

Aplicação dos métodos CRITIC-WISP na escolha de uma balança rodoviária para uma indústria siderúrgica

Wagner os Anjos Carvalho
wagner.carvalho@mackenzie.br
FPMR

Daniel Gomes Dias
gomesdanieald@gmail.com
FPMR

Adriana Melges Quintanilha Weingart
adrianaweingart@gmail.com
USP ESALQ

Bernardo José Vitor da Silva
bjvsilva@gmail.com
USP ESALQ

Marcos dos Santos
marcosdossantos@ime.eb.br
IME

Resumo: O presente artigo apresenta a aplicação do método de apoio multicritério à decisão na escolha de uma balança rodoviária em uma indústria siderúrgica. A escolha adequada de uma balança rodoviária é essencial para garantir a precisão e eficiência das medições de carga, onde a pesagem correta dos veículos é fundamental para o controle de produção e logística. O método de apoio multicritério à decisão é uma abordagem sistemática que permite avaliar e classificar diferentes alternativas com base em múltiplos critérios. Neste artigo, foram considerados critérios como precisão de medição, capacidade de carga, durabilidade e custo. A fim de aplicar o método de apoio multicritério à tomada de decisão, foram utilizados dois métodos, o método CRITIC e o método WISP. O método CRITIC possibilitou a classificação numérica dos critérios para que através do método WISP eles pudessem ser comparados identificando dentre as alternativas listadas aquelas que melhor atendiam a necessidade. Além disso, a aplicação do método de apoio multicritério à decisão permitiu uma análise mais objetiva e transparente, fornecendo uma estrutura sólida para a tomada de decisão. Este artigo destaca a importância de utilizar abordagens como o método de apoio multicritério à decisão na escolha de equipamentos em indústrias, especialmente quando há múltiplos critérios a serem considerados. A aplicação desse método pode ajudar a identificar a melhor alternativa com base em critérios relevantes do processo e fornecer uma análise mais fundamentada e confiável para a tomada de decisão.

Palavras Chave: MMAD - CRITIC - WISP - BALANÇA RODOVIÁRIA - OPERAÇÃO LOGÍSTICA

1. INTRODUÇÃO

A globalização tornou o mercado mundial sem fronteiras e as empresas cada vez mais expostas a altos padrões de qualidade e produtividade criando uma grande demanda por preços mais baixos.

Com intuito de acompanhar essa tendência, as empresas precisam implementar soluções que alavanquem o negócio. Essa implementação acaba se tornando uma tarefa complexa e, conseqüentemente, de grande criticidade. Tendo em vista que soluções comprometedoras podem levar a organização a perder tempo, investimentos e, em última análise, mercados conquistados à custa de esforços substanciais realizados no passado (PRADO, 2008).

Neste contexto, Fleury (2007) aponta que as organizações necessitam se adaptar às constantes mudanças econômicas, como globalização, aumento da concorrência, maiores exigências dos clientes, inserindo em seu ambiente as inovações tecnológicas, visando gerenciar de maneira mais eficaz as operações logísticas, otimizando seus recursos e reduzindo seus custos, assim como os de distribuição. Nesse sentido, conforme menciona Oliveira (2005), as empresas têm a necessidade de buscar, através da melhoria dos processos das cadeias produtivas, a excelência na qualidade dos produtos, minimizando custos e evitando ao máximo os desperdícios.

Para que se viabilize a implementação das novas soluções demandadas, podem ser utilizados diferentes métodos para auxílio na tomada de decisão. Para melhorar a solicitação dos materiais destinados à produção, garantir a quantidade correta dos insumos, a qualidade dos produtos acabados, diminuição dos custos e conseqüentemente, o aumento do lucro da empresa, é necessário a adoção de técnicas consagradas no meio acadêmico e empresarial.

A Pesquisa Operacional (PO) utiliza a matemática, a estatística e a computação para auxiliar na solução de problemas reais, com foco na tomada das melhores decisões nas mais diversas áreas científicas e de atuação humana, buscando otimizar e melhorar suas performances. De acordo com Passos (2008), os ramos de atuação da PO são diversos, dependendo da natureza e do tipo de problema, existem diferentes técnicas de abordagem envolvendo a modelagem matemática do problema. As vertentes mais difundidas da PO são: Programação linear; programação inteira; programação dinâmica; teoria das filas; teoria dos grafos; simulação e teoria dos jogos.

Dada à relevância, o objetivo deste artigo é aplicar os métodos de apoio multicritério à decisão CRITIC-WISP na escolha de uma balança de uma balança rodoviária para uma indústria siderúrgica. Esse trabalho foi realizado por meio da investigação e análise de como ocorre o processo de escolha das alternativas de mercado e os critérios adotados para aquisição do equipamento, buscando-se a elaboração de uma matriz de decisão, objetivando-se o ranking entre as alternativas escolhidas.

A partir da solução apresentada, espera-se que a empresa efetue a aquisição do equipamento baseado em um método científico, ampliando sua visão de negócio e conseqüentemente conferindo-lhe maior competitividade.

Pretende-se, portanto, verificar a relevância do estudo no setor de produção e logística de distribuição para a empresa, aliado ao teste de eficácia da aplicação do método da pesquisa operacional, mais especificamente o método CRITIC-WISP. Para isso, o estudo é composto de sete partes: introdução, descrição do problema, fundamentação teórica, metodologia, proposta de solução, discussão dos resultados e considerações finais.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A balança rodoviária desempenha um papel essencial no controle, segurança e eficiência no processo siderúrgico. Ela permite pesar com precisão os materiais destinados à produção, garantindo a quantidade correta dos insumos e a qualidade dos produtos acabados. Também ajuda no controle de inventário, facilitando o planejamento e evitando escassez ou excesso de estoque, sem contar que contribui para o cálculo de custos, fornecendo informações financeiras essenciais que muitas vezes são integrados aos softwares de ERP - *Enterprise Resource Planning*.

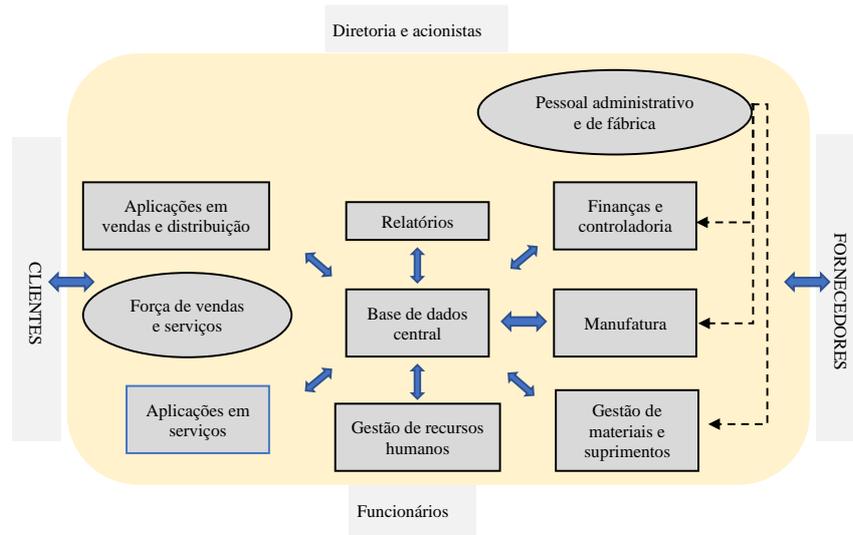


Figura 1 - Visão geral do ERP

Fonte: Adaptado (MARTINS e LAUGENI, 2005).

Além disso, garante que os veículos de transporte estejam dentro dos limites de peso permitidos, evitando multas e garantindo a segurança nas estradas, prevenindo sobrecargas que poderiam comprometer a segurança das instalações e dos funcionários.

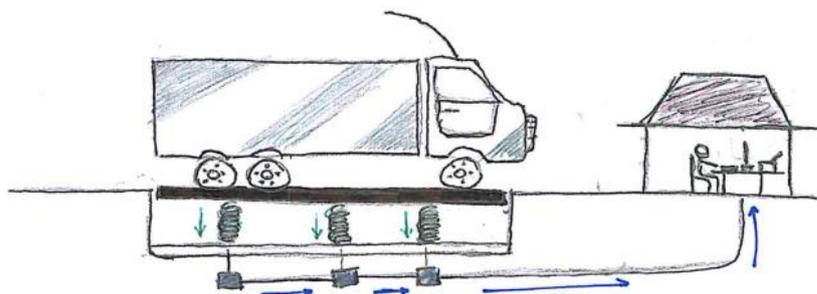


Figura 2 - Figura rica

Fonte: Autores (2023)

Entretanto, a falta de um método estruturado para avaliar diferentes critérios, pode levar à aquisição de um equipamento que não atenda aos padrões de desempenho necessários e isso pode resultar em baixa eficiência, qualidade inferior do trabalho executado, problemas de produtividade, baixa ou nenhuma performance, e impacto negativo nos resultados do seu negócio.

Com base nas informações descritas até o momento, definiu-se que a problemática para esta pesquisa é minimizar esses riscos na escolha de uma balança rodoviária para a indústria siderúrgica.

A balança rodoviária no processo de produção é fundamental para não haver a perda de materiais e cargas e, também, para evitar possíveis fraudes. Por exemplo, sem a pesagem do veículo em balança rodoviária, não seria possível mensurar o real peso da carga e consequentemente a devida tributação. Ou seja, o uso desse tipo de balança é muito útil para evitar informações incorretas e, por consequência, prejuízo para a empresa.

No processo de produção de uma siderúrgica receber os insumos com a quantidade correta e expedir material acabado é essencial. Isso garante a consistência do processo, controla os custos e desperdícios, mantém a produtividade, a capacidade de produção, e contribui para a satisfação do cliente. É um elemento chave para assegurar a qualidade do aço produzido e o bom funcionamento de toda a operação siderúrgica.

Já na operação logística desempenha um papel sensível no processo, fornecendo dados para controle de estoque, dimensionamento correto dos veículos, cumprimento de regulamentações, garantia da qualidade da carga e cálculo preciso de custos. Elas têm um papel crucial em todo o processo, desde o momento em que a matéria-prima chega à fábrica até ao momento em que o produto é entregue ao cliente final.

Neste setor as falhas e erros de pesagem tem impactos proeminentes em toda a cadeia logística. Sua utilização de maneira adequada contribui para a eficiência operacional, redução de custos, cumprimento de normas, leis, regulamentos, e satisfação dos clientes e fornecedores.

O uso de sistemas de pesagem permite identificar produtos em falha ou com defeito, determinar o espaço necessário para alocação das mercadorias, evitar multas de excesso de peso e permite um controle eficiente e fiável do peso das mercadorias. E os sistemas de pesagem utilizados no setor logístico variam de acordo com as necessidades da empresa.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tomar decisões é intrínseco da natureza humana. A tomada de decisões é considerada um processo cognitivo que resulta na seleção da alternativa que, dentre uma gama de possibilidades, melhor atende as necessidades impostas por uma dada situação, com base no conjunto de valores, preferências e crenças de um centro decisor (TENÓRIO; SANTOS; GOMES, 2019). Uma decisão precisa ser tomada sempre que se está diante de um problema que possui mais que uma alternativa para sua solução. Mesmo quando, para solucionar um problema, há uma única ação a tomar, existem as alternativas de tomar ou não essa ação (GOMES; GOMES, 2019).

Podemos entender a tomada de decisão como o processo de identificar um problema ou uma oportunidade e selecionar uma linha de ação para resolvê-lo. Para Rabenschlag (2005):

Um problema ocorre quando o estado atual de uma situação é diferente do estado desejado. Uma oportunidade ocorre quando as circunstâncias oferecem a chance de o indivíduo/organização ultrapassar seus objetivos e/ou metas, logo, uma decisão é o resultado de um processo que se desenvolve a partir do instante em que o problema foi detectado. Este conceito explicita, claramente, a importância do processo de preparação na tomada de decisão (RABENSCHLAG 2005, p. 6).

Segundo Moreira (2020), as técnicas que possibilitam a estruturação e análise de problemas complexos de avaliação, tendo a inclusão de critérios quantitativos e/ou qualitativos, podem ser considerados como métodos multicritérios.

Conforme Costa (2021), existe um processo de tomada de decisão, no qual, a Engenharia de Produção acaba por se tornar um mecanismo essencial no assessoramento dos gestores. A Pesquisa Operacional (PO), que está dentro dessa grande área da Engenharia, é um campo multidisciplinar que utiliza modelos matemáticos e analíticos para solução de problemas complexos.

3.1. PESQUISA OPERACIONAL

No que diz respeito a aplicações industriais, as sementes da PO foram lançadas há muitas décadas, nas tentativas de usar o método científico na gerência de sistemas e organizações de grande porte, logo em seguida à 1ª. Revolução Industrial.

A origem do desenvolvimento da pesquisa operacional como área de estudo remonta à Inglaterra no período da Segunda Guerra Mundial. O termo pesquisa operacional, cujo equivalente em inglês é *Operations Research*, está ligado à invenção do radar na Inglaterra na década de 1930 (ARENALES ET AL., 2015).

Conforme Santos, Junior e Bouzada (2012, p. 202), a modelagem de um problema complexo consiste bem mais em arte do que ciência. É possível seguir orientações básicas e um roteiro genérico disponível na literatura especializada, mas, quando a complexidade do problema é elevada, será necessário fazer um bom uso da criatividade do modelador de forma que os objetivos estabelecidos sejam plenamente alcançados.

De acordo com Passos (2008), os ramos de atuação da PO são diversos, dependendo da natureza e do tipo de problema, existem diferentes técnicas de abordagem envolvendo a modelagem matemática do problema. As vertentes mais difundidas da PO são: Programação linear; programação inteira; programação dinâmica; teoria das filas; teoria dos grafos; simulação e teoria dos jogos.

3.2. MÉTODO CRITERIA IMPORTANCE THROUGH INTERCRITERIA CORRELATION (CRITIC)

O método CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) foi proposto por Diakoulaki, D.; Mavrotas, G.; Papayannakis, L. é um dos métodos de ponderação que determina pesos objetivos para critérios. Este método inclui a intensidade do contraste e do conflito na estrutura do problema de tomada de decisão (Diakoulaki et al., 1995).

Neste método, a matriz de decisão é avaliada e o desvio padrão dos valores de critério normalizados por colunas e os coeficientes de correlação de todos os pares de colunas são usadas para determinar o contraste de critérios (Madić e Radovanović, 2015).

Segundo Pan et al. (2021), o método CRITIC determina os pesos baseado em dois conceitos fundamentais: Sendo o primeiro o tamanho do desvio padrão que indica o tamanho da discrepância entre os valores de cada esquema dentro do mesmo indicador - quanto maior o desvio padrão, maior será a lacuna entre os valores de cada esquema. O segundo é o caráter conflitante dos critérios de avaliação, com base na correlação entre índices; por exemplo, uma forte correlação positiva entre os índices indica que o caráter conflitante entre dois índices é baixo. O método pode ser facilmente convertido em uma forma algorítmica.

Os pesos derivados incorporam intensidade de contraste e conflito que estão contidos na estrutura do problema de decisão. O método desenvolvido é baseado na investigação analítica da matriz de avaliação para extração de todas as informações contidas nos critérios de avaliação. A investigação mostra que o método CRITIC pode obter pesos objetivos melhores (WANG; ZHAO, 2016).

Portanto, é aplicável em uma pré-decisão estágio, como uma sub-rotina conectada a qualquer método de classificação multicritério que requer a introdução de valores quantitativos claros refletindo a importância relativa dos critérios de decisão (DIAKOULAKI; MAVROTAS; PAPAYANNAKIS, 1995).

O presente método, possui diferentes etapas para especificar o peso e atributos de classificação, usa o coeficiente de correlação entre os atributos para determinar a relação entre os atributos. Depois de determinar a matriz de decisão e convertendo os atributos qualitativos em quantitativos pelos especialistas, o atributo superior é eventualmente especificado (ALINEZHAD; KHALILI, 2019).

A matriz de decisão baseia-se em inserir o método e expressar as alternativas e os atributos são baseados nas informações recebidas do tomador de decisão, como mostrado na Equação. 1.

$$X = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mj} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} ; i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (1)$$

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

Para normalizar os critérios monotônicos de lucro e os critérios monotônicos de custo da matriz de decisão, são utilizados, respectivamente:

$$x_{ij} = \frac{r_{ij} - r_i^-}{r_i^+ - r_i^-} \quad (2)$$

$$x_{ij} = \frac{r_{ij} - r_i^+}{r_i^- - r_i^+} \quad (3)$$

Onde x_{ij} representa um valor normalizado da matriz de decisão para a i -ésima alternativa em j -ésimo atributo e $r_i^+ = \max(r_1, r_2, \dots, r_m)$ e $r_i^- = \min(r_1, r_2, \dots, r_m)$.

O coeficiente de correlação entre os atributos é determinado por:

$$\rho_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad (4)$$

Onde \bar{x}_j e \bar{x}_k exibem a média dos atributos j -ésimo e k -ésimo. \bar{x}_j é calculado a partir da Equação 5. Da mesma forma, é obtido para \bar{x}_k : Além disso, ρ_{jk} é o coeficiente de correlação entre j -ésimo e k -ésimo atributos.

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}; i = 1, \dots, m \quad (5)$$

Primeiro, o desvio padrão de cada atributo é estimado pela Equação 6.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}; i = 1, \dots, m \quad (6)$$

Em seguida, o índice (C) é calculado usando Equação 7.

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n (1 - \rho_{jk}); j = 1, \dots, n \quad (7)$$

Os pesos dos atributos são determinados pela Equação 8.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j}; j = 1, \dots, n \quad (8)$$

Por fim, os pesos dos atributos são organizados em ordem decrescente para a classificação final de Atributos.

3.3. MÉTODO INTEGRATED SIMPLE WEIGHTED SUM PRODUCT (WISP)

O método Simple Weighted Sum Product Method (WISP) foi por Stanujkic et al. (2021) e baseia-se na integração de quatro medidas de utilidade que designam o impacto de critérios benéficos e não benéficos com base na utilização do método da soma ponderada (WS) e do método do produto ponderado (WP).

Tendo como objetivo principal a ordenação de possibilidades levantadas em torno de uma análise, a partir da inclusão dos pesos dos critérios (soma dos pesos deve resultar em 100%). O método é constituído de 5 passos:

Primeiro, é feito a normalização ocorre por igual, independente do critério ser monotônico de lucro ou de custo conforme apresentado na Equação 9.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}; j = 1, \dots, n \quad (9)$$

Feito a normalização, é preciso determinar as 4 medidas de utilidade, levando em conta se os critérios são de mínimo ou de máximo (monotonocidade de custo e lucro) conforme apresentado nas Equação 10, 11, 12 e 13.

$$u_i^{wsd} = \sum_{j \in \Omega_{max}} r_{ij} w_j - \sum_{j \in \Omega_{min}} r_{ij} w_j \quad (10)$$

$$u_i^{wpd} = \prod_{j \in \Omega_{max}} r_{ij} w_j - \prod_{j \in \Omega_{min}} r_{ij} w_j \quad (11)$$

$$u_i^{wsr} = \frac{\sum_{j \in \Omega_{max}} r_{ij} w_j}{\sum_{j \in \Omega_{min}} r_{ij} w_j} \quad (12)$$

$$u_i^{wpr} = \frac{\prod_{j \in \Omega_{max}} r_{ij} w_j}{\prod_{j \in \Omega_{min}} r_{ij} w_j} \quad (13)$$

Recalcular as utilidades normalizando novamente, levando em conta o máximo conforme as Equações 14, 15, 16 e 17.

$$\bar{u}_i^{wsd} = \frac{u_i^{wsd}}{(1 + u_{max_i}^{wsd})} \quad (14)$$

$$\bar{u}_i^{wpd} = \frac{u_i^{wpd}}{(1 + u_{max_i}^{wpd})} \quad (15)$$

$$\bar{u}_i^{wsr} = \frac{u_i^{wsr}}{(1 + u_{max_i}^{wsr})} \quad (16)$$

$$\bar{u}_i^{wpr} = \frac{u_i^{wpr}}{(1 + u_{max_i}^{wpr})} \quad (17)$$

Calcula-se a média aritmética para cada alternativa:

$$u_i = \frac{1}{4}(\bar{u}_i^{wsd} + \bar{u}_i^{wpd} + \bar{u}_i^{wsr} + \bar{u}_i^{wpr}) \quad (18)$$

Por fim, classifica-se as alternativas em ordem decrescente, sendo o item de maior valor aquele apresenta a preferência dentre os demais.

4. METODOLOGIA

Para replicabilidade e entendimento do processo de construção deste artigo, é preciso dividi-lo em fases. Na Fase I será necessário realizar o levantamento dos dados das principais balanças disponíveis no mercado assim como os critérios ao processo de tomada de decisão. Ainda nessa fase, será feito uma checagem da qualidade dos dados utilizando os 10 C's: Completeness, Correctnes, Consistency, Currency, Colaborative, Confidential, Clarity, Common Format, Convenient and Cost-effective.

Na Fase II será tratado sobre a definição da abordagem adotada escolha das alternativas e critérios mais relevantes, início do desenvolvimento e adaptação de métodos, técnicas e ferramentas para aplicabilidade na pesquisa.

Por fim, na Fase III, é tratado o estudo de caso e a primeira atividade será a descrição do problema para melhor entendimento da problemática a ser resolvida, em seguida. De posse de todos os dados necessários, será realizada a implementação do método em uma ferramenta computacional. Ao final, é feito uma análise e comparação dos resultados obtidos pela modelagem, a validação do modelo à luz dos resultados obtidos pela modelagem, ponderações e conclusões serão feitas, bem como a viabilidade da utilização deste tipo de abordagem. do estudo de caso.

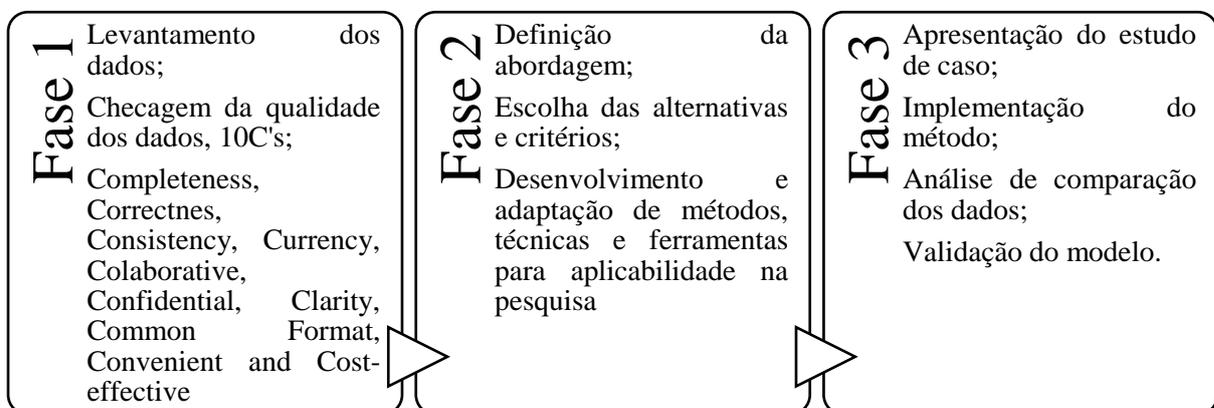


Figura 3 - Metodologia da pesquisa utilizada
Fonte: Autores (2023)

5. PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Para definir o processo de análise, primeiro foram definidos os tipos de balanças (Toledo 1, Toledo A2, Saturno 3 e Saturno A4) e os critérios de avaliação foram:

- Menor Divisão: representa o menor peso exibido no display da balança. Na prática, quanto menor a faixa de divisão, maior a precisão no processo de pesagem. (quilos);
- Capacidade: o valor total que a balança suporta (quilos);
- Durabilidade: vida útil média da balança (anos);
- Custo: custo total de aquisição da balança (R\$).

A Tabela 1, apresenta a matriz de decisão. Fazendo uma adaptação da ferramenta computacional CRITIC-MOORA-3N desenvolvida por Paula, Santos e Baldini (2022) em VBA foram encontrados os seguintes pesos pelo método CRITIC conforme apresentado nas Tabelas 2 e 3.

Monot.	Max	Max	Max	Min
	Menor Divisão	Capacidade	Durabilidade	Custo
Toledo 1	9	8	10	RS 120.000,00
Toledo A2	6	6	10	RS 109.000,00
Saturno 3	9	8	7	RS 104.000,00
Saturno A4	6	5	4	RS 80.000,00

Tabela 1 - Matriz de decisão CRITIC
Fonte: Adaptado de Paula, Santos e Baldini (2023)

	Menor Divisão	Capacidade	Durabilidade	Custo
Toledo 1	1,000	1,000	1,000	0,000
Toledo A2	0,000	0,333	1,000	0,275
Saturno 3	1,000	1,000	0,500	0,400
Saturno A4	0,000	0,000	0,000	1,000

Tabela 2 - Normalização dos critérios
Fonte: Adaptado de Paula, Santos e Baldini (2023)

	Menor Divisão	Capacidade	Durabilidade	Custo	C	W	Rank
Menor Divisão	0,000	0,038	0,698	1,599	1,348	0,217	3
Capacidade	0,038	0,000	0,478	1,767	1,141	0,183	4
Durabilidade	0,698	0,478	0,000	1,944	1,494	0,240	2
Custo	1,599	1,767	1,944	0,000	2,240	0,360	1

Tabela 3 - Resultado dos pesos
Fonte: Adaptado de Paula, Santos e Baldini (2023)

Com os resultados dos pesos, eles foram adotados no método WISP como forma de sair da subjetividade das ponderações. As Tabelas 4, 5 e 6 a seguir, apresentam os resultados do método WISP.

Monot.	Max	Max	Max	Min
Peso dos Critérios	0,217	0,304	0,231	0,204
Toledo 1	1,000	1,000	1,000	1,000
Toledo A2	0,667	0,750	1,000	0,908
Saturno 3	1,000	1,000	0,700	0,867
Saturno A4	0,667	0,750	0,400	0,667
Máximo	9	8	10	R\$ 120.000,00

Tabela 4 - Normalização da matriz de decisão com os pesos do CRITIC

Fonte: Adaptado de Paula, Santos e Baldini (2023)

Monot.	Max	Max	Max	Min
Peso dos Critérios	0,217	0,304	0,231	0,204
Toledo 1	0,521737967	-0,202324785	3,408617257	0,065962228
Toledo A2	0,499364999	-0,134674819	4,457997781	0,067405152
Saturno 3	0,425266805	-0,207944842	2,963255556	0,040017085
Saturno A4	0,311514451	-0,141551054	3,157172173	0,019788669
Máximo	0,521737967	-0,134674819	4,457997781	0,067405152

Tabela 5 - Cálculo das utilidades

Fonte: Adaptado de Paula, Santos e Baldini (2023)

Monot.	Max	Max	Max	Min	Utilidade Global	Alternativas	Ranking
Peso dos Critérios	0,217	0,304	0,231	0,204			
Toledo 1	0,342856641	-0,233813587	0,62451789	0,061796805	0,198839437	Toledo 1	2
Toledo A2	0,328154393	-0,155634924	0,81678263	0,06314861	0,263112677	Toledo A2	1
Saturno 3	0,279461257	-0,240308322	0,542919891	0,037490062	0,154890722	Saturno 3	4
Saturno A4	0,204709653	-0,163581342	0,578448783	0,018539042	0,159529034	Saturno A4	3

Tabela 6 - Resultado do método WISP

Fonte: Adaptado de Paula, Santos e Baldini (2023)

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O CRITIC-WISP fornece uma estrutura e uma abordagem sistemática para analisar e ponderar os critérios relevantes, permitindo uma comparação mais objetiva entre as alternativas. Ele auxilia na identificação das preferências e importâncias relativas dos critérios, contribuindo para uma decisão mais fundamentada.

Com a aplicação do método CRITIC para determinação dos pesos e sua utilização no método WISP verifica-se que a melhor alternativa foi a "Balança Toledo A2", onde encontra-se ranqueada em primeiro lugar, seguido da Toledo 1, Saturno A4 e por último a Saturno 3. O uso do método CRITIC retira toda a subjetividade dos pesos, tornando o processo de tomada de decisão muito mais científico do que intuitivo.

Vale lembrar que, o resultado encontrado pelo método WISP é um apoio ao processo de tomada de decisão cabendo aos gestores a palavra final na aquisição do equipamento.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado obtido através da aplicação do CRITIC-WISP no ranqueamento e consequentemente na escolha de compra de uma balança rodoviária para indústria siderúrgica demonstra a relevância desse método para auxiliar no processo de tomada de decisão. A aplicação do método permitiu a análise e comparação de diferentes alternativas de balanças, levando em consideração critérios estabelecidos previamente que são fundamentais para o processo siderúrgico.

No caso estudado, o resultado indicou que a "Balança Toledo A2" foi considerada a melhor alternativa, apresentando o melhor resultado em relação aos critérios estabelecidos. No entanto, o resultado obtido com o CRITIC-WISP deve ser considerado como uma orientação administrativamente fundamentada, mas a decisão final deve levar em conta uma análise mais abrangente, envolvendo um processo de avaliação mais amplo e a consideração de outros fatores relevantes, inclusive envolvendo recursos humanos.

Portanto, o método de apoio multicritério à decisão é uma ferramenta essencial que traz benefícios significativos para o processo de seleção de balanças rodoviárias em siderúrgicas. Vale ressaltar que, a expertise, o conhecimento dos critérios e a participação ativa dos profissionais envolvidos são fundamentais para garantir que o método seja aplicado de maneira eficaz, levando em consideração os objetivos e as necessidades específicas da siderúrgica.

Por fim, é possível dizer que o método CRITIC-WISP é uma ferramenta poderosa, mas seu sucesso depende da habilidade humana em interpretar, contextualizar e tomar decisões informadas com base nos resultados gerados, porém, é fundamental considerar que o CRITIC-WISP é uma ferramenta de suporte à decisão e não devem ser usados isoladamente.

REFERÊNCIAS

- ADALI, Esra Aytaç; IŞIK, Ayşegül Tuş. CRITIC and MAUT methods for the contract manufacturer selection problem. *European Journal of Multidisciplinary Studies*, v. 2, n. 5, p. 88-96, 2017.
- ALINEZHAD, A.; KHALILI, J. CRITIC method. In: *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)*. [s.l.] Springer, 2019. p. 199–203.
- ARENALES, M., ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional: Para cursos de engenharia**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- COSTA, I. P. A. et al. Choosing flying hospitals in the fight against the COVID-19 pandemic: structuring and modeling a complex problem using the VFT and ELECTRE-MOr methods. *IEEE Latin America Transactions*, v. 19, n. 6, p. 1099–1106, jun. 2021, doi: 10.1109/TLA.2021.9451257.
- DIAKOULAKI, D.; MAVROTAS, G.; PAPAYANNAKIS, L. Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Computers & Operations Research*, v. 22, n. 7, p. 763–770, 1995.
- FLEURY, P. F. **Logística e Transportes**. *Jornal Valor Econômico*, São Paulo, ano 7, nº1673, p. A8, 9 jan. 2007.
- GOMES, L.; GOMES, C. F. S. **Princípios e Métodos para Tomada de Decisão Enfoque Multicritério**. 6a Edição. Rio de Janeiro: Atlas, 2019.
- LISBOA, Erico Fagundes Anicet. **Pesquisa operacional**. Apostila da disciplina. Rio de Janeiro–RJ, 2002.
- MADIC, Milos; RADOVANOVIC, Miroslav. Ranking of some most commonly used nontraditional machining processes using ROV and CRITIC methods. *UPB Sci. Bull., Series D*, v. 77, n. 2, p. 193-204, 2015.
- MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. **Administração da produção**. 2ª rev. aum. e atual. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.
- MIROTTI, Mauricio. Definição de célula de carga. Disponível em: <http://www.primaxbalancas.com.br/site200801a/celulas_conceito.htm>. Acesso em: Jun. de 2023.
- MOREIRA, M. Â. L.; GOMES, C. F. S.; SANTOS, M.; SILVA, M. C.; ARAUJO, J. V. G. A. (2020). PROMETHEE-SAPEVO-M1 a Hybrid Modeling Proposal: Multicriteria Evaluation of Drones for Use in Naval Warfare. In: Thomé A.M.T., Barbastefano R.G., Scavarda L.F., dos Reis J.C.G., Amorim M.P.C. (eds) *Industrial Engineering and Operations Management. IJCIEOM 2020. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*, vol 337. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978, 2020>.



OLIVEIRA, A. L. R. **Otimização de Recebimento e Distribuição em Unidades Armazenadoras de Soja**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Área de Concentração em Programação Matemática dos setores: de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná., Curitiba 2005.

PAN, B. et al. Evaluating operational features of three unconventional intersections under heavy traffic based on CRITIC method. *Sustainability*, v. 13, n. 8, p. 4098, 2021.

PASSOS, Eduardo J. P. D. **Programação linear como instrumento da pesquisa operacional**. São Paulo: Atlas, 2008.

PAULA, Natália Oliveira Barbosa de; SANTOS, Marcos; BALDINI, Fabio. CRITIC-MOORA-3N em VBA (v.1) 2022.

RABENSCHLAG, Denis Rasquin. Pesquisa operacional. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p. 5, 2005.

SANTOS, Ricardo F.; JUNIOR, Eugenênio C. D. S.; BOUZADA, Marco A. C. **A Aplicação da Programação Inteira na Solução Logística do Transporte de Carga: O Solver e Suas Limitações na Busca Pela Solução Ótima**. *Produção Online*, v. 12, n. 1, p. 185-204, jan/mar. 2012.

STANUJKIC, D., POPOVIC, G., KARABASEVIC, D., MEIDUTE- KAVALIAUSKIENE, I. & ULUTAS, A. An Integrated Simple Weighted Sum Product Method – WISP, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1-12, 2021.

TENÓRIO, F. M.; SANTOS, M.; GOMES, C. F. S. Revisitando o método THOR: uma pesquisa bibliométrica. *Anais do XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha*, v. 19, 2019.

WANG, D.; ZHAO, J. Design optimization of mechanical properties of ceramic tool material during turning of ultra-high-strength steel 300M with AHP and CRITIC method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 84, n. 9, p. 2381–2390, 2016.