MONTAGEM DE UMA *SARNDBOX* MODULAR E PORTÁTIL: REQUISITOS, CONFIGURAÇÕES E SIMULAÇÕES INTERATIVAS

Gabriel de Oliveira Barros da Silva[1], Érico Fernando de Oliveira Martins[2]

[1]Universidade do Estado de Mato Grosso, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Engenharia Elétrica, Sinop, Brasil (oliveira.gabriel@unemat.br)
[2]Universidade do Estado de Mato Grosso, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Gestão e Regulação De Recursos Hídricos, Cuiabá, Brasil

Resumo: Esta pesquisa apresenta as etapas para montagem de uma Caixa de Areia de Realidade Aumentada (SARndbox) portátil e modular, integrando hardware (Kinect V2, projetor Epson, GPU NVIDIA) e software (SARndbox-Unity). As inovações incluem carrinho móvel, laterais em vidro temperado, varão ajustável em metalon e suporte para Kinect confeccionado na impressora 3D. Testes validaram simulações de topografia, fluxo de água e vento, com potencial para ensino e pesquisa em geomorfologia.

Palavras-chave: Realidade Aumentada; Caixa de Areia; Geomorfologia.

INTRODUÇÃO

A Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que integra elementos digitais ao ambiente físico em tempo real, criando experiências interativas e imersivas (Azuma, 1997). Embora os primeiros sistemas tenham surgido nas décadas de 1960 e 1990, a RA tem sido reconhecida como prioridade estratégica em políticas de inovação tecnológica, como no plano quinquenal da China (*Asian Development Bank*, 2021), evidenciando seu potencial transformador para diversas áreas do conhecimento.

No contexto educacional e científico, a *Augmented Reality Sandbox* (*SARndbox*) se destaca como uma ferramenta de visualização interativa de fenômenos geomorfológicos. Desenvolvida pelo *KeckCAVES* da Universidade da Califórnia, a *SARndbox* combina uma caixa de areia, um sensor de profundidade *Kinect V2,* um projetor e um computador com *GPU* para projetar curvas de nível e simulações de fluxo de água em tempo real, conforme o usuário molda o relevo manualmente (Reed et al., 2016). Aplicações práticas dessa tecnologia transcendem a geografia: a identificação de áreas de acúmulo de água, contribuindo para a prevenção da proliferação do Aedes aegypti, é uma de suas aplicações (Almeida, 2023), o que evidencia seu caráter interdisciplinar.

No entanto, os projetos originais da *SARndbox* são concebidos como sistemas fixos, o que limita seu transporte e utilização em diferentes ambientes educacionais e de pesquisa. A estrutura típica não contempla soluções integradas para abrigar o computador, o monitor e os sensores em um único conjunto móvel, dificultando sua adoção em contextos como escolas, museus ou eventos de divulgação científica.

Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo geral a montagem, implementação e verificação do funcionamento de uma *SARndbox* com foco em portabilidade e modularidade. Como objetivos específicos, buscou-se: (i) construir uma infraestrutura física e computacional que integre todos os componentes em uma estrutura móvel; (ii) desenvolver soluções modulares para a caixa de areia e os suportes do projetor e do sensor; e (iii) demonstrar a operacionalidade do sistema por meio de simulações topográficas interativas, incluindo curvas de nível, fluxo de água, efeitos do vento e variação de pressão atmosférica.

MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do *SARndbox* seguiu o "Manual de Instalação, Configuração e Uso da Caixa de Areia de Realidade Aumentada (*SARndbox*)" (Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016). Foi necessário ajustar o sistema por meio de uma abordagem prática devido à falta de detalhes cruciais nos manuais. O projeto envolveu a integração de *hardware* e *software.* O *hardware* envolve um computador com *GPU NVIDIA GTX 1050 Ti*, projetor *Epson PowerLite E20* e sensor *Kinect V2*; enquanto o *software* se refere ao *SARndbox-Unity* para realidade aumentada e processamento de mapas de profundidade.

Optou-se pelo manual da UTFPR por abranger a versão mais atual do *software*, desenvolvida em parceria com a Universidade de Monash (Austrália).

Essa versão, disponível no *GitHub*, utiliza aceleração de *GPU* e oferece melhorias significativas na *interface* do usuário, como um processo de calibração simplificada, suporte ao *Kinect V2* e simulações inovadoras: Curvas de Nível, Água (partículas sólidas), Incêndios (controle de vento), Geologia (formações tectônicas), Topografia (relevo preservado) e Ventos (efeito Coriolis).

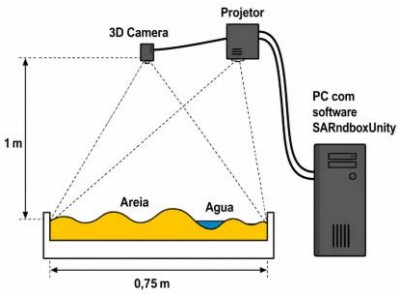


Figura 1. Arranjo básico *SARndbox*.

A escolha da placa de vídeo *GTX 1050 Ti* deveu-se ao seu equilíbrio entre custo e desempenho, alinhado às demandas do *software* e das simulações propostas. Foi adquirido um projetor *Epson PowerLite E20* devido à sua alta qualidade de imagem e capacidade de manter excelente definição em curtas distâncias, com um alcance de projeção entre 0,9m e 10,2m.

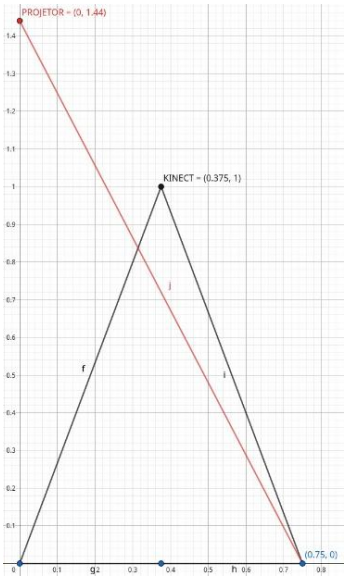


Figura 2. Ângulo do projetor sob o *Kinect*.

Com base no projeto original de Kreylos (2016), foi desenvolvido o projeto da caixa de areia, com espaço para o sensor *Kinect V2* e o projetor *Epson PowerLite E20*. Primeiro, foram revisadas as especificações técnicas da *SARndbox*, com foco no alinhamento entre o projetor e o sensor *Kinect*. O projetor deve estar no centro da maior lateral da caixa, a 90° e com proporção de 4:3, enquanto o *Kinect* deve ser posicionado no centro da caixa, alinhado ao projetor. Os ângulos de projeção e leitura são, respectivamente, 45° e 60°.

Foi desenvolvida uma equação para evitar que a estrutura do *Kinect* interfira na projeção, prevenindo sombras e obstruções. Com o ângulo de projeção de 45° e a proporção de 4:3, a equação fundamental da reta descreve o ponto da projeção no eixo y em relação à distância no eixo x:

$$y = 0{,}52x \tag{1}$$

Para verificar se haverá coincidência entre a projeção e a posição do *Kinect*, seja considerado *kx* e *ky* como a posição do *Kinect*. Cálculo do coeficiente angular (m) onde (x0, y0) e (x1, y1) são os pontos (0, 0) e (1,44, 0,75), respectivamente:

$$m = \frac{0{,}75 - 0}{1{,}44 - 0} = 0{,}52 \tag{2}$$

Substituindo $x = kx = 0{,}44$ na equação da reta:

$$y = 0{,}52 \cdot 0{,}44 = 0{,}22 \tag{3}$$

Este resultado mostrou que não haveria sobreposição, e a margem de ajuste fino do *Kinect* é dada por:

$$ky - y = 0{,}375 - 0{,}22 = 0{,}155m \tag{4}$$

Com a informação do posicionamento, ajustes do projetor e do *Kinect V2* em mãos, o varão de suporte para os sensores pode ser projetado (Figura 3).

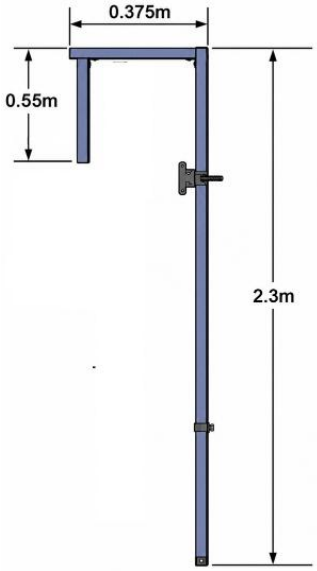


Figura 3. Projeto do varão em L.

Após a etapa de montagem física, instalação do software e calibração do sistema, foram realizados testes experimentais para verificar a operacionalidade da *SARndbox* em diferentes cenários de simulação interativa. As avaliações contemplaram a geração de curvas de nível, simulações de fluxo de água, efeitos do vento e variações topográficas, permitindo analisar tanto o desempenho computacional quanto a integração entre os componentes físicos e digitais do sistema. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos na seção seguinte.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Projetou-se uma estrutura de base em perfil metálico de seção quadrada com faces de 20mm (Metalon galvanizado), com dimensões internas de 1,00m × 0,75m, equipada com quatro rodas giratórias com trava. O projeto incluiu dois diferenciais: (a) um compartimento inferior de 0,40m de altura, localizado abaixo do plano da caixa de areia, destinado a abrigar o computador; (b) um orifício estrutural de 20mm de diâmetro na face traseira superior, posicionado para permitir o acoplamento direto do monitor utilizando seu próprio eixo de sustentação. O referencial para o projeto é a Figura 4.

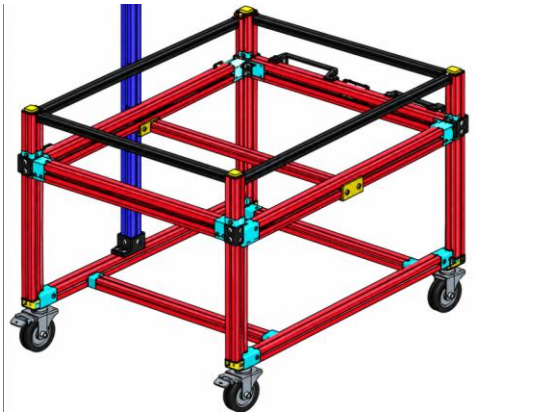


Figura 4. Projeto do carrinho. Adaptado de SPACECO (2019).

O projeto da caixa é composto por uma base estrutural em MDF de 15mm com dimensões de 1,00m×0,75m, e quatro laterais em vidro temperado transparente de 9mm de espessura (duas placas de 0,75m×0,20m e duas de 1,00m×0,20m).

As laterais foram projetadas para encaixe por sobreposição, permitindo desmontagem completa. A Figura 5 mostra a vista lateral do projeto da caixa de areia.

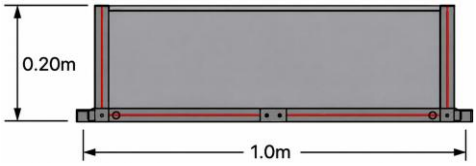


Figura 5. Visão lateral do projeto da caixa de areia.

Logo no início do projeto, foi confeccionado o varão de suporte, dando início à construção da estrutura que sustentaria a realidade aumentada (Figura 6). Optou-se pelo metalon com perfis de 2 cm devido à sua resistência e durabilidade essenciais para suportar os equipamentos eletrônicos.

Após a montagem da estrutura metálica de base, uma caixa de vidro temperado foi encomendada sob medida para encaixar-se sobre a estrutura metálica, seguindo as especificações técnicas do desenho original, baseados na Figura 4. A escolha do material priorizou evitar quinas cortantes e manter a transparência para melhor visualização lateral das projeções. O resultado é mostrado na Figura 7.



Figura 6. Estrutura metálica da *SARndbox*.



Figura 7. Caixa de vidro temperado sobre a estrutura metálica da *SARndbox*.

Com a estrutura base completa, na impressora 3D foi impresso o suporte para o *Kinect V2*, conforme o modelo 3D da Figura 8. A Figura 9 apresenta o suporte em questão. Na etapa seguinte, foi confeccionado um suporte para o projetor, o resultado pode ser visto na Figura 10. A combinação do carrinho (estrutura metálica base), caixa de vidro, suporte do *Kinect V2* e projetor, é exibida na Figura 11.

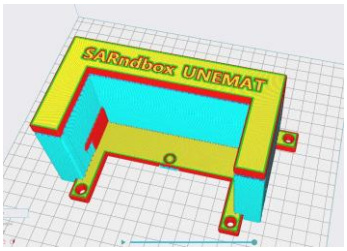


Figura 8. Modelo 3D do suporte para o *Kinect V2*.



Figura 9. Visão frontal do suporte impresso para o *Kinect V2*.



Figura 10. Visão frontal e visão lateral do suporte confeccionado para o projetor.



Figura 11. *SARndbox* montada com estrutura física e *hardware*.

Para o funcionamento do sistema, foi implantado o *software* da *SARndbox* desenvolvido pelo *SensiLab* na Universidade Monash, Austrália. Trata-se de uma reimplementação em *Unity* da versão original de *UC Davis*, escolhida por oferecer suporte nativo ao *Kinect V2*, simulações mais avançadas e um processo de calibração simplificado (*SensiLab*, 2018).

A configuração utilizada para execução do *software* consistiu em:

1. Computador: Processador Intel Core i5, 8 GB de *RAM*, placa de vídeo *NVIDIA*
2. *GeForce GTX 1050* com 2 GB de memória dedicada.
3. Sistema Operacional: *Windows 10 Professional*.
4. Periféricos: Sensor *Kinect for Windows* v2 e *Epson PowerLite E20*.

O procedimento de instalação seguiu as seguintes etapas: Instalação do *Kinect for Windows SDK* 2.0: Primei*ram*ente, o *SDK* oficial da Microsoft foi instalado para garantir o reconhecimento e a comunicação adequados com o sensor *Kinect v2*.

Download e Extração do *Software*: O *software* da *SARndbox* foi obtido através do repositório *GitHub* da Rede *SARndbox*. O software foi obtido no repositório *GitHub* da Rede *SARndbox*, onde a versão compilada "*SARndBox Unity* V.0.0.1" foi baixada e extraída para uma pasta local no computador.

Configuração de Múltiplos Monitores: Um desafio inicial comum foi a configuração correta das saídas de vídeo. A placa de vídeo *NVIDIA* utilizada possuía apenas uma saída *HDMI* (conectada ao projetor) e uma *VGA* (conectada ao monitor). Por padrão, o sistema priorizava a saída *HDMI* como tela principal, fazendo com que a *interface* do *software* fosse projetada na caixa de areia, enquanto a simulação era exibida no monitor. Para corrigir isso, foi necessário acessar o Painel de Controle da *NVIDIA* e definir o monitor *VGA* como a tela primária, garantindo que a *interface* do *software* ficasse no monitor e a projeção visual, no projetor.

Execução e Verificação: Com a configuração de vídeo correta, o executável "*sensilab*-utfpr" foi iniciado. A inicialização bem-sucedida foi confirmada pela exibição da *interface* de usuário no monitor e pela projeção de uma imagem de fundo na caixa de areia, indicando que o sistema estava pronto para a fase de calibração.

O processo de calibração do sistema *SARndbox* compreende três etapas sequenciais e interdependentes, fundamentais para garantir a integração precisa entre o sensor *Kinect*, o projetor e a superfície dinâmica da caixa de areia. Cada etapa utiliza interfaces gráficas específicas, conforme descrito a seguir.

A primeira etapa visa estabelecer a correspondência geométrica entre a projeção visual e a captura 3D do *Kinect*. Para isso, o usuário deve arrastar pontos de controle ciano (exibidos no monitor) para delimitar os cantos físicos da caixa de areia. Simultaneamente, pontos vermelhos são ajustados sobre a projeção mapeada na superfície da areia, garantindo a sincronização espacial entre o sistema óptico e o sensor.

Este passo é crítico para evitar distorções e assegurar que as interações na areia correspondam visualmente às projeções. A *interface* inclui opções para "Voltar" e "Próximo", permitindo revisões iterativas antes de avançar.

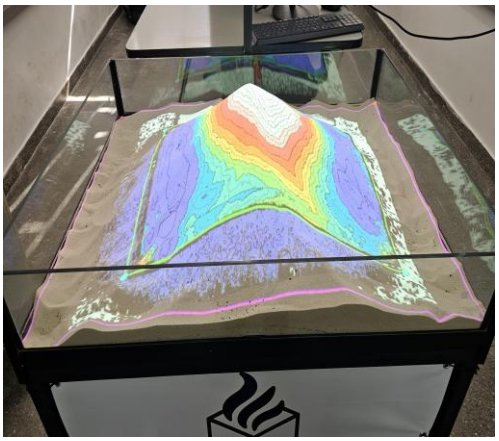


Figura 12. Marcando os pontos de controle para alinhamento do *Kinect* e projetor.

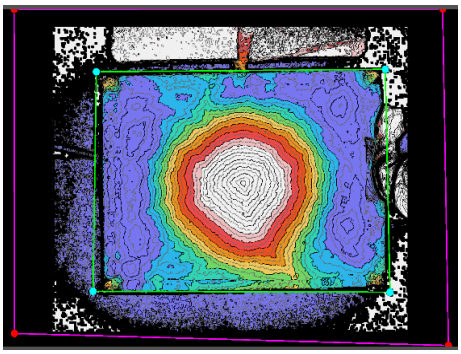


Figura 13. Parte da *interface* de calibração com linhas de contorno da caixa de areia.

Na segunda etapa, realiza-se o mapeamento cromático baseado na topografia. O usuário define a faixa de profundidade tocando no ponto mais baixo e no mais alto da superfície. Controladores laterais permitem ajustes finos na escala de cores, associando tonalidades específicas a intervalos de elevação (azuis para regiões profundas, vermelhos para áreas elevadas), conforme a Figura 14 e 15.

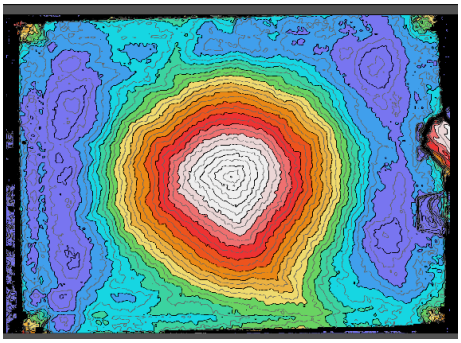


Figura 14. Caixa de areia na interface de calibração de cores por profundidade.

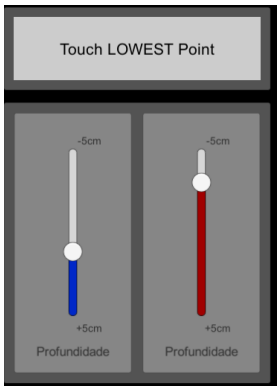


Figura 15. Botões de ajuste na interface de calibração de cores por profundidade.

A etapa final otimiza o posicionamento da imagem projetada. A Figura 16 apresenta a leitura do *Kinect V2* durante a calibração deste item. Em seguida, por meio da *interface* "*Deslocamento de Lente*" (Figura 17), parâmetros como deslocamento horizontal, escala vertical e translação vertical são ajustados para alinhar picos e vales da projeção com relevo físico da areia. A função "*Reset Parameters*" permite restaurações rápidas, enquanto opções como "*Shrink*" e "*Grow*" redimensionam a imagem proporcionalmente. Este refinamento é crucial para evitar artefatos de borda e garantir que elementos projetados coincidam com as deformações manuais na areia.

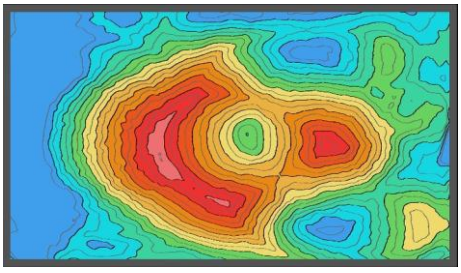


Figura 16. Caixa de areia na *interface* de calibração de lente para otimização da projeção.

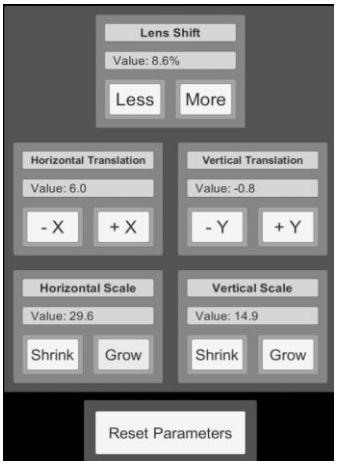


Figura 17. Botões da *interface* de ajuste do deslocamento de lente para otimização da projeção.

Para a simulação de curvas de nível, foram moldadas três depressões na caixa de areia: uma central e duas laterais menores. As curvas de nível projetadas aderiram com precisão ao relevo físico, com curvas mais próximas nos declives íngremes e mais espaçadas nos suaves. A versão colorida utilizou tons quentes para áreas altas e frios para baixas, facilitando a interpretação visual, conforme comparação entre os itens (A) e (B) da Figura 18.

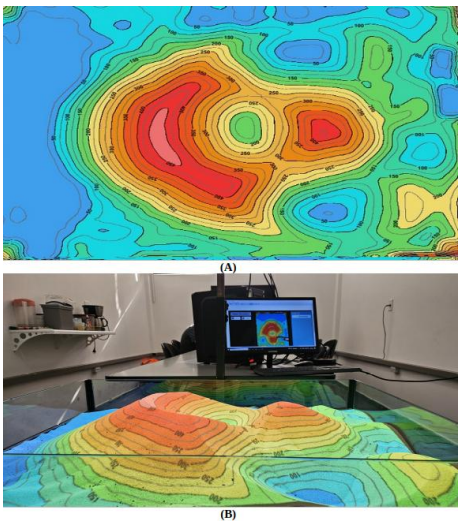


Figura 18. (A) *interface* do *software SARndbox* com curvas de nível e (B) visão lateral da simulação.

Para a simulação de deslocamento da água fo*ram* moldadas três depressões na areia: uma central mais profunda e duas laterais, separadas por barreiras (Figuras 19 e 20). A depressão central foi então preenchida com simulação de água, e o *software* projetou a superfície simulada com coloração azul representando o nível da água, em contraste com as regiões elevadas em tons alaranjados e vermelhos. Após o enchimento, as barreiras laterais foram removidas manualmente, e o sistema atualizou imediatamente a projeção, simulando o fluxo descendente e a formação de canais preferenciais até um novo equilíbrio hidráulico. O comparativo das Figuras 19 e 20 mostra a sincronia entre as interações físicas e o processamento da *SARndbox*.

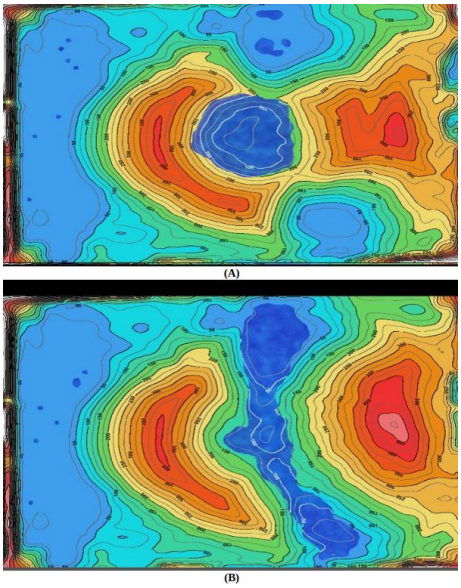


Figura 19. *interface* do *software* com simulação da (A) depressão central cheia com água e (B) simulação do fluxo após destruição das barreiras.

A Figura 20 apresenta o comportamento físico observado na caixa de areia durante o experimento, evidenciando a correspondência entre a dinâmica real da água e a simulação processada pelo software.

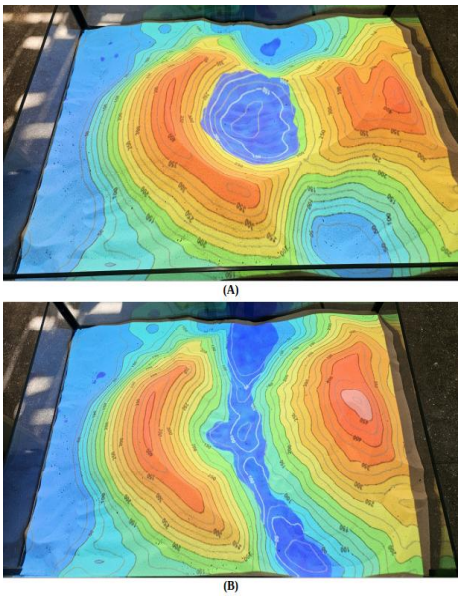


Figura 20. Fotografia da *SARndbox* durante a simulação de fluxo de água; (A) Depressão central cheia com água, (B) Simulação do fluxo após destruição das barreiras.

Para simulação de efeitos do vento em relevo, três cumes foram modelados. Ao ativar a simulação de vento, o sistema projetou erosão no barlavento e deposição no sotavento em tempo real. Na Figura 21,

a comparação entre a *interface* do software (A) e a caixa interativa (B) confirmou a sincronia.

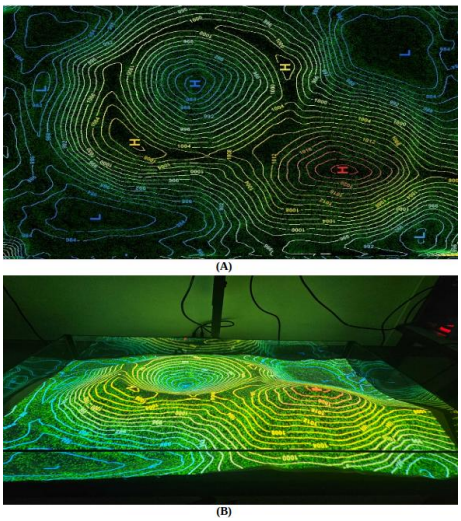


Figura 21. (A) *Interface* do *software* simulação de vento; (B) *SARndbox* durante simulação de vento.

Para simulação de variação de pressão atmosférica, foram modelados dois cumes com altitudes simuladas de aproximadamente 1000 m, separados por um vale central de 984 m. Ao ativar a simulação, o sistema projetou gradientes de pressão sobre a superfície, com tons vermelhos indicando alta pressão nos cumes e azuis indicando baixa pressão no vale, reproduzindo padrões típicos da circulação atmosférica. A projeção atualizou-se em tempo real, mantendo as curvas altimétricas visíveis para auxiliar a interpretação.

A Figura 22 exibe o comportamento da *interface* gráfica e da caixa de areia interativa.

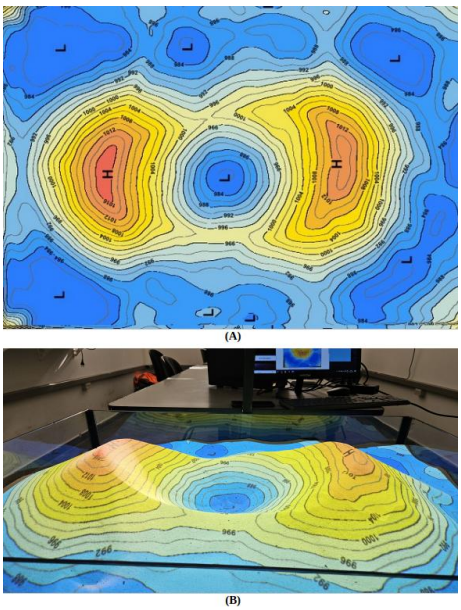


Figura 22. (A) *Interface* do *software* simulação de pressão atmosférica; (B) projeção na *SARndbox*.

Para a simulação de propagação de incêndio, duas elevações fo*ram* moldadas formando um vale central.

A simulação de propagação de fogo foi iniciada a partir do canto esquerdo, com expansão progressiva das chamas sobre as encostas. O modelo computacional considera parâmetros topográficos e atmosféricos, incluindo direção e velocidade do vento, configuráveis por painel interativo. As Figuras 23 (*interface* gráfica) e 24 (*SARndbox*) mostram as etapas da propagação, incluindo a fase avançada em que o fogo transpôs a crista e alcançou o setor central, evidenciando a correspondência entre o comportamento observado na interface gráfica e na caixa de areia.

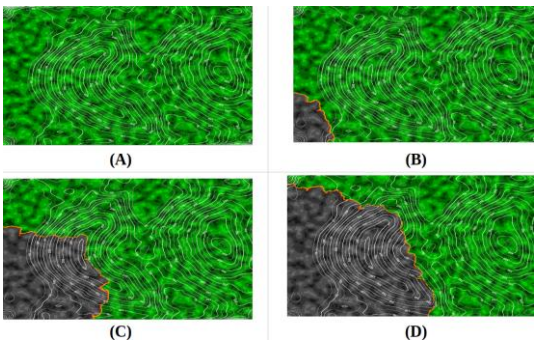


Figura 23. (A) Simulação de incêndio progredindo na *interface* do *software*, sequência de imagens (A), (B), (C) e (D).

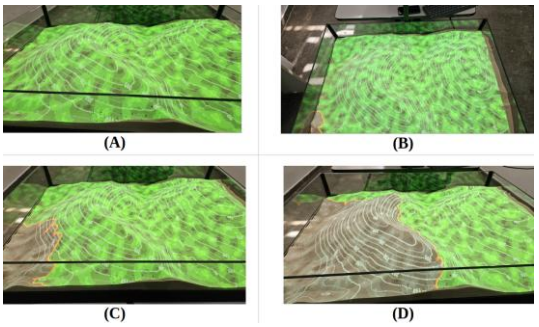


Figura 24. Simulação de incêndio progredindo na *SARndbox*, sequência de imagens (A), (B), (C) e (D).

O construtor topográfico permite salvar uma topografia de referência e comparar dinamicamente com alterações subsequentes: regiões abaixo do modelo salvo são projetadas em azul e as acima em rosa. Um cume central foi moldado e salvo (elevação máxima de 550 unidades), e o relevo foi manualmente destruído (Figuras 25 e 26).

O sistema detectou as variações em tempo real, e o relevo foi reconstruído manualmente utilizando as cores como guia, resultando em uma topografia quase idêntica à original, com predominância da cor verde. As Figuras 25 e 26 mostram a sequência de trabalho do construtor topográfico, evidenciando que a representação da *interface* do software é compatível com a interação na caixa de areia para essa funcionalidade. Isto valida a eficácia do sistema para tarefas de restauração e modelagem geomorfológica.

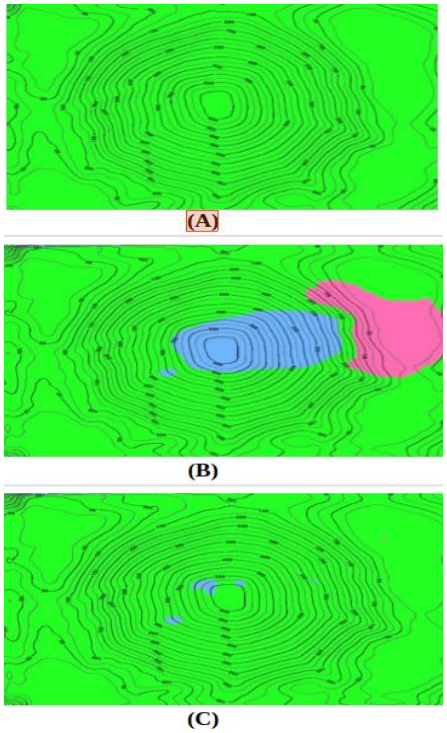


Figura 25. Construtor topográfico na interface do *software*; (A) relevo original, (B) diferenças altimétricas e (C) relevo reconstruído.

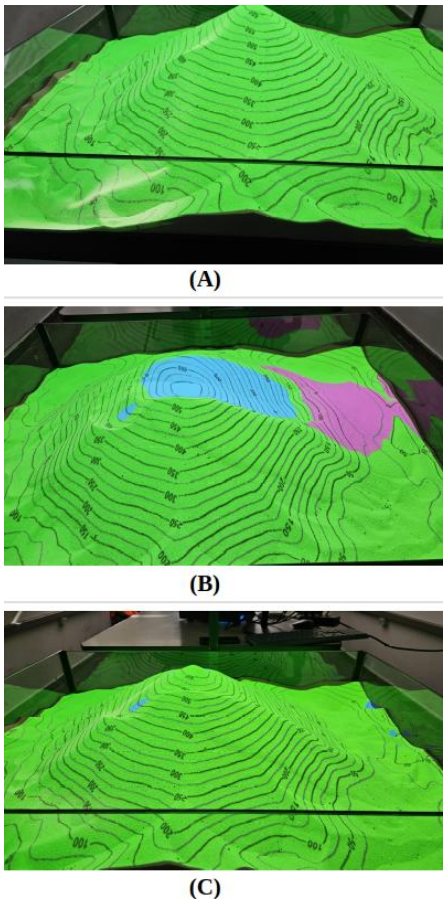


Figura 26. Construtor topográfico na SARndbox; (A) relevo original, (B) diferenças altimétricas e (C) relevo reconstruído.

Essa precisão demonstra a eficácia do construtor topográfico em tarefas de restauração e calibração interativa. As imagens evidencia*ram* a sincronia entre o relevo físico e a projeção digital, sem distorções, reforçando a robustez do sistema para simulações comparativas de topografias.

As contribuições desse trabalho são o desenvolvimento de um sistema modular e desmontável, composto por quatro elementos principais que conferem mobilidade, portabilidade e facilidade de manutenção à *SARndbox*.

Carrinho de suporte móvel com integração de equipamentos. A estrutura de base foi construída em perfil metálico de seção quadrada de 20mm (Metalon galvanizado), equipada com rodas giratórias. O carrinho foi dimensionado para suportar o peso da caixa de areia preenchida e dos equipamentos eletrônicos. Dois diferenciais foram incorporados: (a) um compartimento inferior, localizado abaixo da caixa de areia, para abrigar o computador com segurança, protegendo-o contra respingos de areia ou água; (b) um orifício estrutural na face traseira superior que permite o acoplamento direto do monitor utilizando seu próprio eixo de sustentação (padrão *VESA*), dispensando a base convencional de mesa. Essa configuração centraliza todos os componentes em uma única estrutura móvel e autossuficiente.

Caixa modular desmontável. O sistema de compartimentação foi projetado com base estrutural em MDF de 15mm (1,00m × 0,75m) e quatro laterais em vidro temperado transparente de 9mm de espessura (duas de 0,75m×0,20m e duas de 1,00m ×0,20m). As laterais transparentes permitem a visualização lateral do relevo moldado, enquanto a modularidade facilita a substituição de componentes em caso de danos.

Varão principal de suporte com sistema de ajuste. Uma haste vertical de 2,3m de altura, também em perfil de 20mm, foi fixada ao carrinho por parafuso de torção manual. O topo da haste recebeu o projetor *Epson PowerLite E20* com inclinação ajustável de 45°, garantindo altura adequada para a projeção vertical, estabilidade estrutural e facilidade de montagem/desmontagem.

Varão ajustável em formato L. Um suporte auxiliar em formato L (braço horizontal de 37,5cm e vertical de 55cm) foi desenvolvido para acoplar o sensor *Kinect V2*. O sistema de fixação inclui parafuso de torção manual que permite deslocamento de ±7,5cm em relação à posição central. O alinhamento foi otimizado para evitar interferência entre a projeção e o sensor, eliminando sombras indesejadas. O cálculo geométrico apresentado na seção anterior demonstrou uma margem de ajuste fino de 15cm, assegurando a ausência de sobreposição.

A escolha do perfil metálico de seção quadrada de 20mm para todos os componentes estruturais garantiu

uniformidade na construção, facilitou as conexões entre as peças e proporcionou resistência adequada com leveza para mobilidade. Esse conjunto de inovações transforma a *SARndbox* de um sistema fixo em uma solução portátil, compacta e autossuficiente, ampliando suas possibilidades de uso em diferentes ambientes educacionais e de pesquisa.

CONCLUSÃO

A pesquisa alcançou seu objetivo de montar, implementar e verificar o funcionamento de uma Caixa de Areia de Realidade Aumentada (*SARndbox*) com foco em portabilidade e modularidade. O sistema integrou *hardware* (*Kinect V2*, projetor *Epson PowerLite E20*, computador com *GPU NVIDIA GTX 1050 Ti*) e *software SARndbox-Unity*, resultando em um equipamento operacional estável.

As principais contribuições fo*ram* o desenvolvimento de uma estrutura móvel com carrinho de suporte, caixa modular desmontável com laterais em vidro temperado, varão principal ajustável e suporte em L para o *Kinect V2*, com cálculo geométrico que assegurou margem de 15cm para alinhamento. Essas inovações conferem mobilidade e facilidade de manutenção ao sistema.

Os testes de simulação (curvas de nível, fluxo de água, efeitos do vento, variação de pressão atmosférica e construtor topográfico) confirma*ram* a capacidade do sistema de gerar nuvens de pontos 3D e projeções interativas em tempo real, com boa correspondência entre o relevo físico e a projeção digital.

Como limitação, o sensor *Kinect V2* apresenta sensibilidade à alta luminosidade e resolução espacial limitada. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a substituição pelo *Azure Kinect*, que oferece maior precisão, além da validação formal do sistema em contextos educacionais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPPG) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) pela concessão da bolsa PIBIC-AF, essencial para a minha dedicação a esta pesquisa. Agradeço ao Prof. Dr. Rodrigo Bruno Zanin, professor da UNEMAT e Secretário Adjunto de Desenvolvimento Científico, Tecnológico e Inovação, pelo incentivo e apoio institucional ao projeto por meio do Laboratório de Informação Espacial (SpInLab). Registro também agradecimento à equipe da Rede SARndbox e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), pela disponibilização do manual técnico, documentação e adaptações do software utilizadas como referência para implementação do sistema. Por fim, agradeço aos integrantes do projeto e aos colegas do Laboratório de Análise de Imagens Digitais (LAID), pelo companheirismo, troca de conhecimentos e ambiente colaborativo que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. AR Sandbox: Aplicação da Realidade Aumentada para a conscientização sobre os riscos de áreas alagadas na proliferação do vetor Aedes aegypti. 2023.

ASIAN DEVELOPMENT BANK. The 14th Five-Year Plan of the People's Republic of China — Fostering High-Quality Development. 2021. Disponível em: <https://www.adb.org/publications/14th-five-year-plan-high-quality-development>. Acesso em: 24 ago. 2025.

AZUMA, R. T. A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, v. 6, n. 4, p. 355–385, 1997. Disponível em: <https://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/pres.1997.6.4.355>. Acesso em: 24 ago. 2025.

KREYLOS, O. AR Sandbox Project. 2016. Disponível em: <https://arsandbox.ucdavis.edu>. Acesso em: 24 ago. 2025.

REED, S.; KREYLOS, O.; HSI, S. The Augmented Reality Sandbox: A Tool for Geoscience Education. Eos, v. 97, 2016. Disponível em: <https://eos.org/project-updates/the-augmented-reality-sandbox>. Acesso em: 24 ago. 2025.

SENSILAB; MONASH UNIVERSITY. SARndbox-Unity: Augmented Reality Sandbox for Kinect V2. 2018. Disponível em: https://github.com/redesarndbox/sarndboxV2. Acesso em: 24 ago. 2025.

SPACECO; NEFF POWER. *Augmented Reality Sandbox: component list and sandbox cart design*. Rosemont, IL; Earth City, MO, 2019.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Manual de Instalação, Configuração e Uso da Caixa de Areia de Realidade Aumentada (SARndbox). 2016. Disponível em: <https://www.utfpr.edu.br/>. Acesso em: 24 ago. 2025.