informação em transito e por último, porém não menos importante, aplicar um algoritmo derivado de Zeleny (1982) para avaliação de uma situação prática discutida por Hein (2009).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O termo entropia vem do grego “*εντροπία*”, ou seja, *εν* ~ em e *τροπία* ~ movimento. O conceito foi introduzido por Clausius em 1865 (BENTES, *et al*, 2009), para explicar as tendências da temperatura, pressão, densidade e gradientes químicos desaparecerem no tempo. Neste contexto, Clausius desenvolveu a segunda lei da termodinâmica que postula a entropia em um sistema isolado tende a diminuir continuamente até que alcance um valor de equilíbrio. Clausius provou que nesta situação o trabalho atinge um valor mínimo.

Matematicamente, ele descreveu a entropia E, como sendo dada por $dE = \frac{dQ}{T}$, onde dQ representa o calor fluindo e T a temperatura absoluta. Prigogine (1967) enumerou os requisitos que T deve satisfazer:

(i) T é positiva;

(ii) T é uma função universal da temperatura sobre o sistema, medida segundo algum propriedade arbitrária;

(iii) T é uma função crescente da temperatura empírica sobre o sistema.

Clausius não define explicitamente entropia. O que o item (i) permite é a determinação somente das variações de entropia e que, portanto é impossível obter valores absolutos.

Matematicamente, a segunda lei da termodinâmica pode ser expressa como $dE \geq 0$, onde dE=0 se o processo for reversível, e dE>0 se o processo for irreversível, ou seja, quando não é possível fazer um sistema retornar ao estado em que se encontrava antes de uma dada ação ter sido efetuada sobre o sistema fechado.

A estrutura da Segunda Lei da Termodinâmica é dada já na primeira lei, conhecida como Princípio da Conservação de Energia, que postula que a energia total em um sistema é conservado. A existência da conservação da energia em sistemas isolados faz voltar o princípio aos trabalhos de Newton. Os experimentos de Joule mostraram que os fenômenos térmicos são sujeitados as leis da mecânica, ou seja, a Primeira Lei da Termodinâmica determina que dU=dQ-dW, onde dU representa a troca interna de energia, dQ o calor fluindo e dW é o trabalho realizado pelo sistema. Desta equação é possível derivar duas conclusões. A primeira é que em sistemas isolados a energia não muda a outra é relativa ao fato que em processos cíclicos todo trabalho produzido é convertido em calor e *vice-versa*.

Uma interpretação alternativa do conceito de entropia na termodinâmica foi proposta por Ebeling (1992) que considerou que a entropia pode ser expressa em termos de distância do equilíbrio, em que o valor da energia ou sua relativa ocupação no espaço (ou fase) em substituição usual do entendimento de medida de desordem.

Especificamente a contribuição de Shannon (1948) no estudo da entropia ultrapassou os conceitos restritos da termodinâmica e pôde ser aplicada em vários contextos em que probabilidade podem ser definidas. De acordo com Bais e Farmer (2005) a entropia da termodinâmica pode ser vista como sendo um caso especial da entropia de Shannon, sendo suas medidas um conjunto de probabilidades dentro do espaço/estado como um todo. Baseada na fórmula de Hartley (1928), Shannon derivou sua medida de entropia e estabeleceu a Teoria da Informação.

Sejam A={a_1,a_2,a_3,...,a_n} um conjunto discreto finito de elementos e p uma função de densidade de probabilidade sobre. O montante de informação necessária para caracterizar totalmente todos os elementos do conjunto foi definido por Hartley como sendo $I(A_n) = \log_2 n$.

Para uma distribuição de probabilidade $p_i \equiv p(X = i), (i = 1,2,...,n)$ sobre uma dada variável aleatória X, a entropia de Shannon foi definida como segue: $E(X) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \ln p_i$, com a convenção de que $0.\ln\left(\frac{0}{z}\right) = 0$, para z≥0 e que $z.\ln\left(\frac{z}{0}\right) = \infty$.

A razão pela escolha da função logarítmica foi, de acordo com Shannon (1948) por três motivos, a saber: (i) ela é mais usual. Com efeito, parâmetros como o tempo, processamento de sinais, número de substituições, etc., tendem a ser lineares com o uso do logaritmo sobre o número de possibilidades. (ii) é mais próxima a intuição do que propriamente uma medida sendo que intuitivamente induz a uma comparação linear entre critérios comuns. (iii) é matematicamente mais apropriada. Quando analisadas as limitações operacionais, é mais fácil tratar com logaritmos.

Outro fato importante a ser assinalado é o de que $p_i \le 1$, sendo que o logaritmo de uma fração é negativo e que a entropia deve ser positiva, daí o sinal negativo diante da expressão. Caso $p_i = 1$ para dado i, a variável aleatória X assume valores x_i de certeza, e assim E(X)=0.

Shannon (1948) e Khinchin (1949) provaram que a função de entropia é única segundo as seguintes condições:

(1) Para um dado n e $\sum_{i=1}^{n} p_i = 1$ é preciso que E(p_1,p_2,...,p_n) seja máxima para todos os $p_i = \frac{1}{n}$;

(2) A função deve satisfazer E(p_1,p_2,...,p_n,0) = E(p_1,p_2,...,p_n), ou seja, a inclusão de um evento impossível não deve alterar o valor de E;

(3) Se A e B forem dois conjuntos finitos de eventos, não necessariamente independentes, a entropia E(A,B) para a ocorrência conjunta dos eventos A e B é dada pela entropia do conjunto A sozinho, somando-se média ponderada da entropia condicional E_i(B) para B dada a ocorrência do i-ésimo evento em A, ou seja, $E(A, B) = E(A) + \sum_{k} p_i E_i(B)$, onde o evento Ai ocorre com probabilidade p_i.

Dionísio *et al.* (2006, p.31) afirmam que de acordo com "o princípio da entropia máxima e mínima informação é possível encontrar a distribuição de probabilidade que mais se ajusta aos dados", na qual é minimizado o uso inadvertido de qualquer tipo de informação que não a explicitamente a disponível, podendo ser encarado como um ramo da inferência estatística (Maasoumi, 1993).

No caso de variáveis aleatórias X, não negativas e absolutamente contínuas e com função de densidade de probabilidade p, Shannon definiu entropia como sendo: $E(X) = -\int p(x) \ln p(x) dx$, e é sobre este conceito que se apoiará o método a seguir.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Ao tratar de problemas decisórios em cenários complexos em que muitos critérios estão em tratamento, o peso da importância do atributo (λ_i), conferido ao i-*ésimo* atributo como medida de importância relativa em uma dada situação de decisão, é diretamente relacionada a quantidade de informação intrínseca gerada por um conjunto de possíveis alternativas de cada i-*ésimo* atributo e em paralelo, a subjetividade associada as importância, reflete a cultura, psicologia e meio em que vive o tomador de decisão.

Zeleny (1982, p.188) destaca duas componentes na formação do peso λ_i:

(a) Conceito de relatividade estável a priori atribuindo importância w_i, refletindo a cultura individual, cultural, genética, psicológica, social e ambiental (meio);

(b) Relatividade instável, conceito contexto-dependente da importância informacional λ_i, baseado em um conjunto particular de possíveis alternativas, de uma dada situação decisória. Esses pesos são sensíveis a qualquer mudança em ambos os conjuntos X (valores da matriz de decisão) e D (valores normalizados da matriz de decisão), e as flutuações nas quantidades de informação intrínseca gerada por ambos.

A importância do atributo se torna operacional somente se a quantidade intrínseca da informação transmitida para o tomador de decisão do i-*ésimo* atributo pode ser mensurado. Pode-se ajustar uma medida de entropia para concordar com o propósito.

Quanto mais distintos e diferenciados forem os escores, ou seja, quanto maior for o contraste de intensidade entre os valores do i-*ésimo* atributo, maior é a soma da "informação decisória" contida nela e transmitida pelo atributo.

Seja $d_i = \left(d_i^1, d_i^2, ..., d_i^m\right)$ os valores normalizados, onde: $d_i^k = \frac{x_i^k}{x_i^*}$, que caracteriza o conjunto D, em termos do i-*ésimo* atributo. Define-se $D_i = \sum_{k=1}^{m} d_i^k; i = 1,2,...,n$. A medida de entropia do contraste de intensidade para o i-*ésimo* atributo é calculado por $e(d_i) = -\alpha \sum_{k=1}^{m} \frac{d_i^k}{D_i} Ln\left(\frac{d_i^k}{D_i}\right)$, onde $\alpha = \frac{1}{e_{max}} > 0$ e e_{max}=Ln(m). Lembrando ainda que $0 \le d_i^k \le 1$ e $d_i^k \ge 0$. Caso todos os d_i^k forem iguais para um dado i, então $\frac{d_i^k}{D_i} = \frac{1}{n}$ e e(d_i) assume valor máximo, isto é, e_{max}=Ln(m). Ao se fixar $\alpha = \frac{1}{e_{max}}$, determina-se $0 \le e\left(d_i\right) \le 1$ para todos os d_i´s. Essa normalização é necessária para efeito comparativo. A entropia total de D é definida por: $E = \sum_{i=1}^{n} e\left(d_i\right)$.

Há duas observações a serem feitas, a primeira é a de que quanto maior for e(d_i), menor é a informação transmitida pelo i-*ésimo* atributo e a segunda é o caso e(d_i)=e_{max}=Ln(m), então o i-*ésimo* atributo não transmite informação e pode ser removida da análise decisória. Devido ao peso $\tilde{\lambda}_i$ ser inversamente relacionado a e(d_i), usa-se 1-e(d_i) ao invés de e(d_i) e normaliza-se para assegurar que $0 \le \tilde{\lambda}_i \le 1$ e $\sum_{i=1}^{n} \tilde{\lambda}_i = 1$.

Assim: $\tilde{\lambda}_i = \frac{1}{n - E}\left[1 - e\left(d_i\right)\right] = \frac{\left[1 - e\left(d_i\right)\right]}{n - E}$.

Qualquer mudança dinâmica em X ou D pode afastar a decisão do ponto “ideal”. Isso, nesse caso, pode introduzir mudanças nas d_i´s e que causam, correspondentemente, mudanças nas intensidades de contraste relativas.

Mudanças irão refletir um novo conjunto de $\tilde{\lambda}_i$´s, ou seja, a remoção ou adição de uma alternativa pode incrementar a intensidade de contraste e isso produz informação decisória adicional. O oposto também pode ocorrer. A riqueza informacional pode ser diminuída nestes casos. Efeitos similares podem ser removidos ou incluídos.

A menor divergência nos escores de d_i^k farão menores as diferenças entre $\tilde{\lambda}_i$, tornando o i-*ésimo* atributo menos importante. Casos os escores dos atributos sejam iguais, então $\tilde{\lambda}_i$=0.

Ambos os pesos: w_i e $\tilde{\lambda}_i$, são determinantes na importância de modo paralelo. Se w_i=0 então todo $\tilde{\lambda}_i$=1, o que não justifica fazer o i-*ésimo* atributo importante. Se $\tilde{\lambda}_i$=0, então todo atributo com w_i=1 se torna irrelevante para o tomador de decisão.

Uma maneira (hipótese possível) para atribuir importância lado a lado, pode ser formulado por $\lambda_i = \tilde{\lambda}_i w_i$, ou após a normalização: $\lambda_i = \dfrac{\tilde{\lambda}_i w_i}{\sum_{i=1}^{n} \tilde{\lambda}_i w_i}$.

4. UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO

Em novembro de 2008, a região do Vale do Itajaí foi assolada por fortes chuvas. O aumento anormal do volume de precipitação pluviométrica começou a ser sentido a partir de agosto. Devido a fatores geográficos e climáticos, de tempos em tempos as catástrofes se repetem.

Os fatores geográficos decorrem do fato do Vale do Itajaí, em homenagem ao rio que corta a região, se distribuir no sentido leste-oeste, sendo que a jusante do rio encontra-se a leste onde deságua no Oceano Atlântico.

Muitas são as cidades atingidas, muitas são perdas humanas e econômicas, que nesta última somou mais de três bilhões de dólares e mais de uma centena de vítimas. O encontro das massas frias vindas do sul e as correntes da Amazônia que circulam em sentido anti-horário sobre a região, ficaram retidas durante quase quatro meses, fazendo aumentar dia a dia os riscos de enchentes e deslizamentos.

O problema que foi solucionado veio a *posteriori* a aquisição da área de baixo risco (HEIN, 2009), para a construção das 624 moradias. Contudo, os projetos correram em simultâneo. A ferramenta de apoio de decisão teve o trabalho de verificar junto aos órgãos de meteorologia dados sobre a ocorrências das chuvas que ocorrem na região.

As probabilidades de não ocorrer desabamentos e o custo por metro quadrado de cada material formam os critérios à organização deste problema. Os materiais são as alternativas. Assim, o problema se configura como sendo multicriterial com quatro alternativas e quatro critérios. Conhecidos os pesos atribuídos pela equipe de construção a cada critério tem-se configurado um problema, tipicamente se ajustando a problemas decisórios multicriteriais.

Somaram-se a este cenário as enxurradas entre dos dias 22 e 23 de novembro. Sendo que somente nestes dois dias o volume pluviométrico foi de 494,4mm/m^2, sendo que o mês finalizou com 1001,7mm. Obviamente, tratou-se de pontos fora da série temporal (*outliers*). A ocorrência do desastre vai desde motivações geradas pelo fenômeno climático *El Niño*, até resultados do aquecimento global.

Devido a sua posição e dimensão, a cidade mais atingida em termos absolutos foi Blumenau. A cidade com cerca de 300 mil habitantes é cortada pelo Rio Itajaí Açu, ou seja, toda a precipitação (descontados infiltração e evaporação) do vale obrigatoriamente passa pelo centro da cidade.

O número de desabrigados foi elevado, fazendo com que a municipalidade fosse obrigada a destinar áreas de baixo risco para construção de conjuntos habitacionais. A escolha da área livre de risco foi comandado por um grupo de técnicos que envolviam desde corpo financeiro (PMB) e corpo técnico (engenheiros, geólogos e meteorologistas).

Em um dos projetos em andamento, verificou-se a possibilidade da construção de 624 moradias, distribuídos em 78 edifícios de três andares (sem elevador), com quatro apartamentos por andar, sendo que o térreo serve de estacionamento. A construção foi projetada em alvenaria, com portas e janelas em alumínio.

Sabendo que este tipo de desastre se repete de forma aleatória (pelo menos no raciocínio temporal humano), o projeto que levava em consideração os riscos de enchente, enxurradas e deslizamentos, tentou também estabelecer de que tipo de material seria usado na sua confecção. Com feito, o conjunto de medidas que se tomou em Blumenau configura, dentro da teoria dos jogos, um jogo contra a natureza (LINS, 2006).

A questão foi pensada devido aos tipos de chuvas que a região recebe, a saber, a convectiva, frontal e orográfica. Cada uma possui características que exigem do material usado diferentes resistências. O uso de algum deles pode ser mensurado pela probabilidade de não desabamento.

Basicamente, são usados quatro tipos de materiais: tijolo simples (M_1), tijolo de seis furos (M_2), tijolo de oito furos (M_3) e blocos de cimento (M_4). O de modelo simples caracteriza-se por ser maciço, possuir alta resistência, pequeno volume, contudo seu preço é alto. O de seis furos é de tamanho médio, sua resistência baixa devido a sua estabilidade na construção. O mesmo ocorre com o de oito furos, contudo os dois modelos são mais baratos. Os blocos de cimento levam a vantagem por serem mais leves e volumosos, contudo seu vazado não pode se preenchido por concreto em uma construção como essa, pois aumentaria em muito os custos. Enfim, cada material possui suas vantagens e suas desvantagens, sejam elas técnicas e/ou financeiras.

A pergunta de pesquisa deste artigo assim se apresenta: *de que material devem ser feitas ás paredes do conjunto a habitacional que se pretende fazer em Blumenau*?

Os graus de proteção (%) e os preços dos materiais instalados são fornecidos no quadro-1. Estes foram obtidos durante a pesquisa, bem como os pesos dados a cada um deles. Naturalmente o peso dado ao custo por m^2 foi o maior entre os demais.

Quadro-1: Dados técnicos dos materiais e pesos associados

Critérios Alternativas	Convectiva $Pr[C_1]$	Frontal $Pr[C_2]$	Orográfica $Pr[C_3]$	Preço (R$/$m^2$)
M_1	25	45	25	18,90
M_2	30	40	30	16,70
M_3	35	45	30	15,60
M_4	30	25	20	17,80
Peso	2	3	1	4

Fonte: dados da pesquisa

Costumeiramente a matriz de decisão, onde as alternativas estão nas linhas e os estados naturais nas colunas. Os valores nas colunas são divididos pelo maior valor na coluna, ou seja, $d_i^k = \frac{x_i^k}{x_i^*}$. Contudo, o problema que se apresenta é de minimização de riscos e custos, deve-se inverter a identidade de modo que $d_i^k = \frac{x_i^*}{x_i^k}$, obtendo os valores constados no quadro-2.

Quadro-2: Entropia dos dados técnicos

Critérios Alternativas	Convectiva	Frontal	Orográfica	Preço
M_1	1	0,556	0,800	0,825
M_2	0,833	0,625	0,667	0,934
M_3	0,714	0,556	0,667	1
M_4	0,833	1	1	0,876
Soma	3,380	2,737	3,134	3,635

Fonte: dados da pesquisa

Do quadro-2 pode-se calcular que: $\begin{cases} e_{max} = Ln(m) - Ln(4) = 1{,}386 \\ \alpha = \frac{1}{e_{max}} = \frac{1}{1{,}386} = 0{,}721 \end{cases}$

Dividindo todos os elementos das colunas pela sua soma, ou seja, $\frac{d_i^k}{D_i}$ chega-se ao quadro-3:

Quadro-3: Dados técnicos normalizados em relação a entropia.

Critérios Alternativas	Convectiva	Frontal	Orográfica	Preço
M_1	0,296	0,203	0,255	0,227
M_2	0,246	0,228	0,213	0,257
M_3	0,212	0,203	0,213	0,275
M_4	0,246	0,366	0,319	0,241
Soma	1	1	1	1

Fonte: dados da pesquisa

Lembrando que $e(d_i) = -\alpha \sum_{k=1}^{m} \frac{d_i^k}{D_i} Ln\left(\frac{d_i^k}{D_i}\right)$, assim as entropias parciais resultam nos seguintes valores: $e(d_1)$=0,994 $e(d_2)$=0,998 $e(d_3)$=0,989 e, $e(d_4)$=0,998 A soma das entropias parciais resulta na entropia total do sistema, é dada por E=3,979.

Os pesos da importância dos atributos são dada por $\tilde{\lambda}_i = \frac{1}{n-E}[1-e(d_i)]$, logo:

$$\tilde{\lambda}_1 = \frac{1}{n-E}[1-e(d_i)] = \frac{1}{4-3{,}913}[1-0{,}999] = 0{,}286$$

$$\tilde{\lambda}_2 = 0{,}095$$

$$\tilde{\lambda}_3 = 0{,}523$$

$$\tilde{\lambda}_4 = 0{,}095$$

Sabe-se que os pesos iniciais para cada Estado Natural (materiais) foram definidos como valendo w_1=0,2, w_2=0,3, w_3=0,1 e w_4=0,4. Então, lembrando que: $\lambda_i = \frac{\tilde{\lambda}_i w_i}{\sum_{i=1}^{n} \tilde{\lambda}_i w_i}$, podemos calcular:

$$\lambda_1 = \frac{\tilde{\lambda}_i w_i}{\sum_{i=1}^{n} \tilde{\lambda}_i w_i} = \frac{0{,}286 \times 0{,}2}{0{,}286 \times 0{,}2 + 0{,}095 \times 0{,}3 + 0{,}523 \times 0{,}1 + 0{,}095 \times 0{,}4} = 0{,}325$$

$$\lambda_2 = 0{,}162$$

$$\lambda_3 = 0{,}297$$

$$\lambda_4 = 0{,}216$$

Lembrando que, devido ao peso $\tilde{\lambda}_i$ ser inversamente relacionado a $e(d_i)$, usa-se $1-e(d_i)$ ao invés de $e(d_i)$ e normaliza-se para assegurar que $0 \leq \tilde{\lambda}_i \leq 1$ e $\sum_{i=1}^{n} \tilde{\lambda}_i = 1$, calculando as diferenças (d^*-d_i) obtém-se o quadro-5.

Quadro-5: Distância entrópica ao cenário limite.

Critérios Alternativas	Convectiva	Frontal	Orográfica	Preço
M_1	0	0,434	0,200	0,125
M_2	0,167	0,375	0,333	0,066
M_3	0,286	0,434	0,333	0
M_4	0,167	0	0	0,124

Fonte: dados da pesquisa

Multiplicando os desvios $\lambda_i(d^*-d_i)$, tem-se o quadro-6, que pondera os novos pesos dos atributos com as distâncias entrópicas. Nele, cada alternativa é avaliada segundo sua pontuação (média ponderada) ao cenário objetivado, ou seja, maior segurança e menor custo (simultaneamente). Determina-se a maior valor para cada alternativa, sendo que a alternativa que se elege é a que mais se aproxima ao cenário desejado (mínimo). O somatório dos dados e dos quadrados dos mesmos serve de confirmação da alternativa a ser eleita e também como critério técnico para ordenação de alternativas.

Quadro-6: *Maximin* dos valores finais ponderados.

Critérios Alternativas	Convectiva	Frontal	Orográfica	Preço	Max	Σ	$\Sigma\lambda^2(d^*-d_i)^2$
M_1	0	0,070	0,059	0,027	0,070	0,156	0,053
M_2	0,054	0,061	0,099	0,014	0,099	0,228	0,044
M_3	0,093	0,070	0,099	0	0,099	0,262	0,027
M_4	0,054	0	0	0,027	**0,054**	**0,081**	**0,004**

Fonte: dados da pesquisa

Como os valores associados à alternativa-4 são os menores, ela será a alternativa eleita, havendo inclusive um ranking de alternativas, no caso: a_1, depois a_2 e a_3 que aparecem empatados tecnicamente.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A tragédia pela qual passaram várias cidades do Médio Vale do Itajaí pode ser compreendida nas palavras de Cordero (2009, p.36):

> **“**Pois ocorreu uma precipitação que nunca tinha sido registrada na história de Blumenau, neste caso qualquer iniciativa por mais eficiente que se imagina que fosse nunca seria o suficiente para a evacuação das pessoas que habitam em zonas de risco. Podemos dizer que a precipitação altíssima registrada em Blumenau, causou uma catástrofe natural, causando muitos deslizamentos de terra onde centenas de pessoas perderam suas casas e muitas destas perderam também a vida. Certamente esta catástrofe ficará na história de Blumenau, esta cidade já tinha em sua história as grandes enchentes, agora acrescenta os grandes deslizamentos de terras ocorridos no mês de novembro de 2008, que trouxeram grandes prejuízos econômicos, ambiental e perda de vidas humanas.”

Visto que o fenômeno figura como histórico, resta aos responsáveis pela reconstrução dos lares afetados, identificar áreas que possam ser classificadas como de baixo risco e que as construções figurem como sendo mais seguras do que as anteriores, para isso a utilização de materiais seguros às intempéries climáticas da qual a região é sujeitada (no limite).

Este trabalho objetivou apontar para uma classificação de materiais a serem usados na construção de um conjunto habitacional de 620 unidades, que levou em consideração os riscos de desabamentos de paredes no uso de quatro materiais propostos (tijolo comum, tijolo de sés furos, tijolo de oito furos e blocos de cimento). Também foram avaliados tipos de chuva ocorrentes na região: convectiva, frontal e orográfica e os respectivos custos (por metro quadrado) no uso de cada material mencionado.

Trabalhando com o conceito de entropia, foi realizada a análise usando pesos determinados por um grupo de participantes da reconstrução blumenauense. O resultado a questão da pesquisa aponta para o uso de blocos de cimento. Em segundo lugar ficaram os tijolos simples (maciços). Com a avaliação da entropia presente nos dados houve uma readequação dos pesos inicialmente dados a favor da segurança, ou seja, mesmo que o peso maior havia sido atribuído ao custo por m^2 de material, o modelo designou um material resistente e de custo moderado. Como segunda opção o mais caro entre os listados inicialmente, contudo o mais bem avaliado tecnicamente.

6. REFERÊNCIAS

Ayres, R.U. (1998), Eco-thermodynamics: economics and the second law. *Ecological Economics*, 26, p.189-209.

Allegrini, P., **Guintolli**, M., **Grigollini**, P. e **West**, B.J. From knowledge, khowability and the search for objective radomness to a new vision of complexity. *arXiv:cond-mat/0310646* v.1, 2003.

Bais, F.A. e **Farmer,** J.D. The physisics informationtheory on in the light of thermodynamics, statistical mechanics and nonlinear dynamics. *Draft*, 2005.

Bentes, s. e **Manezes**, R. e **Mendes**, D. Entropic measures in nonlinear dynamics. In: Salgueiro, M.F.; Mendes, D. Martins, L.F. (org.). *Temas em métodos quantitativos*. V.6. Lisboa: Sílabo, 2009.

Cordero, A., **Severo**, L.S. e **Silva**, H.S. (2009). Evento de 2008 registrado em Blumenau (SC). In. *Revista da Associação Brasileira de Recursos Hídricos*, p.32-43.

Ebeling, W. (2000). On the relation between various entropy concepts and the valoric interpretation. *Psysica A*, 182, p. 429-439.

Farmer, J.D., **Shubik**, M. e **Smith**, E. Economics: the text physical science? *arXiv:physics/0506086* v1, 2005.

Golan, A. (2002).Information and entropy econometrics Editor´s View. *Journal of Econometrics*, 107, p.1-15.

Hartley, R.V.L. (1928). Transmission of information. In: *Bell Systems Technical Journal*, 7 (3), p. 535-563.

Hein, Nelson e **K**ROENKE, Adriana. (2009). Análise Hierárquica na Avaliação de Áreas para Construção de Conjuntos Habitacionais. In: *ERPOsul*, 2009, Porto Alegre. Anais do ERPOsul.

Khinchin, A.J. *Mathematical foundations of information theory*. New York: Dover Publications, 1957.

Lins, M.P.E. e **Calôba**, G.M. *Programação Linear*. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

Maasoumi, E. e **Racine**, J. (2002). Entropy and predictability of stocks market returns. In: *Journal of Econometrics*, 107, p. 291-312.

Prigogine, I. *Introduction to thermodynamics of irreversible process*. 3a ed., New York: University of Brussels Interscience Publishers, 1967.

Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communications. *Bell Systems Tech*., 27, p. 379-423, 623-656.

Stanley, H.E., **Amaral**, L.A.N. e **Canning**, D., **Gopikrishman**, P., **Lee**, Y. e **Liu**, Y. Economics: can physiscs contribute to the science of economics? *Physica* A, 269, p.156-169, 1996.

Zeleny, M. *Multiple Criteria Decision Making*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1982.