



“As (novas) perspectivas da segurança pública a partir da utilização da Engenharia de Produção.”
Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil – 25 a 27 de Maio de 2022.

PROPOSTA DO FRAMEWORK CRITIC- SMART - ENTRÓPICO PARA ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E ANÁLISE DE RISCO

Eder Costa Cassettari – eder.cassettari@usp.br -

Escola Politécnica – USP / Instituto Militar de Engenharia - IME

Marcos dos Santos – marcosdossantos@ime.eb.br

Instituto Militar de Engenharia – IME

João Benito Savastano– benito@mondial.com.br

Mondial Informática

Resumo: Esta proposta de framework apresenta uma nova solução para Análise de Decisão Multicritério, incluindo a Análise de Risco, com tecnologia de grupo. A área de Administração Estratégica tem como atributo competitivo em relação à Teoria Geral da Administração, TGA, o componente “Análise Ambiental”, que tem por objetivo garantir foco e competitividade para a organização, observando as dimensões Ambiente Geral, Ambiente Operacional e Ambiente Interno. Na prática, dentro das organizações, elas costumam ser muito subjetivas e desprovidas de quaisquer arcabouços científicos e matemáticos de apoio. Este método vem suprir esta lacuna, para dar suporte ao(s) decisor(es) numa tomada de decisão utilizando ciência e facilitando a justificativa da mencionada decisão, permitindo a seleção da melhor alternativa de forma científica, objetiva rápida e assertiva.

Palavras-chaves: Análise de Decisão Multicritério, Administração Estratégica, Método CRITIC, Método CRITIC STRAT G, Análise de Risco



Abstract:

This new framework proposal presents a new solution for Multicriteria Decision Analysis, including Risk Analysis, with group technology. The Strategic Management area has a competitive attribute in relation to the General Management Theory, TGA, the “Environmental Analysis” component, which aims to ensure focus and competitiveness for the organization, observing the General Environment, Operating Environment, and Internal Environment dimensions. In practice, within organizations, they tend to be very subjective and devoid of any supporting scientific and mathematical frameworks. This method comes to fill this gap, to support the decision maker(s) in a decision-making using science and mathematics, facilitating the justification of the mentioned decision, allowing the selection of the best alternative in a scientific, objective, fast and assertive way.

Keywords: Multicriteria Decision Analysis, Strategic Administration, CRITIC Method, CRITIC STRAT G Method, Risk Analysis.

1. Introdução

Frequentemente os tomadores de decisão necessitam exercer esta tarefa, com problemas de estratégia relacionada a seleção ou gestão de novos projetos bem como até o norteammento da organização e aglutinando aspectos relacionados à análise de risco da execução de um projeto ou de um redirecionamento empresarial para atender novas tendências e ou restrições do mercado.

As dificuldades são inúmeras em função da subjetividade relacionada ao assunto, na maioria dos casos. Existe falta de consenso entre os decisores para se chegar a um veredito e da forma que o assunto deva ser conduzido, além da necessidade de argumentos parrudos para o convencimento da direção da organização e acionistas.

Deve ser lembrado que, na maioria das vezes, decisões desse tipo implicam em um impacto financeiro grande para a organização. Esta proposta tem por objetivo dar suporte científico / matemático a uma análise estratégica da organização, utilizando ciência e métodos matemáticos e computacionais para a determinação e justificativa da melhor solução.

2. Problema

Uma nova oportunidade de investimento é detectada dentro da organização. Será necessário fazer a seleção da melhor estratégia, para a condução de um novo negócio, o qual possui vários cenários possíveis que são chamados dentro do arcabouço de Análise de Decisão Multicritério, “alternativas” (GOMES, GOMES, 2019) que compõe o conjunto de soluções possíveis estabelecidas.

Nesta condição será necessário estabelecer quais serão os “critérios de decisão” que deverão ser estabelecidos. Após esta definição, estabelecer como devem ser pontuados e como a divergência entre o entendimento entre os decisores deve ser tratada.

Como é muito comum ter-se, além de múltiplos decisores (normalmente do C-Level, diretores e presidente, várias alternativas possíveis, um método de análise de suporte a decisão devem estar estabelecidos.

A classe de métodos que será selecionado é chamada Análise de Decisão Multicritérios, com decisão de grupo, ou seja, vários decisores ao mesmo tempo trabalhando no processo decisório.

Estabelece-se qual o melhor método a ser utilizado dentre estas restrições estabelecidas de forma a facilitar a tomada de decisão e justificá-la com argumentos auxiliados e baseados em ciência e com ferramental matemático / computacional para robustecê-la e justificá-la, evitando eventuais problemas de aceitação da alternativa final selecionada.

Para esta última etapa foi selecionado o método CRITIC, *Criteria Importance Through Intercriteria Correlation*, proposto por Diakoulaki, Mavrotas e Papayannakis em 1995.

As principais razões desta decisão foram:

- Utilizado principalmente para determinar o peso dos atributos,
- Os atributos não estão em contradição uns com os outros e os pesos dos atributos são determinados usando a matriz de decisão,
- Não há necessidade de independência de atributos;
- Os atributos qualitativos são transformados em atributos quantitativos.

Com relação aos atributos qualitativos, utilizar-se-á a tabela de sete valores, proposta por Miller (1956) para transformá-los em quantitativos.

Este trabalho também leva em consideração os conceitos estabelecidos no Novo Framework CRITIC-STRAT- G, proposto por Cassettari, Santos e Baldini (2021), mas neste novo método o original foi aperfeiçoado e tomando-se mais geral em suas aplicações e trazendo conceitos utilizados em Ciência de Dados, Inteligência Artificial e Ciência Cognitiva.

3. Fundamentação Teórica

Segundo CERTO & PETER (1993), a Administração Estratégica, surgiu na década de 50, com a publicação do relatório Gordon-Howell, no qual havia a recomendação que as escolas de negócios ampliassem seus horizontes com a inserção de uma nova área, uma nova disciplina intitulada “Política de Negócios”.

No decorrer dos anos 60, o curso de política de negócios foi expandido, utilizando-se este novo conceito que é como a empresa se relaciona com seu meio ambiente, juntamente com o desenvolvimento de uma “visão global” da organização, com o objetivo de mostrar como a empresa está atualmente situada e qual será sua condição no futuro, justamente baseando-se na análise do ambiente em que ela se encontra.

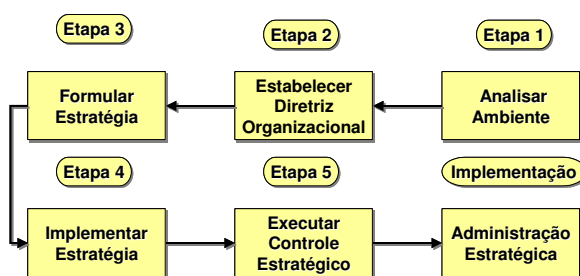
O tratamento da Administração Estratégica como metodologia científica, surgiu no início da década de 60 com as publicações de Igor Ansoff. Nesta mesma época, surge o nome Planejamento Estratégico, e as primeiras confusões sobre ambos os conceitos. O conceito de Estratégia pode ser definido como:

“Estratégia são os planos da alta administração para alcançar resultados consistentes com a missão e objetivos da organização” (WRIGHT et al, 2000).

“Estratégia é uma perspectiva compartilhada pelos membros de uma organização, através de suas intenções e / ou ações” (MINTZBERG, 1994).

Conforme descrito em CERTO & PETER (1993), o processo da Administração Estratégica pode ser didática e esquematicamente visualizado através da figura 1:

FIGURA 1 - Visão geral da Administração Estratégica



Fonte: Adaptado de Certo e Peter (1993)

A Administração Estratégica pode ser definida como “Um processo contínuo e iterativo que visa manter uma organização como um conjunto coeso e apropriadamente integrado a seu ambiente” (CERTO & PETER, 1993). A definição acentua que os administradores se dediquem a uma série de cinco etapas a saber: Realização de uma análise do ambiente,

Estabelecimento da diretriz da organização, Formulação da estratégia organizacional, Implementação da estratégia organizacional e Exercício do controle estratégico.

A Administração Estratégica é um processo cultural, pois tem como objetivo a mudança de mentalidade dentro das organizações, devendo ser incorporada por todos os empregados e principalmente pela alta gerência, enquanto o Planejamento Estratégico é um processo metodológico de Administração Estratégica, constituindo-se de diversas etapas, por lógica, e auxiliada por técnicas diversas como cenários, previsões, simulação entre outras.

A Administração Estratégica e o Planejamento Estratégico trazem muitos benefícios às organizações, em vários campos conforme citados em WRIGHT et al (2000) e MINTZBERG (2000). Os programas de administração e planos operacionais devem ser desenvolvidos para as atividades administrativas e de uso de recursos que quando realizados de acordo com a estratégia, habilitam a empresa como um todo a atingir os objetivos.

Deve ser fornecida informação de controle para prover fatos e valores para ajudar as pessoas a seguirem estratégias, políticas, regras e procedimentos, enfim estarem dentro da nova cultura estabelecida. Medir o desempenho global da empresa em relação aos planos e padrões estabelecidos.

Finalmente a ênfase na Administração Estratégica em avaliar o ambiente posiciona esta disciplina numa situação em que a probabilidade de ser surpreendida pelos movimentos de mercado é menor.

Certo e Peter (1993) descrevem a Análise Ambiental como o processo de monitoramento do ambiente organizacional que tem por objetivo identificar riscos e oportunidades, tanto presentes quanto futuros, que possam influenciar a capacidade das empresas de atingir suas metas, seu propósito de existência.

Portanto, esta etapa mede o grau de adaptabilidade que a organização possui em relação ao ambiente, seleciona as organizações mais adaptadas, fortes, e elimina as menos adaptadas, fracas, o mesmo papel que a natureza desempenha com as espécies, conforme descrito na Teoria da Evolução ou Evolucionismo de Charles Darwin.



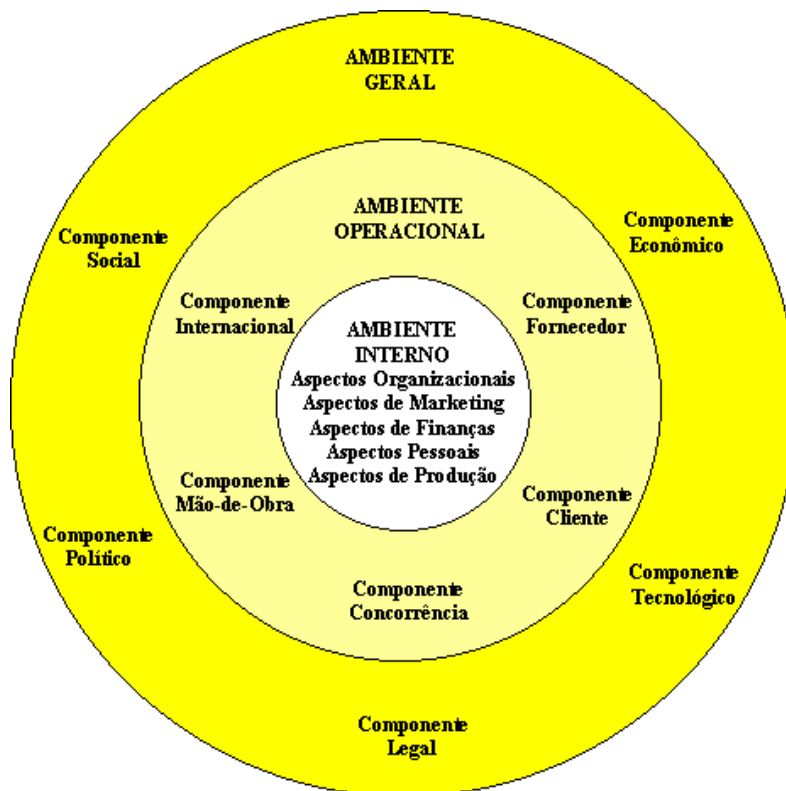
Pode-se abordar a organização como um sistema aberto, constituído por entrada, saída e processamento imerso em um ambiente, que por sua vez pode ser subdividido em outros subsistemas com o mesmo tipo de estrutura.

Tais subsistemas interagem entre si e concorrem para uma única finalidade que por sua vez são monitorados por instrumentos de controle, produzindo novas entradas que serão processadas novamente pelo sistema.

Aqui está sendo utilizado conceitos mencionados na Teoria Geral de Sistemas, TGS. Como a interação do ambiente com o sistema ocorre de forma inevitável, devemos nos assegurar que esta interação seja focada de uma forma a mais positiva possível, para auxiliar no trabalho que contribua para o sucesso organizacional.

A organização pode ser encarada em última análise como um volume de controle imerso em um universo, que chamamos de ambiente, o qual nutre toda a organização que por sua vez lhe fornece uma saída, que será absorvida por ele e também o afetará. A figura 2 ilustra esta divisão:

FIGURA 2 - Níveis ambientais e componentes



Fonte: Adaptado de Certo e Peter (1993)

O exame do ambiente é o processo em que se reúnem informações sobre eventos e suas relações dentro dos ambientes externo e interno das organizações. Após este exame feito, a análise de riscos e oportunidades que é o objetivo primeiro da análise ambiental, na qual serão identificados os fatores que podem afetar o sucesso da organização, a chamada análise S.W.O.T (WRIGHT et al, 2000).

A Previsão Ambiental segundo CERTO & PETER (1993), é o processo para a determinação das condições futuras dentro do ambiente organizacional. Existem muitas técnicas para a sua execução, algumas simples, outras complexas como extrapolação de tendências.

Em termos de métodos para a previsão ambiental existem vários. Escutar a “opinião de um especialista” é um deles. Um outro método é a “extrapolação de tendências”, na qual os pesquisadores preparam curvas ajustadas ao longo do tempo para servirem de base para extrapolação.

A “correlação de tendências” ajuda os pesquisadores a identificar os relacionamentos principais e os secundários que podem ser utilizados na previsão. Na “modelagem dinâmica” são montados conjuntos de equações com o intuito de descrever os sistemas subjacentes. A “análise de impactos cruzados” é utilizada as tendências chave.

Os “cenários múltiplos” utilizam cenários das várias alternativas futuras para se determinar a possibilidade de ocorrência e os respectivos planejamentos de contingência que é o seu objetivo principal. Conforme descrito em Certo e Peter (1993) e Wright et al (2000), a análise ambiental é uma consequência direta da aplicação da Teoria Geral de Sistemas na Administração Estratégica. É o atributo de competitividade da administração estratégica em relação à administração de empresas tradicional.

3.1 O Método de Análise de Decisão Multicritério CRITIC

Conforme mencionado anteriormente, o método CRITIC, *Importance Through Intercreteria Correlation*, foi proposto por Diakoulaki, Mavrotas e Papayannakis em 1995. É utilizado para determinar o peso dos atributos, não há necessidade de independência de atributo, e os atributos qualitativos são transformados em atributos quantitativos. A matriz de decisão é baseada na inserção do método e as alternativas e os atributos são baseados nas informações recebidas do decisor, conforme mostrado na equação abaixo.

$$X = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1j} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{i1} & \cdots & r_{ij} & \cdots & r_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mj} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad \text{onde: } i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$$

Onde r_{ij} indica o elemento da matriz de decisão para i -ésima alternativa em j -ésimo atributo.

Deve-se classificar inicialmente se o atributo é monotônico de Lucro ou Custo. Uma dada função entre dois conjuntos ordenados é monotônica quando ela preserva ou inverte a relação de ordem. Quando ela preserva é chamada de função crescente, ou de Lucro. Quando inverte é chamada de função decrescente ou de custo.

Esta classificação é importante pois enquanto a função monotônica procura um resultado “quanto maior, melhor” a função de custo procura uma “quanto menor, melhor”. Isso altera conceitualmente as operações matemáticas envolvidas no processo de normalização dos dados, conforme será descrito a seguir.

No passo 1 da solução, cria-se a matriz normalizada, utilizando para tal as fórmulas abaixo (1a) e (1b):

Para Critério Monotônico de Lucro

$$X_{ij} = \frac{(r_{ij} - r_i^-)}{(r_i^+ - r_i^-)}, i = 1, 2, \dots, n \text{ e } j = 1, 2, \dots, n \quad (1a)$$

Para Critério Monotônico de Custo

$$X_{ij} = \frac{(r_i^+ - r_{ij})}{(r_i^+ - r_i^-)}, i = 1, 2, \dots, n \text{ e } j = 1, 2, \dots, n \quad (1b)$$

Onde: X_{ij} representa um valor normalizado da matriz de decisão, para i -ésima alternativa em j -ésimo atributo e $r_i^+ = \max (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ e $r_i^- = \min (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$.

Nota Importante - Caso $r_i^+ = r_i^-$, (notas iguais) utiliza-se para $X_{ij}' = X_{ij} + 0.001$, como fator de correção, sendo j o critério afetado. Esta correção não existe no Método CRITIC e foi proposta por Cassettari e Santos (2021) dentro do método CRITIC – STRAT - G

Ela é utilizada para atributos positivos, ou seja, atributo monotônicos de lucro. Nesta análise todos os critérios devem ser os maiores possíveis, pois é desejado que todos os componentes seja os melhores (maiores) possíveis.

No passo 2, pelo método original CRITIC, calcula-se o coeficiente de correlação entre os atributos pela equação abaixo:

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j) \cdot (x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \cdot \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad (2)$$

Onde \bar{x}_j e \bar{x}_k representam a média dos atributos j-ésimos e k-ésimos. \bar{x}_j é calculado a partir de equação (3). Da mesma forma, é obtido para \bar{x}_k . Além disso, ρ_{jk} é o coeficiente de correlação entre os atributos j-ésimo e k-ésimo.

$$\bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij}; \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

Para o método CRITIC – SMART – ENTROPICO, é proposto utilizar-se os conceitos de Entropia propostos por Claude E. Shannon e Warren Weaver no livro “The Mathematical Theory of Communication” publicado em 1949, que é uma metodologia de comparação pareada também, a qual é hoje amplamente utilizada dentro da área de Data Science Inteligência Artificial e Ciências Cognitivas.

Em algoritmos de Árvore de Decisão tal conceito é muito utilizado. Para variáveis podemos fazer cálculos pois temos dados numéricos e fazer por exemplo Regressão como técnica preditiva.

Para valores categóricos, dados do tipo atributo, pode-se fazer classificação, mais conhecida como “Clusterização” ou “Clustering”. Num dado modelo, quanto mais a Entropia (H) aumenta, menor fica a organização do modelo e vice-versa.

Utilizando, portanto, o conceito de Entropia proposto por Shannon (H), temos a equação (1c) abaixo considerando os elementos i e j da matriz de decisão:

$$H_{ij} = -(P_i - \log_2(P_i)) - ((P_j - \log_2(P_j)) \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ e } j = 1, 2, \dots, n \quad (1c)$$

Shannon e Weaver (1949) definem de forma genérica, a equação abaixo (1d) a qual para o caso especial de comparação pareada fornece a equação (1c) a qual é utilizada neste estudo.

$$H_x = - \sum_{x=1}^x (P_i - \log_2(P_i)), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1d)$$

Outro conceito inserido por Shannon e Weaver (1949) é definição de informação: “Informação quantifica a incerteza de um evento”, é uma medida de surpresa”. Matematicamente, dada pela equação (1e)

$$I_x = -(\log_2(P_x)) \quad (1e)$$

No passo 3 calcula-se o índice “C” conforme mostrado a seguir. O desvio padrão de cada atributo é estimado pela equação (4).

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}; \quad i = 1, \dots, m \quad (4)$$

Na sequência, o índice (C) é calculado usando.

$$C_j = \sigma_j \cdot \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}); \quad j = 1, \dots, n \quad (5)$$

No passo 4 é calculado o peso dos atributos. Os pesos dos atributos são determinados pela equação (6).

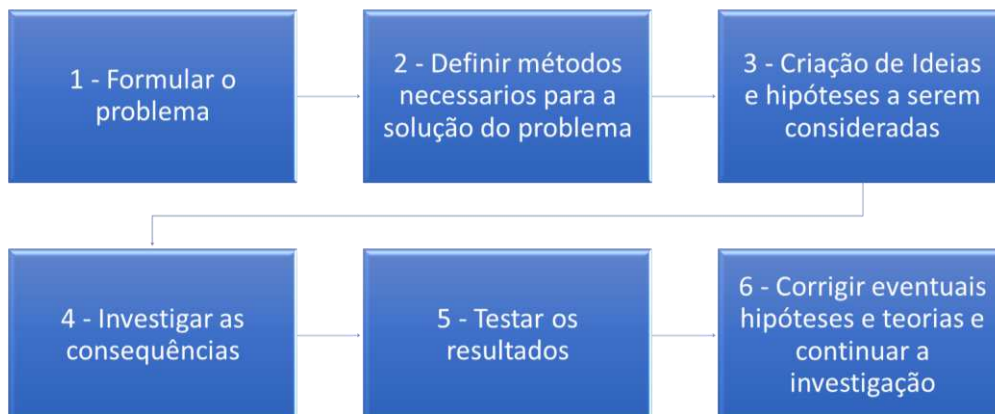
$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j}; \quad j = 1, \dots, n \quad (6)$$

No passo 5, final é determinado o ranking dos atributos e colocados em um gráfico.

3.2. Metodologia a ser utilizada

Para se validar o framework proposto, CRITIC – SMART – Entrópico, foi utilizado Pesquisa Exploratória para criar familiaridade com o tema, Descritiva para uma análise minuciosa e descritiva do objetivo do estudo e finalmente explicativa, detalhando os pormenores do método. Os métodos serão Pesquisa Experimental, Pesquisa Bibliográfica e Estudo de Caso e as técnicas serão a utilização de um algoritmo genético para geração das notas das alternativas para cada um dos critérios, para validar o método através de análise de dados quantitativa. A figura 3 ilustra este processo:

FIGURA 3 - Metodologia utilizada



Fonte: Elaborado pelos Autores

Definição do Problema - Para a validação deste novo framework, será feito um estudo de caso. Será suposto um cenário no qual a organização necessita avaliar um novo projeto que irá fazer um grande impacto no fluxo de caixa.

Hipóteses - O *Senior Management* da organização quer uma análise de riscos do Ambiente Geral, Ambiente Operacional e Ambiente Interno, para garantir o sucesso deste novo empreendimento. Portanto tais dimensões devem ser ranqueadas em ordem de importância para melhorar o foco gerencia durante a execução do projeto e garantir o seu sucesso mesmo que haja restrições de recursos. Todas as decisões devem ser tomadas por um grupo multifuncional composto por representantes de todas as áreas. Irá ser utilizada a tabela Miller de sete pontos conforme mostrado na Tabela 1 abaixo:

TABELA 1 - Tabela de sete pontos de Miller

Tabela de notas	
3	Altamente Importante
2	Muito Importante
1	Importante
0	Neutro
-1	Pouco Importante
-2	Muito Pouco Importante
-3	Altamente Pouco Importante

Fonte: Miller (1956)



Inicialmente todos os decisores devem chegar a um acordo com relação as notas. Pode-se, por exemplo, utilizar um sistema de votação para a definição. Os dados de atributos devem ter seu valor comutado para variável utilizando a tabela 1.

Na sequência os dados devem ser inseridos para o Ambiente Interno, Operacional e Geral, utilizando as dimensões: Organização, Marketing, Finanças, Pessoais, Produção, Fornecedor, Cliente, Concorrência, Mão de Obra, Internacional, Economia, Tecnologia, Legal, Político e Social conforme mostrados na tabela 2.

Cada possível projeto será representado por uma alternativa (Proj01, Proj02, Proj03 e Proj04). Então será calculado o valor máximo e mínimo para cada alternativa dentro de cada critério, conforme a tabela 2.

Para mostrar o alcance do método, além dos atributos da parte de análise experimental, forma utilizadas três variáveis não estratégicas a saber: Investimento em milhões de reais, Custo da Mão de Obra, Custo da Automação.

TABELA 2 – Matriz de Dados

Proposta do Framework CRITIC - SMART - ENTRÓPICO																				
Alternativas	Variáveis Não Estratégicas			VARIÁVEIS ESTRATÉGICAS - Monotônicas e Lucro															SDMA	Ranking Borda
	Lucro	Custo	Custo	Ambiente Interno					Ambiente Operacional					Ambiente Geral						
				Investimento - AI	Marketing - AI	Finanças - AI	Pessoais - AI	Produção - AI	Fornecedor - Op	Cliente - Op	Concorrência - Op	Mão de Obra - Op	Internacional - Op	Economia - AG	Tecnologia - AG	Legal - AG	Político - AG	Social - AG		
Proj 01	40,200	-1,000	0,000	2,000	3,000	0,000	1,000	0,000	-3,000	2,000	0,000	1,000	0,000	0,000	3,000	2,000	0,000	-1,000	10,000	1
Proj 02	26,200	1,000	-2,000	-3,000	-3,000	-2,000	0,000	-3,000	-3,000	0,000	-3,000	-2,000	-1,000	-2,000	2,000	-3,000	0,000	2,000	-21,000	4
Proj 03	31,000	0,000	-3,000	2,000	0,000	-3,000	-3,000	-1,000	-3,000	-2,000	-3,000	0,000	0,000	1,000	0,000	-1,000	3,000	-2,000	-12,000	3
Proj 04	39,900	-2,000	-3,000	1,000	-1,000	-2,000	-3,000	-2,000	1,000	-3,000	1,000	3,000	1,000	2,000	-2,000	-1,000	-2,000	2,000	-5,000	2
Máx	40,200	2,000	2,000	2,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000		
Mín	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000		
Fator de Correção: Todas as notas iguais?	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO		

Fonte: Elaborado pelos Autores

Caso necessário, faz-se a aplicação do fator de correção, como mostrado na tabela 2(a)

TABELA 2(a) – Matriz de Dados com Fator de Correção

Alternativas	Variáveis Não Estratégicas			MATRIZ DE DADOS COM FATOR DE CORREÇÃO															SOMA	Ranking Borda
	Investimento R\$ (milh)	Custo da Mão de obra	Custo da Automação	Ambiente Interno					Ambiente Operacional					Ambiente Geral						
				Lucro	Custo	Custo	Lucro	Lucro	Lucro	Lucro	Lucro	Lucro	Lucro	Lucro	Lucro	Lucro	Lucro	Lucro		
Organização - AI	Marketing - AI	Finanças - AI	Pessoais - AI	Produção - AI	Fornecedor - Op	Cliente - Op	Concorrência - Op	Mão de Obra - Op	Internacional - Op	Economia - AG	Tecnologia - AG	Legal - AG	Político - AG	Social - AG						
Proj 01	40,200	-1,000	0,000	2,000	3,000	0,000	1,000	0,000	-3,000	2,000	0,000	1,000	0,000	0,000	3,000	2,000	0,000	-1,000	10,000	1
Proj 02	34,000	2,000	0,000	-3,000	-3,000	-2,000	0,000	-3,000	-3,000	0,000	-3,000	-2,000	-1,000	-2,000	2,000	-3,000	0,000	2,000	-21,000	4
Proj 03	32,100	3,000	-3,000	2,000	0,000	-3,000	-3,000	-1,000	-3,000	-2,000	-3,000	0,000	0,000	1,000	0,000	-1,000	3,000	-2,000	-12,000	3
Proj 04	32,100	-2,000	-1,000	1,000	-1,000	-2,000	-3,000	-2,000	1,000	-3,000	1,000	3,000	1,000	2,000	2,000	-1,000	-2,000	2,000	-5,000	2
Máx	40,200	2,000	2,000	2,000	3,000	0,000	1,000	0,000	1,000	2,000	1,000	3,000	1,000	2,000	3,000	2,000	3,000	2,000		
Min	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-3,000	-2,000	-1,000	-2,000	-2,000	-3,000	-2,000	-2,000		

Fonte: Elaborado pelos Autores

Então faz-se a normalização dos valores utilizando a equação (1a) e (1b), dependendo se o critério e monotônico de lucro ou custo, mostrada anteriormente na tabela 3

TABELA 3 – Matriz de Dados Normalizados

Alternativas	Variáveis Não Estratégicas			MATRIZ DE DADOS NORMALIZADOS															
	Investimento R\$ (milh)	Custo da Mão de obra	Custo da Automação	Ambiente Interno					Ambiente Operacional					Ambiente Geral					
				Organização - AI	Marketing - AI	Finanças - AI	Pessoais - AI	Produção - AI	Fornecedor - Op	Cliente - Op	Concorrência - Op	Mão de Obra - Op	Internacional - Op	Economia - AG	Tecnologia - AG	Legal - AG	Político - AG	Social - AG	
Proj 01	1,000	0,954	0,931	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000	0,750	0,600	0,500	0,500	1,000	1,000	1,000	0,400	0,250
Proj 02	0,144	0,884	0,931	0,000	0,000	0,333	0,750	0,000	0,000	0,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,800	0,000	0,400	1,000	
Proj 03	0,188	0,861	1,000	1,000	0,500	0,000	0,000	0,667	0,000	0,200	0,000	0,400	0,500	0,750	0,400	0,400	1,000	0,000	
Proj 04	0,188	0,977	0,954	0,800	0,333	0,333	0,000	0,333	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,400	0,000	1,000	
DESVPAD	0,414	0,055	0,033	0,476	0,417	0,419	0,515	0,430	0,500	0,443	0,515	0,416	0,408	0,427	0,443	0,412	0,412	0,515	

Fonte: Elaborado pelos Autores



Calculando-se a Entropia pareada conforme fórmula (1c) para cada par de atributos de decisão, mostrado na tabela 4, e na sequência para (1 – H) na tabela 5:

TABELA 4 - Entropia pareada dos atributos

Tabela	MATRIZ DE ENTROPIA - (H)																	
	Variáveis Não Estratégicas			Ambiente Interno					Ambiente Operacional					Ambiente Geral				
	Investimento R\$ (milh)	Custo da Mão de obra	Custo da Automação	Organização - AI	Marketing - AI	Finanças - AI	Pessoais - AI	Produção - AI	Fornecedor - Op	Cliente - Op	Concorrência - Op	Mão de Obra - Op	Internacional - Op	Economia - AG	Tecnologia - AG	Legal - AG	Político - AG	Social - AG
Investimento R\$ (milh)	0,000	0,205	0,253	0,012	0,000	0,001	0,023	0,002	0,019	0,004	0,023	0,000	-0,001	0,002	0,004	0,000	0,000	0,023
Mão de obra	0,205	0,000	0,048	-0,194	-0,205	-0,205	-0,182	-0,203	-0,187	-0,201	-0,182	-0,205	-0,206	-0,204	-0,201	-0,206	-0,206	-0,182
Automação	0,253	0,048	0,000	-0,241	-0,253	-0,252	-0,230	-0,251	-0,235	-0,249	-0,230	-0,253	-0,254	-0,251	-0,249	-0,253	-0,253	-0,230
Organização - AI	0,012	-0,194	-0,241	0,000	0,052	0,049	-0,026	0,039	-0,017	0,027	-0,026	0,052	0,061	0,042	0,027	0,057	0,057	-0,026
Marketing - AI	0,000	-0,205	-0,253	0,052	0,000	0,000	0,023	0,002	0,018	0,004	0,023	0,000	-0,001	0,001	0,004	-0,001	-0,001	0,023
Finanças - AI	0,001	-0,205	-0,252	0,049	0,000	0,000	0,023	0,002	0,018	0,004	0,023	0,000	-0,001	0,001	0,004	-0,001	-0,001	0,023
Pessoais - AI	0,023	-0,205	-0,230	-0,026	0,023	0,023	0,000	-0,021	-0,005	-0,019	0,000	-0,023	-0,024	-0,022	-0,019	-0,024	-0,024	0,000
Produção - AI	0,002	-0,203	-0,251	0,039	0,002	0,002	-0,021	0,000	0,016	0,002	0,021	-0,002	-0,003	-0,001	0,002	-0,002	-0,002	0,021
Fornecedor - Op	0,019	-0,187	-0,235	-0,017	0,018	0,018	-0,005	0,016	0,000	-0,014	0,005	-0,018	-0,019	-0,017	-0,014	-0,019	-0,019	0,005
Cliente - Op	0,004	-0,201	-0,249	0,027	0,004	0,004	-0,019	0,002	-0,014	0,000	0,019	-0,004	-0,005	-0,003	0,000	-0,005	-0,005	0,019
Concorrência - Op	0,023	-0,182	-0,230	-0,026	0,023	0,023	0,000	0,021	0,005	0,019	0,000	-0,023	-0,024	-0,022	-0,019	-0,024	-0,024	0,000
Mão de Obra - Op	0,000	-0,205	-0,253	0,052	0,000	0,000	-0,023	-0,002	-0,018	-0,004	-0,023	0,000	-0,001	0,001	0,004	0,000	0,000	0,023
Internacional - Op	-0,001	-0,206	-0,254	0,061	-0,001	-0,001	-0,024	-0,003	-0,019	-0,005	-0,024	-0,001	0,000	0,002	0,005	0,000	0,000	0,024
Economia - AG	0,002	-0,204	-0,251	0,042	0,001	0,001	-0,022	-0,001	-0,017	-0,003	-0,022	0,001	0,002	0,000	0,003	-0,002	-0,002	0,022
Tecnologia - AG	0,004	-0,201	-0,249	0,027	0,004	0,004	-0,019	0,002	-0,014	0,000	-0,019	0,004	0,005	0,003	0,000	-0,005	-0,005	0,019
Legal - AG	0,000	-0,206	-0,253	0,057	-0,001	-0,001	-0,024	-0,002	-0,019	-0,005	-0,024	0,000	0,000	-0,002	-0,005	0,000	0,000	0,024
Político - AG	0,000	-0,206	-0,253	0,057	-0,001	-0,001	-0,024	-0,002	-0,019	-0,005	-0,024	0,000	0,000	-0,002	-0,005	0,000	0,000	0,024
Social - AG	0,023	-0,182	-0,230	-0,026	0,023	0,023	0,000	0,021	0,005	0,019	0,000	0,023	0,024	0,022	0,019	0,024	0,024	0,000

Fonte: Elaborado pelos autores

TABELA 5 - Cálculo da tabela (1 – H) para cálculo do Índice (C_j), pesos (W_j) e Ranking

Tabela	MATRIZ (1 - H)																	ANÁLISE			
	Variáveis Não Estratégicas			Ambiente Interno					Ambiente Operacional					Ambiente Geral				Coeficiente (C _j)	Peso (W _j)	Ranking	
	Investimento R\$ (milh)	Custo da Mão de obra	Custo da Automação	Organização - AI	Marketing - AI	Finanças - AI	Pessoais - AI	Produção - AI	Fornecedor - Op	Cliente - Op	Concorrência - Op	Mão de Obra - Op	Internacional - Op	Economia - AG	Tecnologia - AG	Legal - AG	Político - AG				Social - AG
Investimento R\$ (milh)	1,000	0,287	0,257	0,009	-0,003	-0,002	0,020	-0,001	0,015	0,001	0,020	-0,003	-0,004	-0,001	0,001	-0,003	-0,003	0,020	0,7666	0,0058	16
Mão de obra	0,713	1,000	-0,030	-0,278	-0,290	-0,289	-0,267	-0,288	-0,272	-0,286	-0,267	-0,290	-0,291	-0,288	-0,286	-0,290	-0,290	-0,267	-1,2161	-0,0092	18
Automação	0,743	1,030	1,000	-0,248	-0,260	-0,237	-0,258	-0,242	-0,256	-0,237	-0,260	-0,261	-0,258	-0,256	-0,260	-0,237	-0,237	-0,4837	-0,0037	17	
Organização - AI	0,991	1,278	1,248	1,000	0,948	0,951	1,026	0,961	1,017	0,973	1,026	0,948	0,939	0,958	0,973	0,943	0,943	1,026	8,6421	0,0655	15
Marketing - AI	1,003	1,290	1,260	0,948	1,000	1,000	0,977	0,998	0,982	0,996	0,977	1,000	1,001	0,999	0,996	1,001	0,977	1,000	8,7615	0,0664	13
Finanças - AI	1,002	1,289	1,260	0,951	1,000	1,000	0,977	0,998	0,982	0,996	0,977	1,000	1,001	0,999	0,996	1,001	1,001	0,977	8,7643	0,0664	12
Pessoais - AI	0,980	1,289	1,237	1,026	0,977	0,977	1,000	1,021	1,005	1,019	1,000	1,023	1,024	1,022	1,019	1,024	1,024	1,000	8,8870	0,0673	1
Produção - AI	1,001	1,288	1,258	0,961	0,998	0,998	1,021	1,000	0,984	0,998	0,979	1,002	1,003	1,001	0,998	1,002	1,002	0,979	8,7948	0,0666	11
Fornecedor - Op	0,985	1,272	1,242	1,017	0,982	0,982	1,005	0,984	1,000	1,014	0,995	1,018	1,019	1,017	1,014	1,019	1,019	0,995	8,8444	0,0670	2
Cliente - Op	0,999	1,286	1,256	0,973	0,996	0,996	1,019	0,998	1,014	1,000	0,981	1,004	1,005	1,003	1,000	1,005	1,005	0,981	8,8172	0,0668	10
Concorrência - Op	0,980	1,267	1,237	1,026	0,977	0,977	1,000	0,979	0,995	0,981	1,000	1,023	1,024	1,022	1,019	1,024	1,024	1,000	8,8332	0,0669	5
Mão de Obra - Op	1,003	1,290	1,260	0,948	1,000	1,000	1,023	1,002	1,018	1,004	1,023	1,000	1,001	0,999	0,996	1,000	0,977	1,000	8,8290	0,0669	6
Internacional - Op	1,004	1,291	1,261	0,939	1,001	1,001	1,024	1,003	1,019	1,005	1,024	1,001	1,000	0,998	0,995	1,000	1,000	0,976	8,8272	0,0669	8
Economia - AG	1,001	1,288	1,258	0,958	0,999	0,999	1,022	1,001	1,017	1,003	1,022	0,999	0,998	1,000	0,997	1,002	1,002	0,978	8,8283	0,0669	7
Tecnologia - AG	0,999	1,286	1,256	0,973	0,996	0,996	1,019	0,998	1,014	1,000	1,019	0,996	0,995	0,997	1,000	1,005	1,005	0,981	8,8237	0,0668	9
Legal - AG	1,003	1,290	1,260	0,943	1,001	1,001	1,024	1,002	1,019	1,005	1,024	1,000	1,000	1,002	1,005	1,000	0,976	8,8340	0,0669	3	
Político - AG	1,003	1,290	1,260	0,943	1,001	1,001	1,024	1,002	1,019	1,005	1,024	1,000	1,000	1,002	1,005	1,000	0,976	8,8340	0,0669	4	
Social - AG	0,980	1,267	1,237	1,026	0,977	0,977	1,000	0,979	0,995	0,981	1,000	0,977	0,976	0,978	0,981	0,976	0,976	1,000	8,7042	0,0659	14

Fonte: Elaborado pelos autores

Com isso, chega-se ao Ranking de Criticidade para os atributos. Tem-se como resultado do método a tabela 6. Onde mostra uma apresentação mais estruturada dos resultados, colando as dimensões em ordem crescente dos seus pesos (w), e concluindo-se a aplicação deste framework e mostrando sua aplicabilidade em Análise de Risco Estratégico.

TABELA 6 - Ranking Geral das Dimensões dos Ambientes

CRITIC SMART Entrópico	
Dimensão	Ranking de Risco
Pessoais - AI	1
Fornecedor - Op	2
Legal - AG	3
Político - AG	4
Concorrência - Op	5
Mão de Obra - Op	6
Economia - AG	7
Internacional - Op	8
Tecnologia - AG	9
Cliente - Op	10
Produção - AI	11
Finanças - AI	12
Marketing - AI	13
Social - AG	14
Organização - AI	15

Fonte: Elaborado pelos Autores

De forma gráfica temos a figura 4.

Figura 4 - Risco das Dimensões Estratégicas



Fonte – Elaborado pelos Autores

E para a seleção do projeto tem-se a tabela 7 com os pesos:

TABELA 7 – Seleção do projeto

Alternativas	MATRIZ DE DADOS																SMART com CRITIC	Ranking	Borda	CRITIC SMART Entrópico			
	Var. Não Estratégicas			Ambiente Interno						Ambiente Operacional					Ambiente Geral								
	Investimento R\$ (milh)	Mão de obra	Automação	Organização - AI	Marketing - AI	Finanças - AI	Pessoais - AI	Produção - AI	Fornecedor - Op	Cliente - Op	Concorrência - Op	Mão de Obra - Op	Internacional - Op	Economia - AG	Tecnologia - AG	Legal - AG					Político - AG	Social - AG	
Proj 01	1,000	0,954	0,931	2,000	3,000	0,000	1,000	0,000	-3,000	2,000	0,000	1,000	0,000	0,000	3,000	2,000	0,000	-1,000	0,6665	1	1	1	
Proj 02	0,132	0,861	1,000	-3,000	-3,000	-2,000	0,000	-3,000	-3,000	0,000	-3,000	-2,000	-1,000	-2,000	2,000	-3,000	0,000	2,000	-1,4022	4	4	4	
Proj 03	0,201	0,884	0,861	2,000	0,000	-3,000	-3,000	-1,000	-3,000	-2,000	-3,000	0,000	0,000	1,000	0,000	-1,000	3,000	-2,000	-0,8055	3	3	3	
Proj 04	0,118	0,977	0,977	1,000	-1,000	-2,000	-3,000	-2,000	1,000	-3,000	1,000	3,000	1,000	2,000	-2,000	-1,000	-2,000	2,000	-0,3401	2	2	2	
Pesos CRITIC - SMART - ENTRÓPICO	0,0054	-0,0043	0,0001	0,0654	0,0664	0,0664	0,0673	0,0666	0,0670	0,0668	0,0669	0,0669	0,0669	0,0669	0,0668	0,0669	0,0669	0,0669					

Fonte – Elaborado pelos Autores

Seleção: Projeto 01

6 - Resultados e Considerações Finais

Através da metodologia proposta, foi possível chegar aos resultados esperados. Juntando-se os conceitos de Administração Estratégica, especificamente com sua etapa de Análise Ambiental, foi possível se tratar das dimensões que são necessárias na elaboração de uma estratégia robusta, com consenso de todos os decisores envolvidos e ainda reduzir a variabilidade de eventuais subjetividades na avaliação individual de cada dimensão dos Ambientes.

Esta ferramenta mostra um ranking bem definido com apoio de um arcabouço matemático e a opinião de todos os decisores refletida no resultado. Com eles, o *Senior Management* ou o Gerente de Projetos é capaz de trabalhar de forma mais eficiente, focando seus esforços nos lugares certos, fazendo da ferramenta um excelente meio de se verificar potenciais problemas na execução, fazer a Análise de Riscos, e garantir que as decisões sejam facilitadas utilizando uma ferramenta matemática, o que torna a justificativa do resultado muito mais fácil.

Vale ressaltar a inovação proposta no trabalho de se utilizar a Entropia de Shannon (1949) para a comparação pareada dos vetores, ao invés do coeficiente de Correlação proposto no método CRITIC original, bem como a correção para eliminar a limitação matemática quanto atributos e/ou valores são iguais, que vem do método CRITIC-STRAT-G proposto por Cassettari, Santos e Baldini (2021) que também foram utilizados.

Este conceito de Entropia, tem sido largamente utilizado em Ciência de Dados, Inteligência Artificial e Ciência Cognitiva, então naturalmente ele deve permear o campo de aplicação dentro da Pesquisa Operacional para potencializar respostas de Decisão de forma mais rápida e Assertiva.

Mais uma vez está demonstrado a grande aplicação da Ciência de Pesquisa Operacional para a melhoria das organizações, países e, principalmente, a qualidade de vida do ser humano, mais importante ainda agora, com a Indústria 4.0 e a pandemia do SARS-COVID-19, que acelerou o processo de digitalização e utilização das novas tecnologias de Inteligência Artificial, Ciência de Dados, IoT, Simulação, entre outras, e estão fazendo uma nova revolução digital no mundo, muito mais agressiva que a anterior.



REFERÊNCIAS

CASSETTARI, E.; SANTOS, M.; BALDINI, F., Proposta do Framework CRITIC – STRAT -G para Análise de Riscos Estratégicos. **XXVII SIMEP, Simpósio de Engenharia de Produção**, online, 2021

CERTO, S.C. e Peter, J.P - **Administração Estratégica: planejamento e implantação da estratégia**. Makron Books do Brasil, São Paulo, 1. ed 1993.

DIAKOULAKI et al; **Determining objective Weights in multiples criteria problems: The CRITIC method**, Computer Ps, Res, Vol 22, No.7, pp763-770, 0305-0548(94)00059-X, 1995

GLEICK, JAMES, **A Informação: uma história, uma teoria, uma enxurrada**, 1ª Edição, Companhia da Letras, SP, 2013

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S, **Princípios e métodos de tomada de decisão – enfoque multicritério**, 6. ed., Editora Atlas, 2019

MINTZBERG, Henry, **the rise and fall of strategic planning: reconceiving roles for planning**, plans, planners -New York, 1994.

SHANNON, C.; WEAVER, W.; **The Mathematical Theory of Communication**, Printed on Board of Trustees of the Illinois University, 1969

WRIGHT et al, **Administração Estratégica**, Ed. Atlas, São Paulo, 1. ed., 2000