

Avaliação da inclusão de operadores na Indústria 4.0 por meio de instalações interativas virtuais: Caso de estudo de carregamento de vagões na mineração

Paula C. Fernandes¹, Saul Delabrida², Bruno N. Coelho², Flávia P. C. Silvas³

¹Programa de Pós-Graduação em Instrumentação, Controle e Automação de Processos de Mineração*
Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) e Instituto Tecnológico Vale (ITV)
Ouro Preto – MG – Brazil

²Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)
Ouro Preto – MG – Brazil

³Instituto Tecnológico Vale (ITV)
Ouro Preto – MG – Brazil

paula.cintra@aluno.ufop.edu.br

Abstract. *The mining industry involves several processes to obtain concentrated ore, demanding qualified human resources. Driven by guidelines and guidelines for including visually impaired people in the labor market, equitable operating conditions must be offered. The study addresses the various activities performed by operators responsible for wagon loading. In this context, the objective is to verify the execution of specific tasks by individuals with or without visual impairment in a virtual environment. It is needed to identify operational critical points that will lead to more assertive actions regarding infrastructure modifications, thus enabling a more inclusive environment.*

Resumo. *A indústria da mineração envolve diversos processos visando à obtenção do minério concentrado, demandando recursos humanos qualificados. Impulsionados pelas orientações e diretrizes para inclusão de pessoas com deficiência visual no mercado de trabalho, é necessário oferecer condições operacionais equitativas. O estudo aborda as diversas atividades desempenhadas por operadores responsáveis pelo carregamento de vagão. Nesse contexto, objetiva-se verificar a execução de determinadas tarefas por indivíduos com ou sem deficiência visual em um ambiente virtual. Espera-se identificar pontos críticos operacionais que permitam conduzir á ações mais assertivas quanto as modificações de infraestrutura viabilizando, assim, um ambiente mais inclusivo.*

1. Introdução

Nos mais diversos setores econômicos observa-se o crescimento da incorporação de práticas mais responsáveis de *Environmental, Social and Governance* (ESG), em português, Ambiental, Social e Governança. Arelada as tendências mundiais e as legislações específicas [Brasil 1991], a inclusão de pessoa com deficiência (PcD) no mercado de trabalho é crucial para o desenvolvimento social. Para tanto, as empresas precisam se preparar para receber, incluir e oferecer condições equitativas de trabalho. Assim, almeja-se

proporcionar um ambiente adequado onde possa-se alcançar o máximo potencial individual e coletivo, atendendo as necessidades do trabalhador e do empregador. Para tanto, é imprescindível analisar os locais laborais com olhar crítico e direcionado ao atendimento das necessidades de cada trabalhador. E, desse modo, sanar as lacunas existentes. A pesquisa aborda um estudo de caso em uma indústria de mineração brasileira, especificamente em relação a uma equipe de operadores com diferentes níveis de deficiência visual. Suas atividades envolvem o carregamento de vagões com minério concentrado e o monitoramento de tarefas adjacentes. A problemática a ser estudada reside no fato de que não há diferença na infraestrutura do ambiente de trabalho independente das singularidades de cada operador. Reconhecer e observar a rotina de trabalho dos empregados alinhado a oportunidade de inovação e pesquisa no contexto da Indústria 4.0, pode possibilitar mudanças positivas na dinâmica de interação entre o operador e o ambiente de trabalho, conduzindo a melhoria da carga de trabalho. O objetivo do projeto é avaliar as dificuldades enfrentadas pelos operadores, com ou sem deficiência visual, por meio de uma tecnologia imersiva virtual, a fim de identificar a melhor infraestrutura para a operação. Espera-se reconhecer oportunidades de aprimoramento visando a assertividade nas tomadas de decisões. Antecipa-se também, que a ampliação no uso de novas tecnologias sejam facilitadores e não entraves na rotina dos operadores.

2. Fundamentação Teórica

A avaliação e compreensão da eficiência das interfaces de interação humano-computador desempenham um papel crucial na aprimoração da acessibilidade e experiência de uso de tecnologias. No contexto da realidade virtual (RV), que busca enriquecer a realidade com informações e interações virtuais através de interfaces imersivas para ampliar ou transformar o entendimento do mundo [Milgram et al. 1995], é essencial medir a eficiência levando em consideração as habilidades dos usuários. No âmbito deste trabalho, a aplicação dessa abordagem para pessoas com deficiência visual resulta em experiências mais eficazes e inclusivas. Estudos como o de [Masud et al. 2022] associam e orientam a utilização de técnicas como áudio espacial e feedback tátil, bem como consideram outros sentidos além da visão. [Guerreiro et al. 2023] investiga a inclusão de pessoas cegas na realidade virtual e propõe um espaço de design para desenvolver feedback de áudio alternativo, destacando a importância de considerar múltiplos modos sensoriais na interação. Essas abordagens contribuem para aprimorar a experiência de interação para pessoas com deficiência visual em ambientes de realidade virtual.

3. Metodologia

A pesquisa de mestrado foi delimitada em três fases complementares, realizadas em paralelo a revisão da literatura, a qual está em constante atualização:

- Fase 1: reconhecimento do problema;
- Fase 2: listagem e hierarquização das tarefas – construção do ambiente imersivo – identificações das interações críticas;
- Fase 3: planejamento dos testes – teste de usuário – análise dos resultados.

3.1. Fase 1: Reconhecimento do Problema

A primeira fase concentrou-se na contextualização do problema. A Figura 1 apresenta a visão macro do ambiente associada a cabine de operação de carregamento de vagão.

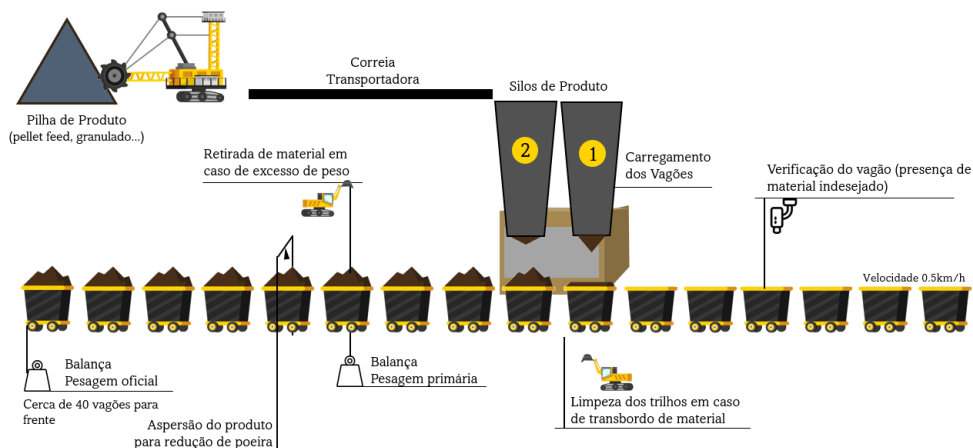


Figura 1. Esquema do pátio de carregamento de minério. Fonte: Autor (2023)

O local trata-se de uma usina de beneficiamento de minério de ferro, onde ocorre o carregamento dos vagões por meio de operadores que controlam a abertura e fechamento de silos. Eles realizam diversas tarefas durante um turno de trabalho, incluindo verificação do peso dos vagões, controle complementar de produto para redução na geração de particulados, verificação da ausência de contaminantes nos vagões vazios, uso de equipamentos com *joysticks* para controlar a abertura dos silos e coordenação com a equipe de locomotivas e usina por meio de rádios. Há desafios de visibilidade devido à sujeira nas janelas e as demandas simultâneas na cabine.

3.2. Fase 2: Exploração do Problema

Na segunda fase listou-se as tarefas do problema a fim de compreender a ordem de execução e suas exceções. Identificou-se pontos críticos na operação, como a utilização dos rádios, a observação de telas em diferentes direções e a falta de padronização na altura máxima do montante de minério no vagão. Com base nessas observações, foram definidas quatro hipóteses como caminhos para refutar ou confirmar a hipótese principal. Quais são:

H1: A alteração do tipo de rádio resulta em diminuição de tempo e carga de trabalho para a realização da tarefa;

H2: A alteração das disposições da TV e do computador resulta em diminuição de tempo e carga de trabalho para a realização da tarefa;

H3: A projeção de uma linha guia na janela à frente ao operador resulta em diminuição de tempo e carga de trabalho para a realização da tarefa;

H4: A sinalização das exceções por estímulo de outros sentidos resulta em diminuição de tempo e carga de trabalho para a realização da tarefa;

Em paralelo a estas definições há a construção do ambiente imersivo virtual. Uma tecnologia para proporcionar a mesma sensação de realidade da operação porém desenvolvida a baixo custo, sem a necessidade de alterações no ambiente físico. O desenvolvimento utilizará os softwares Unity e Inventor, e os equipamentos Meta Quest 2 e HTC VIVE. O experimento será realizado de forma totalmente imersiva, controles representará o movimento das mãos e não terá interações com o ambiente físico.

3.3. Fase 3: Planejamento dos testes

A terceira fase do projeto consiste no planejamento dos testes com usuários. Atualmente, os planos de teste estão em processo de elaboração e serão submetidos ao Comitê de Ética para aprovação. O objetivo principal dessa etapa é avaliar o desempenho da interação imersiva na realidade virtual diante das tarefas designadas, essas focadas no processo de carregamento de vagão. Para isso, os testes serão conduzidos com participantes tanto com deficiência visual quanto sem. O protocolo dos testes seguirá um conjunto de etapas bem definidas: iniciação, treinamento, teste, coleta de dados e encerramento. Em cada condição de teste, os participantes serão convidados a responder a um questionário. O cenário de teste branco envolverá uma interação com o ambiente imersivo sem a projeção da linha guia, telas e rádios sem alterações e sem sinalização sonora. As condições de teste serão controladas, seguindo o formato “within-subject”, todos os participantes realizam os testes em todas as condições. Quais são:

A: Interagir com o ambiente imersivo com a projeção da linha guia, telas e rádios sem alterar e sem sinalização sonora.

B: Interagir com o ambiente imersivo sem a projeção da linha guia, telas com alteração da disposição, rádios sem alterar e sem sinalização sonora.

C: Interagir com o ambiente imersivo sem a projeção da linha guia, telas sem alteração da disposição, rádios com alteração e sem sinalização sonora.

D: Interagir com o ambiente imersivo sem a projeção da linha guia, telas sem alteração da disposição, rádios sem alterar e com sinalização sonora.

A avaliação utilizará de métodos que buscam valores objetivos e subjetivos. Para os objetivos, o tempo de execução será medido por meio do ambiente virtual, para os subjetivos, a coleta de informações dos usuários será realizada utilizando o NASA-Task Load Index (NASA-TLX). Método proposto por [Hart and Staveland 1988] que quantifica a carga de trabalho em tarefas específicas usando seis métricas: demanda mental, física, temporal, desempenho, esforço e nível de frustração. Os usuários atribuem pontuações e fazem comparações entre essas métricas para determinar sua importância e relevância. A Tabela 1 traz a correlação entre as variáveis, métodos, condições de teste e hipóteses.

Tabela 1. Correlações

Varáveis Independentes	Valores	Variável Dependente	Método	KPI	Condição de Teste	Hipótese
Projeção Linha Guia	Sim/Não			Minutos &	A	H3
Disposição das Telas	Atual/Com Modificações	Tempo da Tarefa	Log do	Questionário de	B	H2
Tipo de Atendimento do Rádio	Dispositivo Atual / Botão	& Carga de	Tempo & NASA-TLX	Pontuação das Seis	C	H1
Sinalização de Exceções	Sem Efeito Sonoro/Com Efeito Sonoro	Trabalho		Métricas	D	H4

4. Resultados Preliminares

Como resultado preliminar, destaca-se a construção do ambiente imersivo em andamento. Uma aplicação em realidade virtual interligado a interação humano-computador entre áreas, a fim de prover novas interfaces de interação e no futuro instigar outros sentidos como a audição e/ou feedback tátil. Utilizou-se o software *Inventor Autodesk* para desenho de objetos 3D e o ambiente, o software *Unity*. As imagens e a demonstração dos resultados iniciais desenvolvidos no ambiente imersivo encontra-se em um vídeo que mostra a perspectiva do usuário ao entrar no ambiente imersivo, o vídeo não apresenta som no momento. Acessar por meio do seguinte link: https://youtu.be/vpEgkqN9O_g

5. Cronograma

Dentre as atividades realizadas em 2022 e o primeiro semestre de 2023, destaca-se:

- Elaboração do projeto (Fase 1): Entrega Dez/2022
- Reconhecimento do Problema (Fase 1): Janeiro/2023
- Construção Ambiente Imersivo (Fase 2): Jan-Mai/2023
- Qualificação: Junho/2023

As atividades pro ano de 2023 e primeiro semestre de 2024 serão:

- Submeter para Comitê de Ética: Julho/2023
- Construção do Ambiente Imersivo (Fase 2): Jul-Out/2023
- Estudo e Teste com Usuário (Fase 3): Nov/2023
- Análise dos Resultados (Fase 3): Dez/2023-Jan/2024
- Submeter Artigo Journal/Congresso: Jan/2024
- Defesa: Maio/2024

6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) código 306101/2021-1, FAPEMIG Código de Financiamento APQ-00890-23, do Instituto Tecnológico Vale (ITV) e da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Referências

- Brasil (1991). Dispõe sobre os planos de benefícios da previdência social e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*.
- Guerreiro, J., Kim, Y., Nogueira, R., Chung, S., Rodrigues, A., and Oh, U. (2023). The design space of the auditory representation of objects and their behaviours in virtual reality for blind people. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*.
- Hart, S. G. and Staveland, L. E. (1988). Development of nasa-tlx: Results of empirical and theoretical research. In *Human Mental Workload*. North-Holland.
- Masud, U., Saeed, T., Malaikah, H. M., Islam, F. U., and Abbas, G. (2022). Smart assistive system for visually impaired people obstruction avoidance through object detection and classification. *IEEE access*, 10:13428–13441.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., and Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In Spie, editor, *Telemanipulator and telepresence technologies*.