57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

UTILIZAÇÃO DE SIMULADORES DE OPERAÇÕES PORTUÁRIAS NA CAPACITAÇÃO DE OPERADORES: UMA ABORDAGEM DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Larissa Ayumi Ito
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ)
Rodovia Mário Covas, lote J2, quadra J - Distrito Industrial de Itaguaí – Itaguaí/RJ
larissa.ayumi@aluno.cefet-rj.br

Fabricio Maione Tenório
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ)
Rodovia Mário Covas, lote J2, quadra J - Distrito Industrial de Itaguaí – Itaguaí/RJ
fabricio.tenorio@cefet-rj.br

RESUMO

Este artigo propõe uma estrutura de tomada de decisão multicritério para a avaliação de simuladores de operações portuárias, baseada em seis critérios relevantes: imersividade, customização, manutenibilidade, facilidade de utilização, verossimilhança e custo. Foram avaliadas duas modalidades de simuladores, o simulador *multidisplay* e o simulador de realidade virtual (VR), com a utilização do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Os resultados obtidos indicaram que o simulador *multidisplay* apresentou melhor desempenho frente aos critérios, sendo recomendado para o treinamento de operadores portuários. Esta abordagem permitiu a análise das modalidades de simuladores demonstrando a eficiência do método AHP em situações complexas de tomada de decisão. As conclusões deste artigo podem basear trabalhos futuros que explorem novos critérios, incluindo aspectos da experiência e percepção dos usuários, além de utilizar outros Métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) para aprimorar o processo decisório.

PALAVRAS CHAVE. Tomada de decisão multicritério, AHP, Simulador.
Tópicos ADM – Apoio à Decisão Multicritério, POI – PO na Indústria

ABSTRACT

This paper proposes a multicriteria decision-making framework for the evaluation of port operations simulators, based on six relevant criteria: immersiveness, customization, maintainability, ease of use, verisimilitude and cost. Two simulator modalities were evaluated, the multidisplay simulator and the virtual reality (VR) simulator, using the AHP (Analytic Hierarchy Process) method. The results obtained indicated that the multidisplay simulator performed better against the criteria, being recommended for training port operators. This approach allowed the analysis of the simulator modalities, demonstrating the efficiency of the AHP method in complex decision-making situations. The conclusions of this paper can support future work that explores new criteria, including aspects of user experience and perception, in addition to using other Multicriteria Decision Support (MDS) Methods to improve the decision-making process.

KEYWORDS. Multi-criteria decision making, AHP, Simulator.
Paper topics SMD – Support for Multicriteria Decision, ORI – Operational Research in Industry

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212450
https://proceedings.science/p/212450?lang=pt-br

1. Introdução

Atualmente, a demanda por segurança operacional é crescente em todos os segmentos industriais, incluindo o setor de mineração. O Brasil se destaca como um dos principais produtores e exportadores de bens minerais, em especial, o minério de ferro. Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração [IBRAM 2025], o minério de ferro correspondeu a 59,4% do faturamento do setor mineral em 2024, e no mesmo período foram exportadas 389,0 milhões de toneladas, o que gerou uma receita de US$ 29,8 bilhões. Em um cenário onde produtividade e eficiência são essenciais para a competitividade do negócio, somado à complexidade das operações e ao alto volume movimentado nos terminais portuários de granéis sólidos, torna-se indispensável adotar abordagens cada vez mais robustas e eficazes para garantir a segurança operacional.

A adoção de procedimentos operacionais na padronização das atividades e os treinamentos tradicionais em salas de aula são essenciais no processo de aprendizagem acerca das operações portuárias, para promover a segurança e capacitação dos colaboradores. Leder *et al.* [2019] comentam que novos colaboradores tendem a estar mais susceptíveis a riscos comparados aos que possuem pelo menos um ano de experiência na atividade desempenhada. Enfatizam ainda que instruções escritas, por exemplo, mesmo quando claramente expressas e compreendidas, não garantem uma conduta segura e que a experiência é importante. Para Try *et al*. [2021] a combinação da aprendizagem em sala de aula com a prática é necessária para reforçar a capacidade e a compreensão dos conteúdos.

Neste sentido, operacionalizar atividades de treinamento e avaliação *on site* ou em ambiente similar ao de trabalho, segundo Tusher *et al.* [2023], torna o cenário favorável a utilização de simuladores no treinamento com o propósito de preencher a lacuna de aprendizagem experiencial. Citam também que simuladores possibilitam treinamentos de situações críticas e adversas, e ainda podem atuar na melhoria de resultados comportamentais e de desempenho.

Simulações promovem alto grau de envolvimento do indivíduo com estímulos de elementos interativos, permitem uma participação ativa na aprendizagem e a oportunidade de vivenciar causa e efeito, as consequências das próprias ações [Leder *et al.* 2019].

Ao longo dos anos, e com o avanço da tecnologia, os simuladores evoluíram em diversas modalidades, dependendo de sua escala, funcionalidade e objetivo. Entretando, as constantes mudanças das necessidades de treinamento impossibilitam a utilização de um simulador universal [Tusher *et al.* 2023]. Deste modo, a disponibilidade de diferentes modalidades de simulador, associadas a outros fatores a serem considerados para sua aquisição, criam um desafio para tomada de decisão para instrutores de operações ao selecionar o simulador mais apropriado para atender as necessidades específicas dos treinamentos.

Este estudo propõe a aplicação de um método multicritério de apoio à decisão (AMD) para avaliar duas modalidades de simuladores de operações portuárias, com base em seis critérios. As seções seguintes apresentam a metodologia adotada — o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) —, os resultados obtidos, as conclusões e sugestões para pesquisas futuras.

Os AMD são ferramentas valiosas para resolução de problemas caracterizados por múltiplos atores, critérios e objetivos. Geralmente estes problemas compreendem cinco componentes: o objetivo, as preferências do decisor, alternativas, critérios e resultados [Kumar *et al.* 2016]. Tradicionalmente têm sido aplicados em contextos clássicos de tomada de decisão ou avaliação, como seleção de equipamentos e fornecedores, classificação de desempenho entre outros.

Existem diferentes tipos de AMD como os métodos AHP, TOPSIS *(Technique for Oder Preferences by Similarity to Ideal Solution)*, PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) e ELECTRE *(Elimination and Choice Translating Reality)*, entre outros. Na literatura, também é possível encontrar aplicações com combinações entre os métodos.

Neste estudo, o método AHP é empregado para avaliar duas modalidades de simuladores de operações portuárias, com base em critérios definidos a partir da literatura

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212450
https://proceedings.science/p/212450?lang=pt-br

especializada e de entrevistas com um especialista da área de treinamento e operações portuárias. A empresa analisada, pertencente ao setor de mineração e localizada na região Sudeste do Brasil, enfrenta o desafio de otimizar suas operações por meio da estruturação de um centro de treinamento mais eficiente. Atualmente, os treinamentos são realizados por meio de aulas teóricas expositivas e atividades práticas in loco. No entanto, a organização acredita que a adoção de soluções tecnológicas, como simuladores, pode ampliar significativamente a eficiência e a segurança operacional. Assim, este estudo propõe a aplicação do AHP como ferramenta de apoio à decisão na seleção da modalidade de simulador mais adequada às necessidades específicas da empresa.

2.Revisão da literatura

2.1. Operações Portuárias em terminal de granéis sólidos

Tendo em vista a localização costeira dos portos brasileiros, as jazidas de minério de ferro em geral se encontram distantes dos terminais, o que faz necessário um sistema logístico capaz de otimizar o transporte de granéis das minas aos portos.

O minério de ferro é transportado até o porto por trens com muitos vagões e armazenado em pátios com a utilização de estocagem em pilhas, que permite o armazenamento de grandes quantidades, por longos períodos a custo relativamente baixo [Guaranys *et al.* 2013]. Dessa forma, os processos logísticos nos portos envolvem as operações de descarregamento de vagões, empilhamento e recuperação de minério de ferro e carregamento de navios, que requerem máquinas e equipamentos de grande porte.

A operação de descarregamento de vagões é realizada assim que o trem chega ao porto e demanda um equipamento denominado virador de vagões, que realiza o semi-giro, de aproximadamente 180º, do vagão no eixo longitudinal, despejando o minério no alimentador de sapatas, que o transfere para as correias transportadoras evitando que recebam um grande impacto, atuando como regulador de fluxo. As correias transportadoras por sua vez, permitem a movimentação do minério pelo pátio [Guachalla 2018].

O empilhamento do minério que chega do virador de vagões pelas correias transportadoras é realizado por meio de empilhadeiras, que transladam o pátio sobre trilhos. A organização do pátio, métodos de empilhamento e as dimensões de base e altura das pilhas, varia de acordo com a capacidade do pátio de estocagem e tipo de material, e deve ser o mais eficiente possível [Guachalla 2018].

Esta operação tem função contrária a anterior, consiste em recuperar o minério armazenado em pilhas, através das recuperadoras, que possuem um mecanismo de roda de caçambas que escavam as pilhas e direcionam o minério para as correias transportadoras para que seja encaminhado para o carregador de navios. Assim como as empilhadeiras, as recuperadoras transladam pelo pátio de estocagem sobre trilhos [Guachalla 2018].

As correias transportadoras transportam o minério recuperado do pátio até o píer, onde é localizado o carregador de navios, equipamento responsável pelo carregamento dos porões dos navios, efetuando o embarque de minério de ferro. Analogamente as empilhadeiras e recuperadoras, o carregador de navios translada o píer sobre trilhos [Guachalla 2018].

É fundamental entender que as operações de movimentação de granéis sólidos num terminal portuário são distintas, complexas e envolvem equipamentos de grande porte, o que contribui na complexidade de operá-los.

2.2. Utilização de simuladores na capacitação de operadores portuários

Tusher *et al.* [2023] avaliaram modalidades de simuladores marítimos através de três critérios; técnico, instrucional e organizacional, e treze subcritérios utilizando o método PROMETHEE. Apresentaram como subcritérios técnicos, a fidelidade, imersividade,

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212450
https://proceedings.science/p/212450?lang=pt-br

possibilidade de treinamento remoto, possibilidade de treinamento em grupo e facilidade de treinamento.

Jalilvand *et al.* [2023] propuseram a comparação entre o desempenho de realidade virtual e realidade aumentada para treinar operadores para monitoramento e controle de um processo de fabricação de termoformagem. Como critérios de desempenho avaliaram a utilidade, confiança, confiabilidade, satisfação do usuário, eficácia do treinamento e preferência geral do usuário. E os resultados foram obtidos através de análise estatística e cinco algoritmos de tomada de decisão multicritério.

Try *et al.* [2021] compararam a aprendizagem auxiliada por vídeo, por realidade virtual e por instrutor, na formação de profissionais da área de engenharia civil, pelos critérios acessibilidade, interesse cognitivo, facilidade de compreensão, interatividade, e suporte a aprendizagem, com a abordagem do AHP.

Gutirérrez et al. [2023] abordaram em seu estudo a combinação de métodos multicritério para identificação de atributos de qualidade em aplicação de realidade aumentada baseados na experiência dos usuários. Elencaram como critérios importantes a usabilidade, satisfação, estimulação, engajamento e estética.

2.3. Análise Hierárquica de Processos (AHP)

O AHP é um método de apoio à decisão multicritério (AMD) que auxilia o tomador de decisão perante um problema complexo com múltiplos critérios conflitantes e subjetivos, utilizando uma abordagem de autovalor máximo para as comparações em pares, e fornece uma escala numérica que varia de 1 a 9 (Tabela 1) para medição de critérios quantitativos e qualitativos que cobrem todo o espectro de comparação, sendo 1 equivalente a “igual” e 9, “extremamente mais importante que” [Vaidya e Kumar 2004; Ishizaka e Labib 2011].

Este método utiliza um princípio de composição hierárquica para alcançar prioridades compostas de alternativas com relação a múltiplos critérios partindo de suas prioridades comparando a cada critério. Segundo Arunraj e Maiti [2010], além de permitir a resolução de problemas complexos, contribui na integração de informações e experiência, com a participação de especialistas, e mensuração de magnitudes relativas por meio da comparação de pares. O AHP compreende a coleta de dados para as comparações dos pares, a estimativa dos pesos e análise da consistência da matriz de comparação.

Tabela 1. Escala de comparação em pares

Relação de Importância	Grau de Importância
Os dois parâmetros são igualmente importantes	1
Intermediário	2
O parâmetro *i* é fracamente mais importante que o parâmetro *j*	3
Intermediário	4
O parâmetro *i* é mais importante que o parâmetro *j*	5
Intermediário	6
O parâmetro *i* é muito mais importante que o parâmetro *j*	7
Intermediário	8
O parâmetro *i* é extremamente mais importante que o parâmetro *j*	9

Fonte: Adaptado de Arunraj e Maiti [2010]

Um dos aspectos mais importantes do AHP é a determinação dos pesos para classificar os critérios entre si e posteriormente as alternativas de decisão. As etapas para execução desta estimativa são apresentadas no fluxograma a seguir:

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212450
https://proceedings.science/p/212450?lang=pt-br

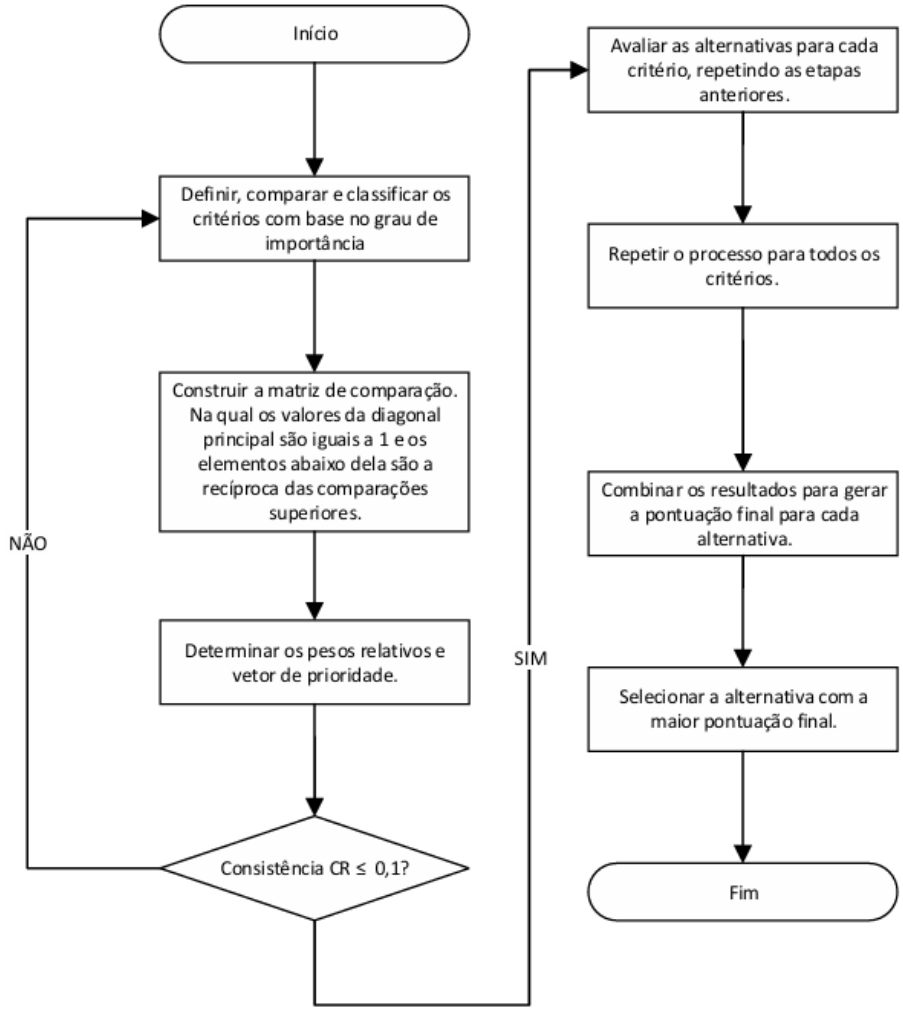


Figura 1. Fluxograma das etapas do AHP

Segundo Saaty [2003], as pessoas ao fazerem comparações tem maior probabilidade de serem inconsistentes porque não conseguem estimar valores precisamente, mesmo quando a escala é conhecida, e o cenário piora quando lidam com intangíveis e ordinalmente intransitivos. Neste sentido a avaliação de consistência é importante no método AHP para melhorar a validade do julgamento de comparação.

Arunraj e Maiti [2010] comentam sobre a dificuldade em alcançar a consistência perfeita, assim como Saaty [2003], que ainda acrescenta que o mínimo de inconsistência pode ser bom comparada a uma consistência forçada, que não representa pensamentos, sentimentos e preferências em situações reais.

O AHP mensura a consistência do julgamento através da taxa de consistência (CR), que quando igual ou menor a 10% é aceita como consistente e para valores superiores, implica que o julgamento é aleatório ou que é necessário revisar. Essa taxa é a razão entre o índice de consistência (CI) e o índice aleatório (RI) correspondente a n, sendo CI o quociente entre a diferença do autovalor λmax e n, dividido por n-1. Este autovalor é obtido multiplicando cada elemento da matriz de comparação pela prioridade relativa da coluna correspondente, seguido pela soma dos elementos das linhas, os valores totais serão divididos pelos correspondentes do vetor de prioridade. E a média dos quocientes é o autovalor λmax [Arunraj e Maiti 2010].

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212450
https://proceedings.science/p/212450?lang=pt-br

3. Metodologia

Primeiramente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica para a identificação de critérios utilizando como palavras-chave: "*port AND industrial training AND multicriteria*". A busca foi realizada na base de dados *Scopus*, e, inicialmente, não retornou nenhum documento. Ao excluir o termo "*port*", a busca retornou onze artigos. Após avalição, apenas um artigo tratava acerca de ensino e aprendizagem.

Ampliando a pesquisa utilizando o termo *VR* (realidade virtual), foi possível encontrar outros estudos que abordavam este tipo de tecnologia no processo de treinamento e apoio no processo de aprendizagem.

Embora encontrados resultados com integração entre treinamento e métodos de tomada de decisão multicritério, nenhum deles focou na tomada de decisão na aplicação de simuladores de operações portuárias devido a sua especificidade. Os artigos encontrados utilizaram critérios inerentes a experiência do usuário, contudo a finalidade da avaliação dos simuladores neste trabalho buscou uma abordagem mais técnica. Desta forma, este estudo busca contribuir com a lacuna identificada.

A estrutura de método de apoio à decisão multicritério (AMD) para avaliação de simulador de operações portuárias requer duas dimensões: critérios que afetam a seleção de simuladores e tipos de simuladores a serem avaliados.

Para a seleção de critérios houve a colaboração de um especialista, como tomador de decisão, o instrutor de operações portuárias com mais de quinze anos de experiência, que em entrevista elencou os seguintes critérios:

Imersividade (C_1): Qualidade associada ao simulador que faz com que os usuários se sintam envolvidos e presentes naquele ambiente ou situação representados.

Customização (C_2): Capacidade de adaptação do simulador às diferentes atividades desempenhadas no terminal, sejam por aspectos visuais ou por configurações.

Manutenibilidade (C_3): Facilidade do simulador ser mantido, reparado e atualizado para que tenha boas condições de funcionamento.

Facilidade de utilização (C_4): Grau de simplicidade e intuitividade associados ao uso do simulador.

Verossimilhança (C_5): Qualidade associada a quão realistas e convincentes são o ambiente e situação apresentados pelo simulador.

Custo (C_6): Valor monetário para adquirir o simulador, e despesas como manutenção, atualização e aquisição de recursos extras.

Os critérios imersividade, facilidade de utilização e verossimilhança foram baseados na entrevista e no trabalho de Tusher *et al.* [2023], que utilizou critérios técnicos, instrucionais e organizacionais, e se assemelhou mais com estudo realizado.

A necessidade de aprimorar os treinamentos operacionais incentivou a busca por novas soluções, abrindo a possibilidade de utilização de simuladores de operações portuárias para consolidação dos conhecimentos teóricos adquiridos nas aulas expositivas e preparação dos colaboradores antes da prática in loco. Neste contexto, após levantamento preliminar das principais exigências para um simulador, o setor responsável pelos treinamentos operacionais solicitou propostas técnicas a fornecedores.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212450
https://proceedings.science/p/212450?lang=pt-br

Assim foram disponibilizados diferentes simuladores, cada qual com suas peculiaridades, que foram agrupados por modalidade como no estudo de Tusher *et al.* [2023], resultando em duas modalidades: Simulador *Multidisplay* e Simulador de realidade virtual (RV). O Simulador *Multidisplay* (A_1) representa o ambiente por meio de múltiplos monitores, enquanto o Simulador de realidade virtual (RV) (A_2), utiliza óculos de realidade virtual, ambos para proporcionar uma experiência visual ampla e imersiva.

A etapa inicial após a determinação do problema é a identificação dos critérios a serem considerados para a seleção da modalidade de simulador. A estruturação do problema em hierarquia fornece uma visão geral da relação entre as variáveis do problema e auxilia o tomador de decisão a fazer os julgamentos sobre a comparação de elementos.

Uma estrutura hierárquica de três níveis, conforme a Figura 2, foi desenvolvida para o problema abordado neste artigo, na qual o nível superior representa o objetivo da análise (seleção do simulador), o segundo nível, os critérios (imersividade, customização, manutenibilidade, facilidade de utilização, custo e verossimilhança) e no terceiro nível as possíveis alternativas (simulador *multidisplay* e de realidade virtual).

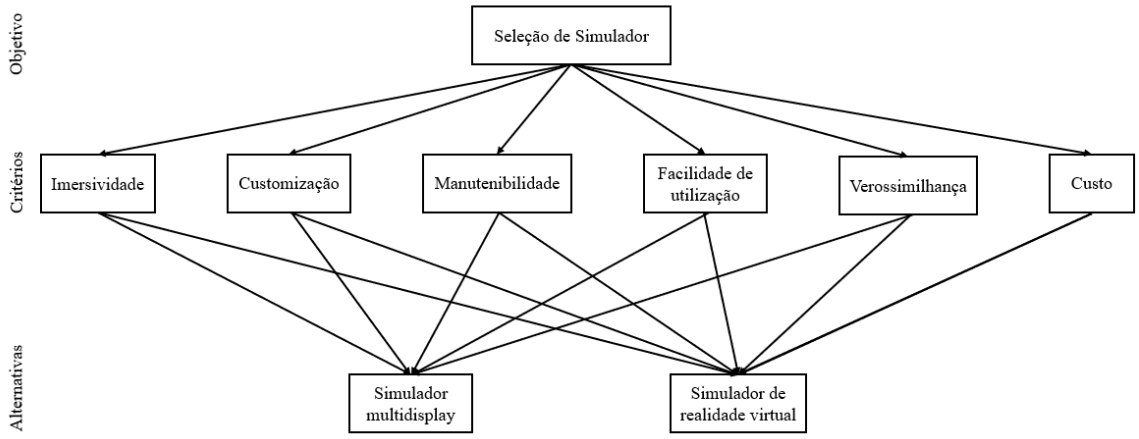


Figura 2. Esquema de hierarquia para seleção de simulador

Para a comparação pareada entre os critérios e para as modalidades de simuladores, o especialista e instrutor de operações portuárias foi consultado para extrair o grau de importância dos critérios entre eles envolvidos na seleção e posteriormente relacionados as alternativas.

Por meio da utilização do *software Three Decision Methods* – 3DM [2020], foram fornecidas perguntas que nortearam a construção da matriz de comparação como "O quão preferível o critério *i* é em relação ao critério *j*?" e "O quão preferível a alternativa *A* é em relação a alternativa *B* no critério *i*?".

4. Resultados

A comparação pareada entre os seis critérios foi realizada através de entrevista com o especialista utilizando as perguntas geradas pelo *software* e a escala de comparação variando entre 1 e 9, resultando na Tabela 2.

Tabela 2. Matriz de Comparação

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
C_1	1,000	1,000	1,000	1,000	3,000	3,000
C_2	1,000	1,000	1,000	3,000	5,000	5,000
C_3	1,000	1,000	1,000	5,000	1,000	3,000

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212450
https://proceedings.science/p/212450?lang=pt-br

C_4	1,000	0,333	0,200	1,000	1,000	1,000
C_5	0,333	0,200	1,000	1,000	1,000	3,000
C_6	0,333	0,200	0,333	1,000	0,333	1,000

Fonte: Autores (2025)

Foram calculadas as somas de cada coluna para a normalização da matriz de comparação, conforme a Tabela 3. Posteriormente se obteve o vetor de prioridade (Tabela 4) com a soma das linhas da Tabela 3 divididas por *n*, que neste estudo, n = 6. Este vetor é aplicado para ponderar a matriz de comparação normalizada (Tabela 3), para análise de consistência.

Tabela 3. Matriz de Comparação normalizada

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
C_1	0,214	0,268	0,221	0,083	0,265	0,188
C_2	0,214	0,268	0,221	0,250	0,441	0,313
C_3	0,214	0,268	0,221	0,417	0,088	0,188
C_4	0,214	0,089	0,044	0,083	0,088	0,063
C_5	0,071	0,054	0,221	0,083	0,088	0,188
C_6	0,071	0,054	0,074	0,083	0,029	0,063

Fonte: Autores (2025)

Tabela 4. Vetor de prioridade

C_1	0,206
C_2	0,284
C_3	0,233
C_4	0,097
C_5	0,117
C_6	0,062

Fonte: Autores (2025)

Tabela 5. Matriz de Comparação ponderada

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
C_1	0,206	0,284	0,233	0,097	0,352	0,187
C_2	0,206	0,284	0,233	0,291	0,587	0,311
C_3	0,206	0,284	0,233	0,485	0,117	0,187
C_4	0,206	0,095	0,047	0,097	0,117	0,062
C_5	0,069	0,057	0,233	0,097	0,117	0,187
C_6	0,069	0,057	0,078	0,097	0,039	0,062

Fonte: Autores (2025)

Com base nos valores da Tabela 5, somaram-se as linhas, obtendo a soma dos pesos, que foram divididos pelo vetor de prioridade correspondente. Com a razão entre a soma dos resultados e $n = 6$, foi determinado o valor de $\lambda_{max} = 6,5284$. Dado λ_{max} foi calculado o índice de consistência CI = 0,1057, e a taxa de consistência CR = 0,0852, sendo CR ≤ 0,1 considerado ótimo.

Para a avaliação da contribuição dos critérios em relação as alternativas, foram obtidas matrizes de comparação 2 x 2, de $n = 2$. Para todos os critérios analisados, a taxa de consistência foi menor que 0,1. A partir da avaliação do especialista, foi construída a matriz de desempenho mostrado na Tabela 6, sendo A_1, o simulador *multidisplay* e A_2, o simulador de realidade virtual.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212450
https://proceedings.science/p/212450?lang=pt-br

Em seguida, com o vetor de prioridade da Tabela 4, os valores da matriz de desempenho foram ponderados, resultando na matriz da Tabela 7.

Tabela 6. Matriz de desempenho

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A1	0,750	0,750	0,750	0,833	0,875	0,750
A2	0,250	0,250	0,250	0,167	0,125	0,250

Fonte: Autores (2025)

Tabela 7. Matriz de desempenho ponderada

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A1	0,155	0,213	0,174	0,081	0,103	0,047
A2	0,052	0,071	0,058	0,016	0,015	0,016

Fonte: Autores (2025)

Baseado nos valores da Tabela 7, foram determinadas as pontuações finais das alternativas avaliadas através da soma das linhas, resultando na Tabela 8.

Tabela 8. Resultado

A1	0,773
A2	0,227

Fonte: Autores (2025)

5. Discussão

Ao observar a avaliação entre critérios, o vetor de prioridades demostra a priorização entre os seis critérios selecionados para o estudo. Neste sentido, os critérios mais relevantes foram customização (0,284), manutenibilidade (0,233) e imersividade (0,206), seguidos da verossimilhança (0,117), facilidade de utilização (0,097) e custo (0,062).

Com base nos resultados ponderados sobre a contribuição de cada critério em relação as duas alternativas consideradas, mostrados na Tabela 7, o simulador *multidisplay* é considerado superior em todos os critérios. Ao analisar a natureza dos critérios, todos são monotônicos de benefício (“quanto maior, melhor”), exceto o critério custo, que também foi superior para o simulador *multidisplay*. Entretanto, devido à baixa priorização deste critério, segundo o vetor de prioridade, não afetou a avaliação do simulador em questão, além do fato de que nos demais critério foi mais bem pontuado. É relevante mencionar que o custo foi abordado como critério pois: (a) o setor responsável não poderia ter acesso as propostas de caráter comercial e (b) a análise dos simuladores deveria ser estritamente técnica. Assim, ao avaliar os resultados, temos que a modalidade recomendada após a aplicação do método AHP é o simulador *multidisplay*.

Este resultado converge com o resultado obtido por Tusher *et al.* [2023] na avaliação de simuladores marítimos, no qual simulador de missão completa, que se assemelha a proposta de simulador *multidisplay*, teve melhor desempenho frente ao VR.

Outrossim, resultado obtido está em consonância com o esperado pelo especialista consultado neste estudo, visto que o simulador *multidisplay* proporciona uma visão panorâmica mais ampla, o que permite aos operadores visualizarem múltiplos ângulos simultaneamente, treinando a visão periférica. Ademais, são mais facilmente adaptáveis a postos de comando físicos, o que corrobora com uma experiência mais próxima a situação real, possibilitando a melhor familiarização com os controles físicos existentes e o exercício da memória muscular durante a atividade simulada.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212450
https://proceedings.science/p/212450?lang=pt-br

Apesar do resultado satisfatório, este estudo apresenta algumas limitações, como a definição dos critérios e avaliação das alternativas realizadas por um único tomador de decisão, o que pode restringir a diversificação de perspectivas e a indução de subjetividade nos julgamentos. Além disso, a abordagem somente de critérios técnicos também contribui com a limitação da abrangência da análise, visto que desconsidera aspectos inerentes a experiência do usuário, como engajamento, impacto no processo de aprendizagem, entre outros elementos importantes para a avaliação da efetividade de recursos como simuladores no contexto de capacitação.

6. Conclusão

Este estudo avaliou as modalidades de simuladores de operações portuárias baseado em seis critérios relevantes. A abordagem de tomada de decisão multicritério (AMD) possibilitou análise de duas modalidades de simuladores, o simulador *multidisplay* e o simulador de realidade virtual através da classificação de importância dos critérios.

Os resultados demonstraram que o simulador *multidisplay* obteve melhor desempenho em todos os critérios, excetuando o custo, sendo, portanto, a modalidade recomendada para treinamento de operações portuárias, demonstrando a aplicabilidade e a eficiência do método AHP para apoiar a tomada de decisão em contextos complexos, como o portuário.

Embora a análise de critérios exclusivamente técnicos sejam recursos eficazes para comparação entre os modelos de simuladores, não contempla a complexidade da experiência do usuário, com elementos como percepção do realismo, conforto e impacto na aprendizagem, fatores que impactam na efetividade e aproveitamento dos treinamentos.

Portanto estudos futuros poderiam explorar novos critérios relativos à experiência do usuário, estendendo a temática a percepção do colaborador e ampliando a abrangência do estudo, além da utilização de outros AMD.

Referências

Arunraj, N. S. e Maiti, J. (2010). Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming. *Safety Science*, 48: 238–247.

Bozza, G., Ruy, M. M., Santos, M., Moreira, M. A. L., Rocha Junior, C. S. e Gomes, C. F. S. (2020). Three Decision Methods (3DM) Software Web (v.1).

Guachalla W. F. Avaliação dos reflexos da operação do virador de vagões em produção e na fila de trens para descarga de produtos. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

Guaranys, C. A. L.B., Pessanha, R.R., Faria, R. M., Morgades, R. F. K. M. e Maciel, G. S. (2013). Principais métodos de estocagem de minério de ferro: uma abordagem teórica. *Exatas & Engenharia*, 3:42–55.

IBRAM. Setor Mineral (2024). Web *page*. https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2025/02/DADOS_Setor-Mineral_2024_5FEV2025.pdf. Acessado: 2025-01-02

Ishizaka A. e Labib, A. (2011). Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Systems with Applications,* 38:14336-14345.

Jalilvand, I., Jang, J., Gopaluni, B., Milani, A. S. (2023). VR/MR systems integrated with heat transfer simulation for training of thermoforming: A multicriteria decision-making user study. *Journal of Manufacturing Systems*, 72:338–359.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212450
https://proceedings.science/p/212450?lang=pt-br

Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P. e Bansal, R. C.(2016). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69:596–609.

Leder, J., Horlitz, T., Puschmann, P., Wittstock, V., Schütz, A. (2019). Comparing immersive virtual reality and powerpoint as methods for delivering safety training: Impacts on risk perception, learning, and decision-making. *Safety Science*, 111:271–286.

Saaty, T. L. (2003). Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*, 145:85–91.

Try, S., Panuwatwanich, K., Tanapornraweekit , G., Kaewmoracharoen, M. (2021). Virtual reality application to aid civil engineering laboratory course: A multicriteria comparative study. *Computer Applications in Engineering Education*, 29:1771–1792.

Tusher, H. M., Munim, Z. H., Nazir, S. (2023). An evaluation of maritime simulators from technical, instructional, and organizational perspectives: a hybrid multi-criteria decision-making approach. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 23:165–194.

Vaidya, O. S. e Kumar, S. (2004). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169:1–29.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212450
https://proceedings.science/p/212450?lang=pt-br