

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

OLIVIA MIRANDA DE PAULA ASSIS

Modelo SANDBOX da Serra do Lajeado – TO: uma contribuição da realidade aumentada para estudos geomorfológicos

SANDBOX Representation of Serra do Lajeado - TO: a contribution of augmented reality to geomorphological studies

São Paulo

2024

OLIVIA MIRANDA DE PAULA ASSIS

Modelo SANDBOX da Serra do Lajeado – TO: uma contribuição da realidade aumentada para estudos geomorfológicos

Trabalho de Graduação Integrado (TGI) apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Fernando Nadal
Junqueira Villela

São Paulo

2024

ASSIS, Olivia Miranda de Paula. **Modelo SANDBOX da Serra do Lajeado – TO:** uma contribuição da realidade aumentada para estudos geomorfológicos. Trabalho de Graduação Integrado (TGI) apresentado à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Dedico este trabalho à minha família que sempre me apoiou nas minhas escolhas mais inusitadas e que me ajudou ao longo do percurso e ao meu companheiro de vida que sempre esteve ao meu lado me incentivando e torcendo por mim

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai que sempre apoiou meus estudos, mesmo nos momentos mais difíceis e sempre me incentivou a estudar e entrar em uma universidade pública, fruto do meu esforço e dedicação. A ele que me levou para fazer minha matrícula e que todo orgulhoso me deixou no meu primeiro semestre na universidade que um dia ele frequentou.

À minha mãe que sempre cuidou de mim, me ensinou coisas extremamente valiosas para o que eu sou hoje, sempre me apoiando e estando presente, às nossas fofocas, conversas a noite antes de dormir e todo o seu investimento e incentivo na minha educação.

À Sophia, minha irmã, companheira, obrigada por todas as conversas sobre o futuro, dicas sobre os caminhos a seguir, conselhos, pela parceria e irmandade que nosso pai sempre nos incentivou. Obrigada por cuidar de mim e ser um exemplo que eu sempre sigo.

À Mariana, minha irmã, companheira, obrigada por todos os conselhos, todas as conversas antes de dormir, desabafos e incentivo. Só tenho a agradecer por ter irmãs que são minhas melhores amigas e meus modelos de vida.

Ao Kelvin, meu amor, meu companheiro de vida, obrigada por toda ajuda em todos os anos que estamos juntos, a todo o incentivo e apoio nas minhas decisões e nos meus projetos. Obrigada por trilhar a vida comigo.

À toda minha família, minha avó Juju que é meu exemplo de vida, aos meus cunhados Felipe e Rodrigo que são muito amigos, incentivadores e apoiadores, à minha irmã do coração Lara Lima que sempre esteve ao meu lado e sempre me incentivou e aos meus queridos amigos do Machu Grande.

Ao Prof. Dr. Fernando pela atenção e apoio durante o processo de elaboração deste trabalho, pelo incentivo em todas as etapas e por acreditar na viabilização deste projeto.

Ao Prof. Dr. Felipe Toledo pela disponibilidade do uso do seu laboratório, incentivo e apoio durante a realização deste trabalho.

À Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, pela oportunidade de realização do curso e pelas oportunidades que me proporcionaram em todos os cinco anos de graduação.

RESUMO

ASSIS, Olivia Miranda de Paula. **Modelo SANDBOX da Serra do Lajeado - TO**: uma contribuição da realidade aumentada para estudos geomorfológicos. 2024. 35 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

O objetivo do presente trabalho foi testar a representação da área de estudo, Serra do Lajeado, Planalto Dissecado do Tocantins, localizada em Palmas, capital do estado, pelo uso da ferramenta SARndbox (Caixa de Areia de Realidade Aumentada). Para essa finalidade, foi elaborada uma maquete do relevo serrano citado utilizando-se o Google Earth para a escolha do mesmo, na qual a ferramenta SARndbox foi projetada. Esse procedimento permitiu assim compreender como se dá o processo geomorfológico da denudação a partir da simulação da hidrodinâmica de superfície, evidenciando a importância do uso da tecnologia de realidade aumentada na visualização da área estudada, além de sua utilidade em outros projetos visando tanto o caráter técnico quanto o Ensino. Através de testes realizados na SARndbox disponibilizada pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, foi possível constatar a eficácia do software em demonstrar o alcance do fluxo de sedimentos que escoam do Planalto ao nível da Depressão do Tocantins, chegando até as áreas da Planície Fluvial.

Palavras-chave: Serra do Lajeado, Denudação, Processos Erosivos, Movimentação de Massa, Ensino de Geografia.

ABSTRACT

ASSIS, Olivia Miranda de Paula. **SANDBOX Representation of Serra do Lajeado - TO: a contribution of augmented reality to geomorphological studies.** 2024. 35 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

The objective of the present work was to test the representation of the study area, Serra do Lajeado, Dissected Plateau of Tocantins, located in Palmas, capital of the state, through the use of the SARndbox tool (Augmented Reality Sandbox). For this purpose, a model of the aforementioned ridged relief was created using the Google Earth to choose it, on which the SARndbox tool was designed. This procedure thus allowed us to understand how the geomorphological process of denudation occurs based on the simulation of surface hydrodynamics, highlighting the importance of using augmented reality technology in visualizing the studied area, in addition to its usefulness in other projects aiming technical and teaching purposes. Through tests carried out on the SARndbox made available by the Oceanographic Institute of the University of São Paulo, it was possible to verify the effectiveness of the software in demonstrating the range of the sediment flow that denudates the Plateau to the level of the Tocantins Depression, reaching the areas of the River Plain.

Keywords: Serra do Lajeado, Denudation, Erosive Processes, Mass Movement, Geography Teaching

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA	13
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	18
5. PROCESSOS METODOLÓGICOS	24
6. RESULTADOS	28
7. CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

O uso da tecnologia para se obter novos dados e representações espaciais para pesquisa vem se tornando cada vez mais crescente atualmente, principalmente para a Geografia. Observando as possibilidades de multidisciplinaridade, a tecnologia consegue juntar diversos aspectos e visões da área acadêmica e sintetizá-los em apenas um produto, como um mapa feito no software QGIS, por exemplo. O banco de dados que foi se formando através da tecnologia tem um efeito extremamente positivo nas pesquisas, uma vez que não há a necessidade de se coletar os dados primários, procedimento que torna o trabalho mais longo. Como alternativa, atualmente é possível baixar dados secundários através de alguns sites que fornecem dados estatísticos como o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e o SEADE (Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados Estatísticos).

O trabalho de campo não deixa de ser essencial para a pesquisa na Geografia, mas algumas tecnologias podem auxiliar na visualização do relevo que se quer estudar de forma remota para compreender processos geológicos e geomorfológicos de forma mais aprofundada. É o caso da ferramenta SARndbox (Augmented Reality Sandbox - ARS).

Essa ferramenta é uma Caixa de Areia de Realidade Aumentada que visa a integração de um sistema de realidade aumentada a modelos topográficos, que são criados de forma física e possuem sua superfície escaneada em tempo real. (MEZZOMO et al., 2020).

O produto final é um sistema contendo computador, projetor, sensor de profundidade (Microsoft Kinect) e uma caixa que contém material manipulável, no caso, a areia. A SARndbox é um projeto original do professor Oliver Kreylos, do Departamento de Ciência da Computação da Universidade da Califórnia Davis (UC Davis) e está disponível de forma gratuita na internet sob licença GNU.

A Realidade Aumentada pode ser entendida como uma ampliação da percepção do mundo real, ao adicionar informações extras. Isso ocorre através da inserção de elementos virtuais no ambiente físico, criando a impressão de que esses objetos digitais estão presentes no mesmo espaço, desde que certas condições sejam atendidas. Entre suas vantagens, destaca-se a capacidade de utilizar tanto texto quanto imagens para comunicar informações, o que facilita a interação dos usuários e os envolve de maneira mais eficaz com as aplicações. (MEZZOMO et al., 2020).

Com isso, seu uso pode ser de grande utilidade em diversas áreas da Geografia, como para o seu ensino nas escolas e para o desenvolvimento de projetos na área de planejamento ambiental, por exemplo. A possibilidade de representar diversas dinâmicas terrestres utilizando esse software envolve os alunos no aprendizado e conecta a parte teórica com a parte prática, de forma que eles entendam a necessidade de se aprender o conteúdo dado em aula e tentar levar para o mais próximo do seu cotidiano.

No entanto, existem barreiras para que a realidade aumentada possa ser implementada de fato no ensino de Geografia, visto que é necessário que se domine a linguagem da programação e o fato desses conhecimentos não estarem na base curricular dos cursos de Geografia, fazendo com que o profissional deva aprender os conceitos e técnicas da informática de forma independente.

Além do ensino, há a possibilidade de usar a SARndbox para estudos mais técnicos da Geografia, como na área de Licenciamento Ambiental, para que se possa representar uma área e testar, por exemplo, se o local é propício para certo a construção civil ou de barragens. Há também a possibilidade de se representar movimentos de massa, em especial as corridas de detritos e até mesmo, no caso das construções, o rompimento de barragens. Essa utilização da ferramenta como um método com potencial preditivo em termos de planejamento ambiental é uma parte importante do desenvolvimento do trabalho.

Pensando nesse último uso citado, o estudo teve como objetivo testar a representação de um relevo tabular em área de Cerrado para compreender a viabilidade da Caixa de Areia como uma ferramenta de estudo de forma remota e dinâmica, além de verificar a potencialidade de processos geomorfológicos (hidrodinâmica de superfície) que são de complexa visualização no campo. A Serra do Lajeado, localizada em Palmas, Tocantins, região Centro-Oeste do Brasil, é a área escolhida para tal representação.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho foi testar a representação do fluxo de sedimentos da área de estudo, Serra do Lajeado, localizada em Palmas, Tocantins, com o uso da ferramenta SARndbox (Caixa de Areia de Realidade Aumentada). Além disso, de forma mais específica, era esperado que o projeto possibilitasse compreender como se dá o processo geomorfológico da denudação a partir da simulação da hidrodinâmica de superfície, evidenciando a importância do uso da tecnologia de realidade aumentada na visualização da área estudada e seu potencial para a predição de processos hidrodinâmicos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA E METODOLOGICA

A cartografia é a área de conhecimento que trata da ciência e da arte de representação gráfica da superfície da Terra, seja de uma parte ou de seu todo, de acordo com uma escala. O seu produto final é um mapa ou uma carta (FILIPE et al. 2012).

A representação gráfica é a linguagem pela qual a cartografia cria suas raízes. Por ser uma linguagem, deve-se estar atento a sua semiologia gráfica. Ela tem como tarefa essencial transcrever as três relações fundamentais de diversidade, ordem e de proporcionalidade, que se podem estabelecer entre objetos, fatos e fenômenos que compõem a realidade considerada, por relações visuais de mesma natureza (VENTURI et al. 2011). Neste estudo, a carta topográfica utilizada foi elaborada utilizando as conotações da escala.

Segundo Fabrikant (2001), escala é um conceito que possui diversos tipos de usos e significados e está associada ao tamanho dos objetos estudados e ao nível de detalhe que será adotado na pesquisa, ou seja, é a natureza dos fenômenos que irá definir a escala das análises. O conceito de escala cartográfica está na relação constante existente entre as dimensões representadas na carta e seus valores reais correspondentes no terreno (FILIPE et al. 2011).

Para definir qual será a escala utilizada, deve-se ter em mente que quanto maior o denominador, menor será a escala, logo, a escala grande possui um número de detalhes maior e representa uma pequena extensão. Já a escala pequena possui poucos detalhes e representa uma grande extensão (VENTURI et al. 2011, p.173). Para o projeto, foi utilizada uma escala grande com maior número de detalhes para que se possa aproximar mais ainda da realidade da constituição da área de estudo escolhida, sendo ela 1:20.000 (Figura 1).

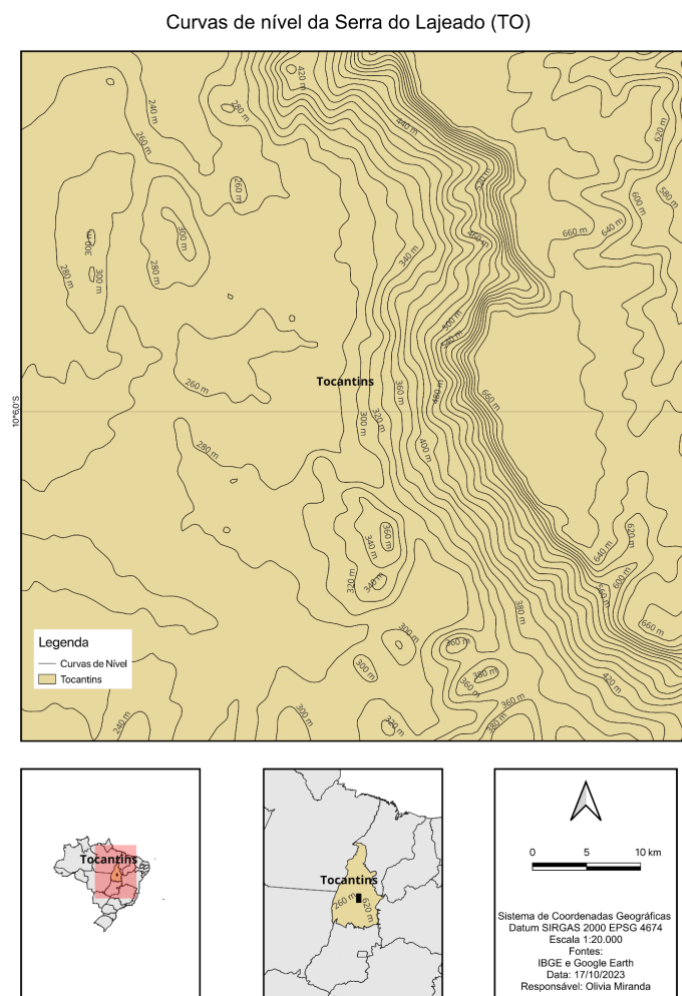


Figura 1. Carta topográfica da Serra do Lajeado em escala 1:20.000. Fonte: Olivia Miranda, Outubro/2023.

Além da escala cartográfica, foi utilizada a escala vertical em conjunto. Esta é a escala numérica utilizada para a representação vertical das altitudes, a qual é indispensável para a elaboração de maquetes, e indica a relação entre as medidas verticais na representação espacial e no terreno. Para a representação da altitude nas cartas topográficas, que são bidimensionais, é necessário conhecer sua representação na terceira dimensão, através das chamadas curvas de nível e dos pontos cotados (VENTURI et al. 2011, p.178).

As cartas topográficas podem ter suas feições representadas divididas em três grupos: as feições de relevo, que incluem montanhas, planaltos, planícies, depressões vales e formas semelhantes que são percebidas pelo arranjo das curvas de nível; as feições de drenagem, que são produzidas pelas águas superficiais, incluindo lagos, barragens, rios, canais e formas semelhantes; e as feições de cultura, que inclui todas aquelas feições derivadas do trabalho do homem, tais como estradas, cidades, áreas de cultivo, entre outras (FILIPE et al. 2012). Na presente pesquisa, usaremos as feições de relevo, e para isso é indispensável a utilização das curvas de nível.

As curvas de nível são linhas imaginárias do terreno que unem todos os pontos que possuem a mesma altitude. Elas possuem um intervalo altimétrico entre si em uma carta, o qual é fixo e chamado de equidistância vertical. No caso do presente trabalho, foi utilizada a equidistância vertical de 20 metros. A relação entre as escalas vertical e horizontal é chamada de exagero vertical. (VENTURI et al. 2011, p.180)

Nas maquetes, a escala vertical será sempre maior que a horizontal, para que se possa dar o destaque desejado a variação topográfica. Para se calcular essa escala, deve-se calcular o desnível, que é a amplitude do terreno, contar o número de curvas de nível que o representa, associar uma curva de nível a espessura do material que será utilizado na maquete, no caso será o tileno-acetato de vinila, conhecido como E.V.A. Após isso, é possível calcular a escala. O desnível no presente trabalho é de 660 metros; equidistância de 20 metros; material E.V.A com a espessura de 2 mm. Após isso, deve-se associar cada curva a uma placa de E.V.A, logo, $2\text{mm} = 20\text{ metros}$; $1\text{mm} = 10\text{ cm}$ e com isso a escala vertical é de 1/10.000. (VENTURI et al. 2011, p. 180)

As maquetes podem ser utilizadas como uma maneira de se aproximar da realidade de representação dos conceitos que serão abordados. Elas podem ser construídas utilizando de diversas técnicas, entre elas a sobreposição de curvas de nível para representações do relevo, como é o caso. (ALMEIDA, CARMO E SENA et al. 2011, p. 372). Com o uso das mesmas, pode-se simular alguns relevos para a compreensão de uma região de forma mais detalhada e até auxiliar na predição de algum tipo de acidente geológico

Como objetivo do estudo envolve a compreensão da hidrodinâmica, há a necessidade de se conceituar alguns elementos da hidrografia. Segundo Cunha (1998) a geomorfologia fluvial engloba os estudos dos cursos de água e das bacias hidrográficas. O segundo considera as principais características das bacias hidrográficas que definem o comportamento hidrológico e essas características se unem aos aspectos geológicos, às formas de relevo e aos processos geomorfológicos, as características hidrológicas e climáticas e a ocupação da terra (FILIPE et al. 2012). Com isso, as redes hidrográficas se tornam as principais vias de transporte dos produtos dos processos físicos e químicos e há a possibilidade de compreender se os sedimentos que existem no topo da Serra do Lajeado possuem capacidade de chegar nas margens do rio.

As bacias hidrográficas podem ser definidas como áreas da superfície terrestre que drenam água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, em um determinado ponto de um canal fluvial (FILIPE et al. 2012). Com isso, inclui todos os espaços de circulação, armazenamento e saídas de água e do material por ela transportada que mantém relação com esses canais, de acordo com Rodrigues e Adami (2011, p. 57). De maneira mais simplificada, é uma área drenada por uma rede de cursos fluviais interligados.

Para Christofolletti (1980), as bacias hidrográficas podem ser classificadas de acordo com seu escoamento, sendo elas exorreicas quando as bacias desaguam de forma contínua direto no mar e

Endorreicas quando as drenagens são internas e não desaguam diretamente no mar, se desembocam em lagos, por exemplo. Todos os cursos de água de uma determinada bacia vão dar, de forma direta ou não, no rio principal do sistema, que em geral dá o nome da bacia hidrográfica (FILIPE et al. 2012). No caso deste estudo foram analisados dois macrocompartimentos do relevo dentro de um recorte específico dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins, ou seja, desde a Serra do Lajeado até a margem do rio.

A rede de drenagem é composta por todos os rios de uma bacia hidrográfica hierarquicamente interligados, as chamadas sub-bacias. É um dos principais mecanismos de saída (output) da principal matéria em circulação no sistema bacia hidrográfica, que é a água, como explicam Rodrigues e Adami (2011, p. 57).

Os processos de circulação da matéria e de energia que operam em bacias hidrográficas não envolvem apenas canais fluviais e planícies de inundação, incluem também as vertentes, nas quais os processos internos são de fundamental importância. (VENTURI et al. 2011).

Para que se possa fazer uma análise das bacias hidrográficas, existem técnicas que podem ser utilizadas e elas são voltadas para dois conjuntos de análise, sendo eles a análise morfométrica, na qual é importante o reconhecimento da espacialidade do sistema quanto a: limites externos, área, hierarquia da rede de drenagem, densidade da drenagem, gradiente de canais, comprimento da bacia, etc. E a análise hidrodinâmica, que diz respeito aos aspectos dinâmicos da água e dos materiais por ela transportados, envolvendo todas as fases de entrada, circulação e armazenamento hídricos, como explicado por Rodrigues e Adami (2011, p. 59).

A análise hidrodinâmica é a que predomina no presente trabalho. Estas análises utilizam de dados gerados por observações de campo ou por experimentos laboratoriais que envolvem principalmente os processos relacionados aos diversos tipos de fluxos hídricos. Esses estudos são realizados com base no levantamento de algumas variáveis hidrodinâmicas ou hidrológicas fundamentais, tanto relacionadas a entrada de água no sistema como a circulação hídrica, destacando os dados de séries temporais de precipitação, escoamento superficial e vazão fluvial. (VENTURI et al. 2011).

Para que se possa visualizar os fenômenos hidrodinâmicos da Serra do Lajeado, localizada em Palmas, Tocantins, foi utilizado um software conhecido como SARndbox aliada com a construção de uma maquete para que possamos representar em laboratório como seria o comportamento na região sem realizar um campo e com uma representação fiel em relação às escalas, após isso, foi feita uma comparação com estudos pré-existentes sobre o uso de realidade aumentada e sua eficácia.

A tecnologia de modelagem e de simulação já vem sendo aplicada em alguns artigos como o “Quantitative Analysis of Geomorphometric Parameters of Wadi Kerak, Jordan, Using Remote Sensing and GIS” publicado em 2015 por Farhan et. Al, falam que os estudos convencionais de Geomorfologia exploram a relação entre as propriedades morfométricas das redes de drenagem, o clima, a estrutura, a litologia e o processo tectônico para interpretar parâmetros morfométricos. Com isso, no estudo em questão, para que se pudesse comparar os dados morfométricos com os métodos manuais e as técnicas

geoespaciais automáticas, utiliza a tecnologia moderna por prover dados e ferramentas poderosas e efetivas para tratar e processar os dados para criar mapas para diferentes aplicações.

O artigo introduz o uso dos Modelos de Elevação Digitais (DEMs) que fornece uma técnica de extração das informações necessárias para a compreensão dos processos geomorfológicos. Esses modelos podem ser usados para desenhar como funcionam as redes de drenagem, incluindo todos os riachos e os afluentes do rio. Além disso, os autores falam que pesquisadores concluíram que os sistemas de informação geográfica e a tecnologia do sensoriamento remoto são ferramentas eficientes para medir e calcular parâmetros morfométricos mais precisos de bacias de drenagem. Além disso, uma vantagem é a capacidade de gerenciar e processar informações espaciais em grande quantidade de forma precisa e econômica em relação ao tempo gasto.

Com o pensamento da utilidade da tecnologia para análise de uma área de estudo de forma remota, o estudo propõe utilizar uma Caixa de Areia de Realidade Aumentada, mais conhecida como SARndbox, que é um outro tipo de tecnologia de simulação.

A SARndbox é uma ferramenta criada na Universidade da Califórnia, em Los Angeles, que consiste em uma caixa preenchida com areia (sandbox) que permite aos usuários criarem moldes topográficos, e em tempo real, representados por um conjunto de cores, curvas de nível e simulação do fluxo de água na topografia gerada (Brizzi et Al., 2022). Por facilitar a compreensão do real pelo lado de quem usa, é uma grande aliada no ensino de Geografia Física nas escolas e Universidades (figura 2).

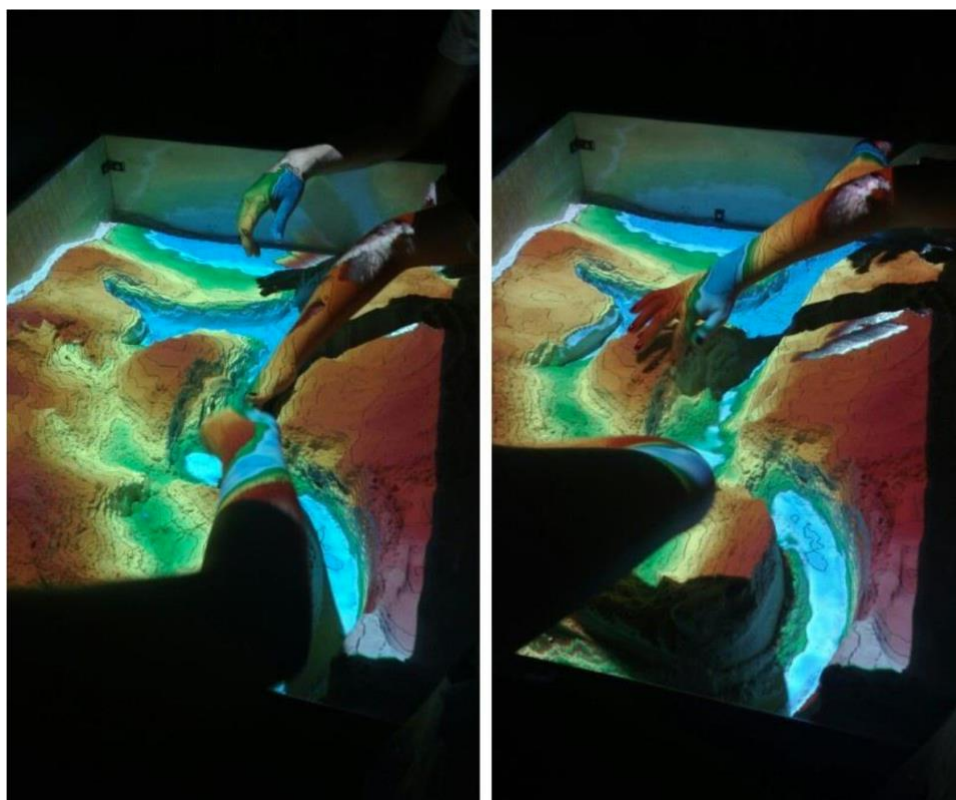


Figura 2. Alunos de ensino superior gerando modelagem na SARndbox. Fonte: Revista de Geografia (Recife) V. 35, No. 4 (especial XII SINAGEO), 2018.

O uso de novas tecnologias na educação abre muitas possibilidades para criar novas experiências educativas e oportunidades para se ter uma aprendizagem mais efetiva. A realidade aumentada (RA) é uma tecnologia que adiciona uma camada de informação digital á realidade. Essa informação virtual é gerada a partir de sensores que realimentam as características do mundo real ao tipo de informação que é exibida ao usuário. O seu objetivo é proporcionar aos objetos do mundo real atributos que expandam a informação sobre si mesmos e que permitam interação com eles e com as informações adicionadas. (SANCHEZ et Al. 2016).

No caso do presente trabalho, ela foi utilizada como uma ferramenta para compreender o comportamento dos fluxos hídricos na Serra do Lajeado de forma remota, logo seu uso está mais voltado para a pesquisa e planejamento ambiental, pensando na sua alta capacidade de predição. Aliada a ela, tem a maquete elaborada, que é outra forma de aproximação da realidade mais detalhada e que permite a visualização de uma forma mais ampla.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A geologia da região compreende a Província Tocantins, um conjunto de diversas rochas ígneas e metamórficas de diferentes gêneses e idades, que foram estruturadas e fundidas durante o Ciclo Brasileiro, no final do Neoproterozoico (Almeida et al., 1977; Dantas et al., 2022a). Ela é composta por três faixas de dobramentos resultantes da colagem brasileira: Faixa Brasília, Paraguai e Araguaia. A Serra do Lajeado está localizada na bacia sedimentar do Parnaíba, a qual é sustentada pelos granitos da Suíte Ipueiras e possui como cobertura sedimentar os sedimentos devonianos da formação Pimenteiras (Alves, et al., 2017).

A Geomorfologia do estado de Tocantins (Figura 3) possui predominância das depressões interplanálticas que são caracterizadas por superfícies vastas aplainadas posicionadas em cotas modestas e às vezes interrompidas por extensos alinhamentos serranos. Com isso, esse conjunto de unidades de relevo apresenta um leve caimento regional de sul para norte e criam um diversificado conjunto de unidades litológicas, sendo drenadas pelas bacias hidrográficas dos rios Tocantins e Araguaia. Essa configuração regional revela um avançado grau de denudação associado a um relativo, porém prolongado, período de estabilidade ao longo do Cenozoico (Dantas et al., 2022b).

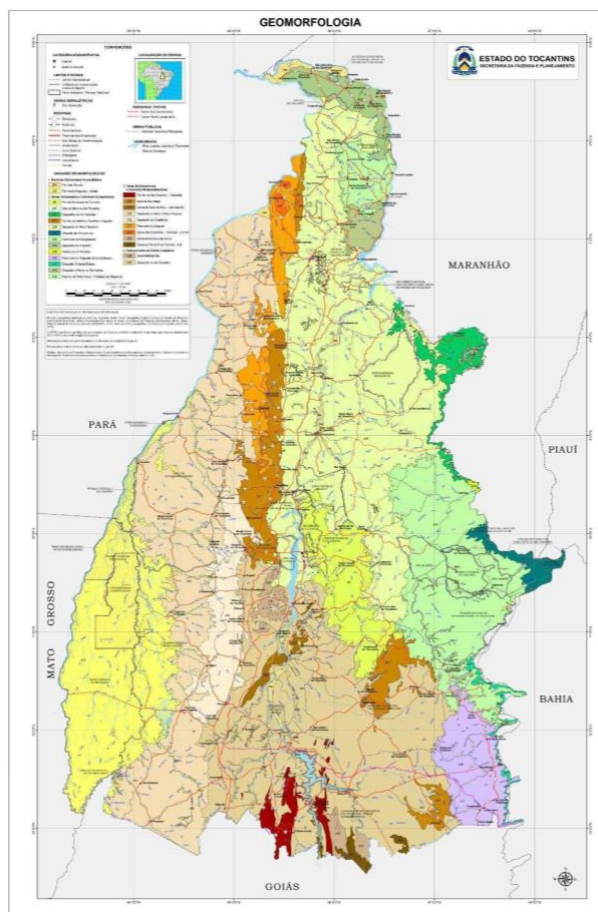


Figura 3. Geomorfologia do Tocantins Fonte: Secretaria da Fazenda e do Planejamento

O centro-sul do estado de Tocantins está inserido no Domínio Morfoclimático dos Chapadões Semiáridos Tropicais do Cerrado (Ab'Saber, 2003). A região apresenta uma precipitação média anual entre 1200 a 1800 mm, com uma grande concentração de chuvas nos meses entre novembro e março (Evangelista et al., 2022).

No verão, o grande volume de água precipitado entre os meses de outubro e março é retido pelo solo nos grandes chapadões de relevo plano, apresentando vertentes sob forma de longas rampas muito suaves nos amplos interflúvios. No inverno seco, ocorre uma descarga contínua para os canais fluviais o que os mantém perenes. São observados rios intermitentes na Depressão Interplanáltica no sudeste do Tocantins, entre as cidades de Arraias e Paranã (Dantas et al., 2022b).

Por conta deste regime pluviométrico alternado, o lençol freático apresenta uma grande variação sazonal do seu nível ao longo de grande parte do Neógeno, o que origina os processos de laterização e formação das camadas subsuperficiais com concentração de plinitina cuja evolução por conta de ressecamento e endurecimento irreversível, originou as couraças ferruginosas, típicas de vastas regiões no Tocantins (DANTAS, et al., 2022).

Por conta do seu domínio Morfoclimático, paisagem hidrografia dos Cerrados é predominantemente perene, pois os rios apresentam uma estiagem expressiva, típica de um clima tropical semiúmido com domínio de solos profundos, de baixa fertilidade e porosos, por vezes laterizados, apresentando geralmente elevadas taxas de infiltração e alta capacidade de armazenamento de água. No entanto, o balanço hídrico da região demonstra cada vez mais nas últimas décadas prolongamento da estiagem (Evangelista et al., 2022), o que pode comprometer a perenidade dos cursos d'água.

O relevo do sul do Tocantins é caracterizado por superfícies aplainadas em cotas baixas da Depressão Interplanáltica do Médio Vale do Rio Tocantins, com pastagens extensivas em solos mais pobres, no geral pedregosos, laterizados e ferralitizados, de limitado potencial agrícola, tais como os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, Plintossolos Pétricos e Latossolos Vermelho-Amarelos Petroplínticos. A região está num patamar topográfico mais baixo, em acordo com a direção rumo norte das bacias de drenagem dos rios Tocantins e Araguaia.

A geomorfologia do centro-sul do estado é caracterizada pelo predomínio de vastas superfícies aplainadas posicionadas em cotas comumente abaixo de 500 metros de altitude, e por vezes interrompidas por extensos alinhamentos serranos. A Leste e Nordeste são ressaltados conjuntos de planaltos dissecados, baixos platôs e chapadas, modelados por rochas sedimentares das bacias intracratônicas do Parnaíba e Sanfranciscana, de idades Paleozoica a Mesozoica (figura 4). A Sudoeste, a bacia sedimentar quaternária da Ilha do Bananal se sobressai, por conta da notável estabilidade morfotectônica que a região demonstra (Dantas et al., 2022b).



Figura 4. Vista aérea do Planalto Dissecado do Tocantins e da Depressão do Tocantins. Foto: Fernando Villela.

Os processos de pediplanação e pedimentação pressupõem um padrão erosivo comandado por processos de desagregação mecânica e recuo remontante das encostas, sob um regime climático dominante que oscilaria entre o semiúmido e o semiárido. O recuo erosivo apresentado tanto pela escarpa da Serra do Lajeado, próximo a Palmas (figura 5), documenta este modelo evolutivo do relevo. (Dantas et al., 2019).



Figura 5. Vista para Oeste da cidade de Palmas-TO a partir da Serra do Lajeado, com Rio Tocantins ao fundo.

Foto: Fernando Villela.

Como mencionado anteriormente, a área de estudo será a Serra do Lajeado. Esta serra está localizada na área denominada de Planalto Dissecado de Tocantins (figura 6), cuja denominação proposta pelo IBGE (2007) abarca um conjunto de elevações de direção aproximada SSE-NNW que se estende por aproximadamente 250 quilômetros, disposto em planaltos residuais, escarpas, serra e morros dissecados, abrangendo as serras do Lajeado e do Carmo, entre outras (Dantas et al., 2022b).



Figura 6. Vista aérea do Planalto Dissecado do Tocantins nas imediações da Serra do Lajeado. Foto: Fernando Villela.

Esta unidade geomorfológica se caracteriza por um conjunto de terras altas situadas ao leste da calha do Rio Tocantins, entre as localidades de Ipueiras e Miracema do Tocantins. A Serra do Lajeado representa uma genuína escarpa de borda de planalto, que emoldura uma paisagem emblemática próximo a capital do estado, Palmas, juntamente com o lago da represa da UHE Luís Eduardo Magalhães, que banha a cidade (Dantas et al., 2019).

De maneira geral, o Planalto Dissecado do Tocantins se comporta como uma superfície soerguida e levemente basculada para Leste, e com isso assume a forma de um extenso relevo de cuestas, cujo front se volta para o Rio Tocantins e o seu reverso é prolongado em direção ao Jalapão. Esse relevo se encontra intensamente dissecado e a superfície original do planalto está desmantelada em um relevo de serras e morros dissecados (Dantas et al., 2019).

A Serra do Lajeado abrange a borda sudoeste da bacia sedimentar do Parnaíba (Dantas et al., 2019). O seu topo aplainado consiste em planaltos residuais em posição de cimeira com suave declive para Leste e para Oeste, apresentando abruptas vertentes escarpadas (figura 7). Para Leste, esta unidade morfológica vai diminuindo até atingir a região do Jalapão. O seu topo desenvolve solos profundos e argilosos, frequentemente laterizados e ferralitizados. Sobre as suas íngremes de borda de planalto, são desenvolvidos solos pouco profundos e com alta suscetibilidade à erosão. A sua base é formada por granitos e a sua superfície por folhelhos, siltitos e arenitos devonianos, como já citado.



Figura 7. Contraste entre o relevo tabuliforme e escarpado do Planalto Dissecado do Tocantins e a Depressão do Tocantins nas imediações da Serra do Lajeado. Foto: Fernando Villela.

O Planalto Dissecado do Tocantins está revestido por vegetação do bioma Cerrado, com predomínio de cerrado típico e ocorrência esporádica de capões de cerradão. Boa parte da sua vegetação está conservada por conta da recente expansão de pastagens nas áreas mais planas (IBGE, 2007).

A rede hidrográfica (Figura 8) da região se concentra nos sistemas do rio Araguaia, com área de 104.990,8km², representando 37,7% da área total do Estado e do rio Tocantins, com área de 173.429,9km², representando 62,3% da área total do Tocantins (SEPLAN, 2019).

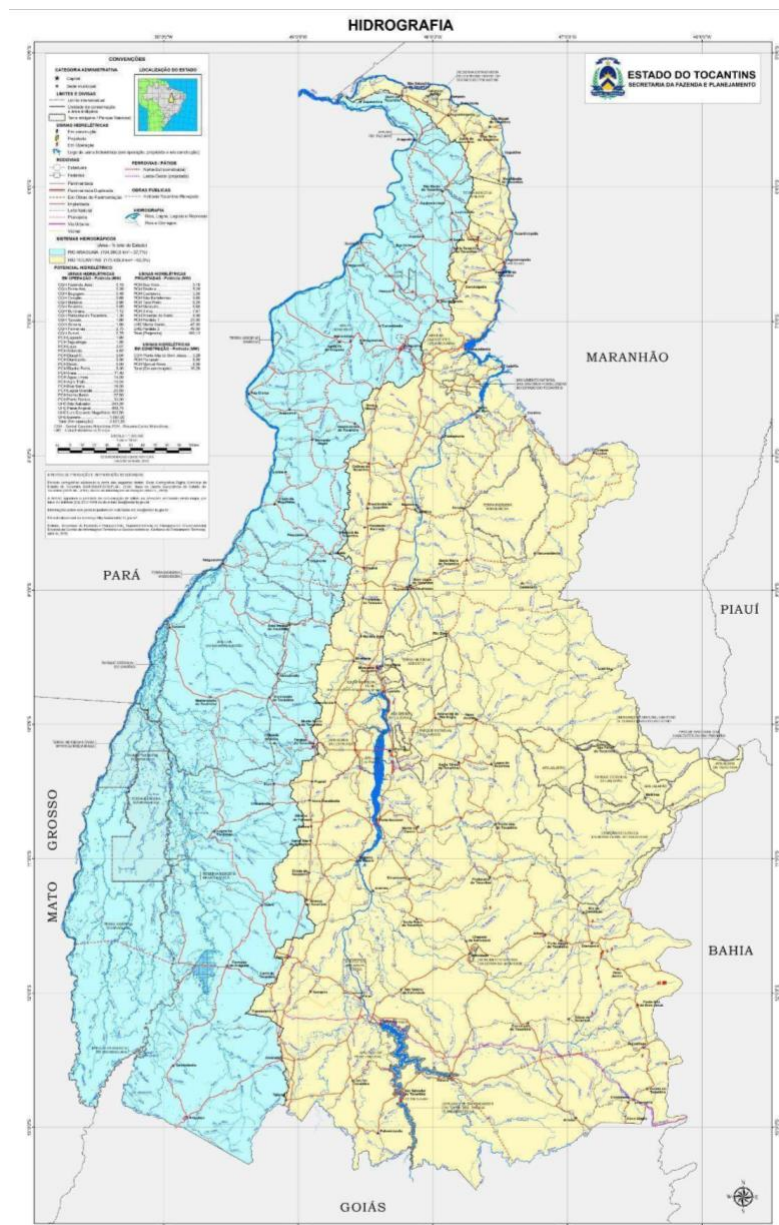


Figura 8. Hidrografia do Tocantins. Fonte: Secretaria da Fazenda e do Planejamento

5. PROCESSOS METODOLÓGICOS

A delimitação da área de estudo foi feita utilizando o Google Earth, no qual foram escolhidos quatro pontos dentre a Serra do Lajeado, na área a Leste de Palmas, mais precisamente na região das Cabeceiras (Figura 9).

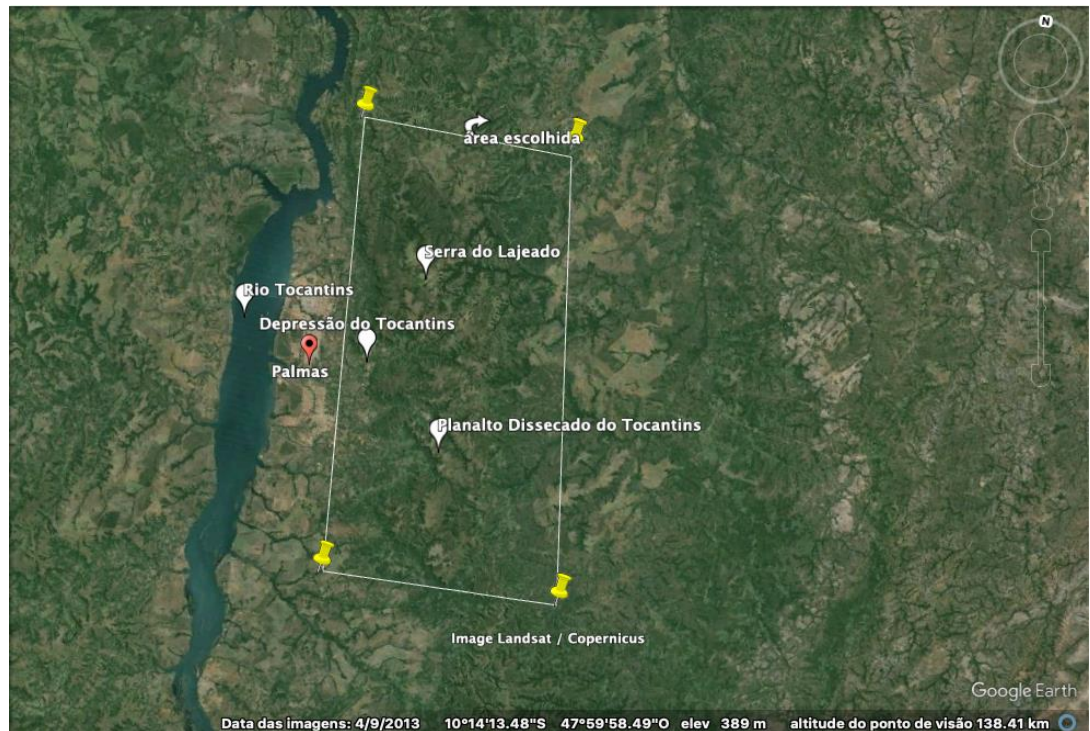


Figura 9. Área a ser considerada (Serra do Lajeado-TO). Fonte: Google Earth

Esses pontos foram transformados em arquivos KMZ para a confecção de um mapa da área afim de usar a carta topográfica na elaboração da representação. A carta elaborada foi feita na escala de 1:20.000 para preservar o detalhamento da inclinação da Serra e foi elaborada utilizando o software QGIS e base de shapefile extraídos do site do IBGE (2010). Aliada ao referencial bibliográfico, foi utilizada uma caixa de areia (sandbox) para representar a área e a hidrodinâmica que se procura compreender acerca da Serra do Lajeado.

A caixa de areia (sandbox), é aliada a um sensor de movimento, um projetor digital e um software e a partir disso, gera interações por meio de Realidade Aumentada para promover estudos topográficos, permitindo que os usuários criem os modelos de superfície e em tempo real gerar uma representação 3D hipsométrica, com linhas de contorno topográficas e água simulada, sendo possível gerar outros tipos de simulações, como erupção vulcânica, inundação, por exemplo. (SANTOS et al., 2018)

Com seu vasto leque de uso, o desenvolvimento e a utilização desta ferramenta didática teve

como objetivo proporcionar um melhor entendimento dos processos relacionados à dinâmica do relevo, o que permitiu a sua representação em terceira dimensão (3D). Com isso será possível compreender como a morfologia da serra do Lajeado influencia na hidrodinâmica da região, relacionando com o processo geomorfológico de Denudação.

Para que a Caixa de Areia de Realidade Aumentada ou SARndbox funcione, ela necessita dos seguintes equipamentos: Um computador com placa gráfica dedicada (offboard), executando Sistema Operacional Linux; Um sensor de profundidade Microsoft Kinect 1.0; O software utilizado pela ARS (Kinect 3D Video Package) é compatível com os três modelos da primeira geração Kinect (Kinect para a Xbox 1414, 1473 e Kinect para Windows); Um projetor digital de dados com uma interface de vídeo digital, como HDMI, DVI ou DisplayPort; Uma caixa de areia de forma que seja possível instalar o sensor Kinect e o projetor acima (SILVA et al., 2018).

Além disso, é utilizado "o Sistema Operacional Linux Mint, versão MATE de 64-bit. O sistema da ARS possui dois componentes principais: um renderizador do mapa topográfico – que gera as curvas projetadas sobre a superfície da areia, e um componente responsável pela simulação de fluxo de água. O primeiro componente executa com relativa facilidade em processador e placa de vídeo de desempenho médio (mid-end) e funciona na maioria dos laptops ou PCs disponíveis no mercado" (Silva et al., 2018).

O componente de simulação de água necessita de hardware com alto desempenho (high-end), por isso a recomendação de utilizar uma placa de vídeo como a Nvidia GeForce GTX 970, ou superior, que seja capaz de processar dados gráficos e gerar animações em tempo real. O projetor deve ter um comprimento de curta distância e uma proporção dimensional nativa de 4:3 para coincidir com o campo de visão da câmera do sensor Kinect. (SILVA et al., 2018).

"A resolução de 1024x768 pixels é suficiente, uma vez que a resolução total do sistema é limitada pela câmera do Kinect (640x480 pixels). O projetor ideal é do tipo "projetor de linha central", para ser montado diretamente ao lado da câmera Kinect. Finalmente, não é recomendado utilizar conexão analógica (VGA) entre o projetor e o computador, pois a qualidade de imagem pode ser degradada, além de introduzir desalinhamento entre a imagem projetada e a superfície de areia." (Silva et al., 2018).

A caixa utilizada deve ter uma proporção de 4:3, para corresponder tanto ao campo de visão da câmera do Kinect quanto à área de cobertura do projetor. O tamanho da caixa é limitado pelas distâncias mínimas e máximas da câmera Kinect e pela resolução desejada. O ângulo do campo de visão da câmera do sensor Kinect é de cerca de 90º, por isso, o sensor deve ser posicionado o mais alto possível acima da superfície da areia, diretamente acima do centro da caixa. (Silva et al., 2018).

A caixa de areia deve ser preenchida com areia a uma profundidade de cerca de 4cm a 10cm. Os desenvolvedores recomendam o uso do produto comercial Sandtastik White Play Sand, que possui excelentes propriedades de projeção. É recomendado manter a areia ligeiramente úmida para facilitar a criação de contornos. (Silva et al., 2018).

Para que o objetivo de representação da área escolhida seja viabilizado, alguns passos serão feitos, pois há a necessidade de adaptação da caixa de areia disponível para esse estudo. Trata-se de uma areia com granulometria muito baixa, sendo muito fina e inviabilizando sua modelagem. Para sanar esse problema será confeccionada uma maquete da área utilizando materiais de diferentes texturas representando as diferentes rochas presentes no local. Uma vez dentro da caixa, a maquete será coberta de areia fazendo com que o relevo seja representado.

No entanto, antes da confecção da maquete, foi produzida uma carta topográfica

A respeito da confecção da maquete, foram seguidos, com adaptações, os passos detalhados em (VENTURI et al., 2011). Os materiais utilizados foram: Carta topográfica autoral, elaborada a partir de pontos KMZ pré-definidos no Google Earth de uma parcela da Serra do Lajeado; EVA, papel vegetal, cola, tesoura, estilete e cortador de EVA.

Os procedimentos consistem em copiar em papel vegetal as curvas de nível que serão representadas a partir da carta topográfica. Após isso, utilizando a folha vegetal, foram transpassadas as curvas para o material que irá compor a maquete (EVA). Com isso, as curvas de nível foram recortadas utilizando um cortador de EVA e foram sobrepostas respeitando suas altitudes dando o contorno da Serra do Lajeado (Figura 10).

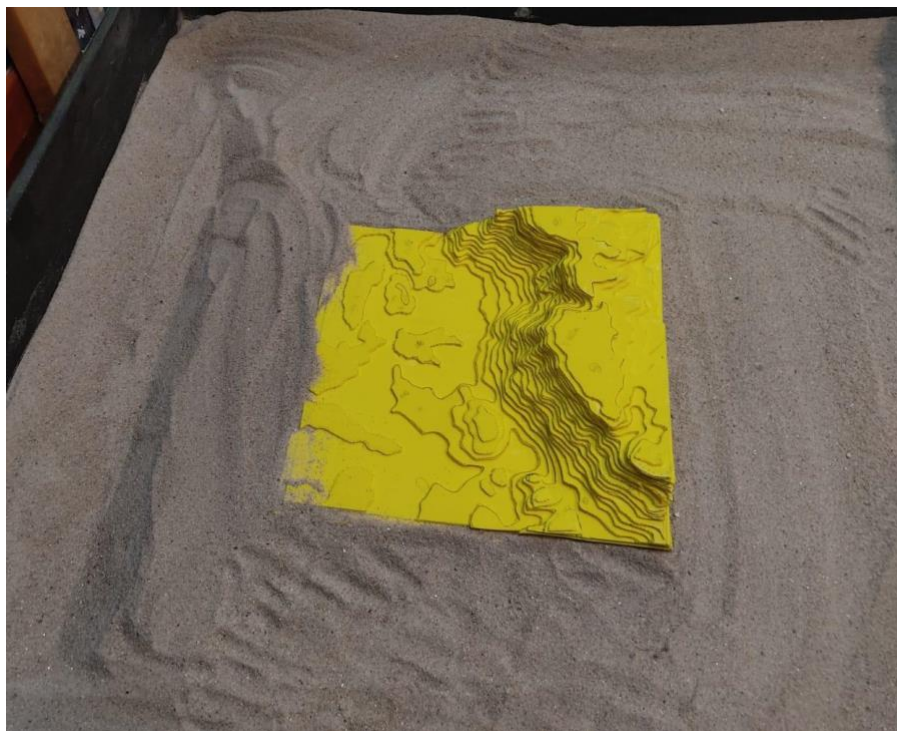


Figura 10. Maquete finalizada inserida na Sandbox. Fonte: Acervo pessoal

Após todo o processo de confecção da maquete utilizando cartas topográficas, Sistemas de Informação Geográfica e os materiais indicados, foram feitos testes usando a SARndbox disponível no Laboratório de Paleoceanografia do Atlântico Sul no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo a fim de compreender os processos de denudação que são difíceis de serem visualizados em campo, além de testar a sua veracidade com a realidade do campo da área de estudo (Figura 11).



Figura 11. Caixa de Areia disponível no Laboratório de Paleoclimatologia do Atlântico Sul. Fonte: Acervo pessoal

Além disso, utilizando as modalidades de representação do software disponíveis no laboratório, foi verificada como funciona a hidrodinâmica na região, uma vez que há possibilidade de representar chuvas e com elas o comportamento da água. Como já mencionado, a análise dos fluxos hídricos utiliza dados observacionais ou experimentos em laboratório, que é o caso do presente trabalho.

6. RESULTADOS

Após a confecção da maquete, foram realizados testes com a SARndbox disponibilizada pelo laboratório de Paleoceanografia do Atlântico Sul no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, sob coordenação do Prof. Felipe Toledo. Os testes foram feitos em dois dias distintos, sendo o primeiro em 29/04/2024.

Este consistiu em colocar a maquete dentro da caixa de areia e após isso simular o fluxo hídrico com uma ferramenta do Kinect, na qual se coloca a própria palma da mão em cima da maquete onde se quer simular uma chuva. Após a inserir mão no que na maquete seria uma área de cabeceira, a água começa a "aparecer" e "escoar" de forma próxima da realidade do relevo ali representado, no caso, a Serra do Lajeado. Com isso, toda representação aparece de forma digital no computador ligado ao Kinect que possui o software da SARndbox, sendo possível a gravação de vídeos utilizando o gravador de tela do próprio computador em três ângulos diferentes, cujo principal é o frontal visto de cima (Figura 12).

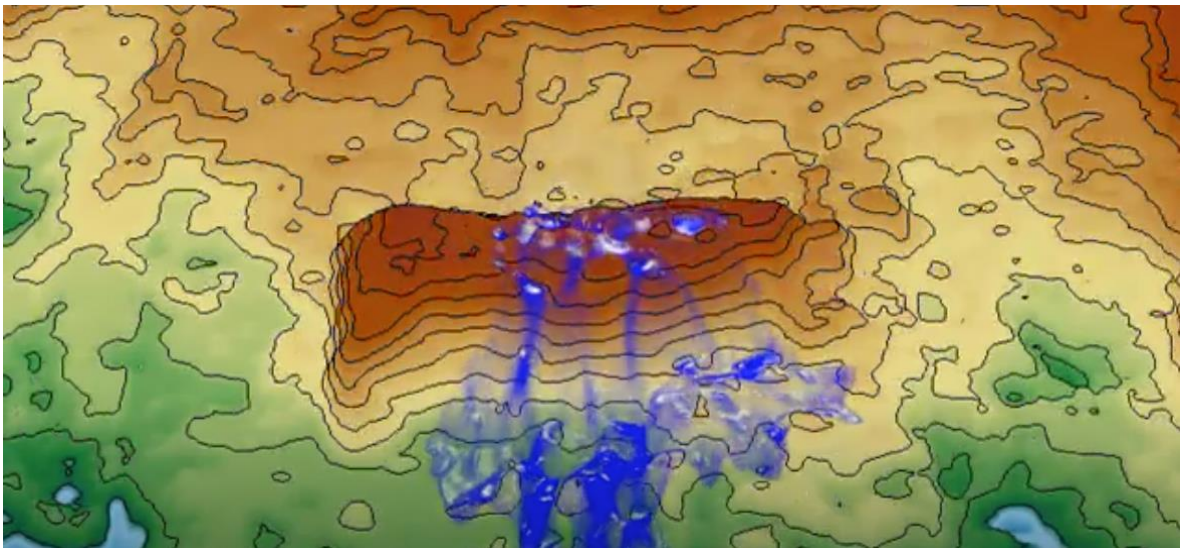


Figura 12. Printscreen da vista frontal de cima do primeiro teste. Fonte: Acervo pessoal

O primeiro teste possibilitou observar a Serra e a escarpa bem definidas e delimitadas, além do fluxo superficial de água simulado que demonstrou haver condições no terreno de levar a água até a área da Depressão do Rio Tocantins (sentido inferior da imagem, para onde a água está correndo), o que pode indicar a presença de material erodido da Serra na Depressão e na Planície do Rio Tocantins. O primeiro teste também foi caracterizado por tonalidades da água mais claras, porém é possível observar o caminho que a água percorreria saindo do topo da Serra até a Depressão do Rio Tocantins (Figura 13).

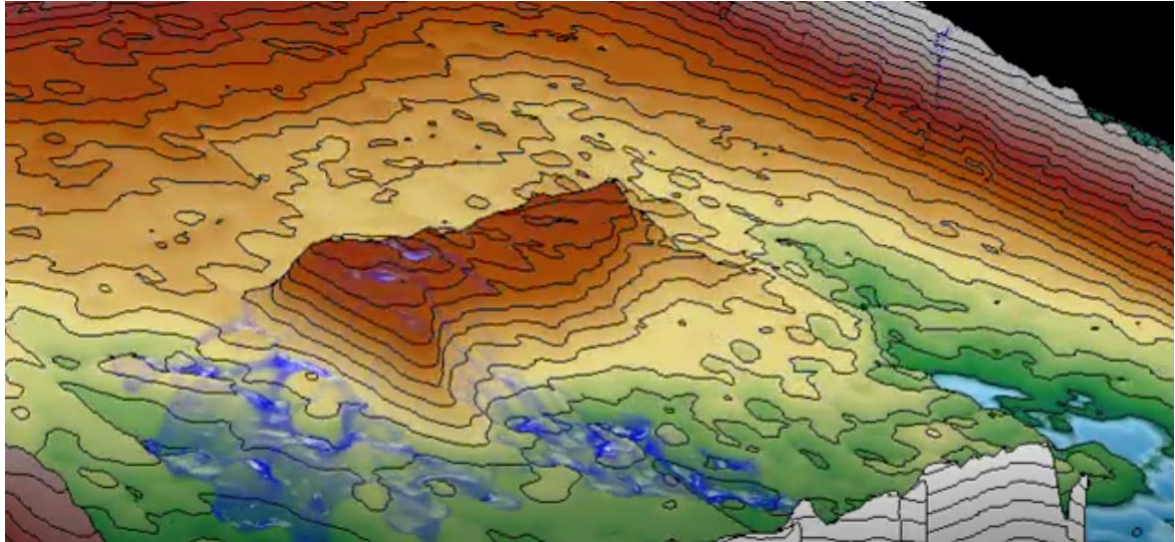


Figura 13. Printscreen da vista lateral esquerda do primeiro teste. Fonte: Acervo pessoal

Já o segundo dia de teste foi em 22/05/2024, com os mesmos procedimentos executados a título de conferência e confirmação da efetividade dos resultados. A maquete foi colocada no centro da caixa de areia e coberta com um pouco da mesma para nivelar a altura, sendo desenhado um esboço de uma representação de onde se encontraria o Rio Tocantins na própria areia, para entender se o fluxo poderia chegar, de fato, ao Rio Tocantins (Figura 14).

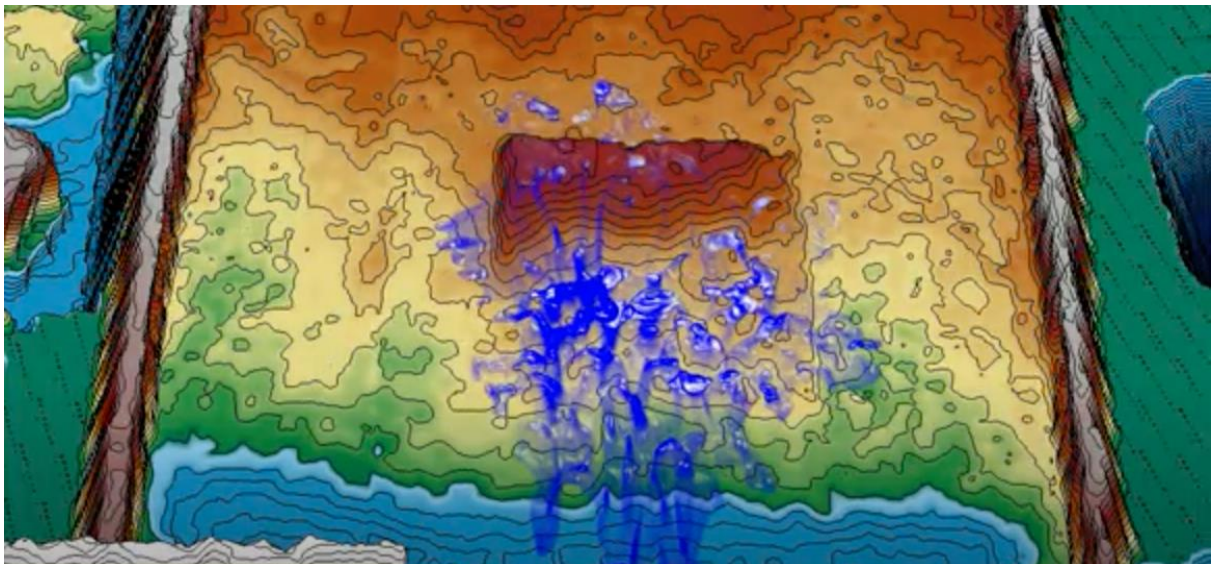


Figura 14. Screenshot do segundo dia de teste. Fonte: Acervo Pessoal

No segundo dia de teste foi possível observar com mais clareza o alcance do fluxo que desce desde o Planalto Dissecado do Tocantins até o nível da Depressão e até a Planície Fluvial do Rio Tocantins e compreender como a diferença de declividade influencia no comportamento hídrico da região (Figura 15).

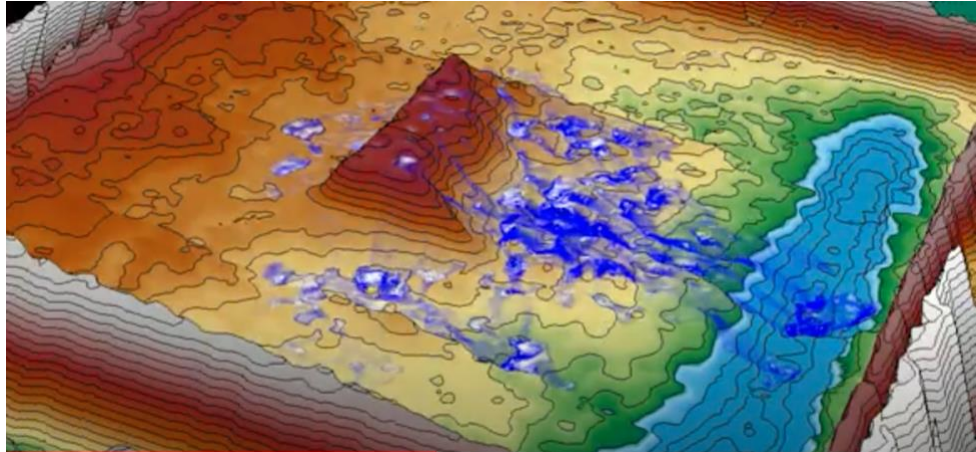


Figura 15. Screenshot lateral do segundo dia de teste. Fonte: Acervo Pessoal.

Conforme informação verbal, ainda na Depressão do Tocantins, próximo à planície fluvial, há a ocorrência de sedimentos da Formação Pimenteiras erodidos da Serra do Lajeado, cuja hipótese mais provável é que tenham sido transportados a partir da área fonte segundo eventos chuvosos torrenciais que deram origem a movimentações de massa como escorregamentos e fluxos de detritos. Esses materiais ocupam de maneira descontínua a Depressão e planície, mas podem ser associados à simulação de fluxos de sedimentos segundo o escoamento superficial demonstrado pelo Kinect da SARndbox descritos nos testes aqui evidenciados (Figura 16).



Figura 16. Perfil de estrada na Depressão do Tocantins com ocorrência de sedimentos heterométricos da Formação Pimenteiras remobilizados e alterados. Notar matacões imbricados na base do perfil. Foto: Fernando Villela, Set/2023.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho conseguiu ser um exemplo do alcance do uso de tecnologias de realidade aumentada para a compreensão de processos geomorfológicos que não tem condição de serem visualizados de forma tão eficiente em campo e também para a confirmação de processos já conhecidos mas não comprovados.

Foi possível entender de forma breve como se dá a dinâmica hídrica na Serra do Lajeado e até onde seus detritos têm força para chegar, abrindo possibilidades de utilizar a SARndbox para investigar outros processos na região.

Através da execução do projeto, pode-se concluir que o objetivo foi alcançado dentro do que se esperava, ou seja, é possível usar a caixa de areia para representações de relevo para se compreender certos processos. O método utilizado foi eficaz, acredito que com algumas melhorias no software é possível compreender mais profundamente alguns processos e melhorar a maneira de se visualizar o relevo.

A respeito da veracidade com a realidade, pode-se dizer que chegou próximo e que é eficaz em representar dentro das possibilidades os seus detalhes e entender o fluxo dos sedimentos pensando no seu relevo.

A caixa de areia de realidade aumentada possui um grande leque de usos possíveis, principalmente no ensino de Geografia a respeito dos processos geomorfológicos, para melhor compreensão de uma região. A sua utilização para o ensino de Geomorfologia no Ensino Médio ou no Fundamental é bastante extenso, há uma grande interação com o aluno e o relevo que se quer ensinar, acredito que o aluno com a mão na massa faz com que o conteúdo seja melhor absorvido e gera um interesse maior na disciplina.

REFERÊNCIAS

SILVA, Christian Nunes da. A representação espacial e a linguagem cartográfica. Belém: GAPTA/UFGA, 2013. 182 p. Disponível em: <http://livroaberto.ufpa.br/jspui/handle/prefix/128>. Acesso em: .

DA SILVA, Vlândia; MUNIZ, Alessandra Maria Vieira. A geografia escolar e os recursos didáticos: o uso das maquetes no ensino-aprendizagem da geografia. **Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 3, n. 5, p. 62-68, 2012.

BASSO, Crislaine Vargas; KREMPACKI, Elaine Marta. O uso da maquete no ensino da Geografia: estudo do relevo. **VII Encontro Nacional de Ensino de Geografia**, v. 7, p. 1-14, 2015.

BRIZZI, R. R.; GOMES, F. C. M.; LOBATO, R. B.; et al. REPRESENTAÇÕES DO RELEVO BRASILEIRO A PARTIR DA REALIDADE AUMENTADA: O uso da caixa de areia no ensino de geografia física. *Geo UERJ*, n. 41, p. e56278, 2022.

MEZZOMO, M. D. M.; KAWAMOTO, A. L. S.; BRAZ, G. A. G.. Manual de instalação, configuração e uso da caixa de areia de realidade aumentada (SARndbox): versão atualizada. Campo Mourão: Nova História Assessoria e Gestão Cultural, 2020.

SANTOS, R. S.; SANTOS, R. S.; SANTOS, G. C.; et al. APLICAÇÃO DA SARNDDBOX NO ENSINO DE GEOMORFOLOGIA. *Revista de Geografia UFPE*, v. 35, n. 4, 2018.

DANTAS, M. E.; JACQUES, P. D.; NUMMER, A. R. Síntese geológica dos Estados de Goiás e Tocantins: roteiro compreendido entre as cidades de Goiânia e Palmas. Guia de Campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos, 2022a, p. 15 – 39.

DANTAS, M. E.; SIMÕES, P. M. L.; SHINZATO, E.; LUMBRERAS, J. F.; CARVALHO FILHO, A.; TEIXEIRA, W. G. Geomorfologia dos Estados de Goiás e Tocantins: roteiro compreendido entre as cidades de Goiânia e Palmas. Guia de Campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos, 2022b, p. 40 – 88.

DANTAS, M. E.; SHINZATO, E. ; CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J. F.; TEIXEIRA, W.G.; ROCHA, M. G.; MACHADO, M. F. Origem das Paisagens do Estado do Tocantins. In: Maurício Gomes Rocha. (Org.). Livro Geodiversidade do estado do Tocantins. 1ed.Goiânia: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2019, v. 1, p. 47-84.

EVANGELISTA, B. A.; SIMON, J.; DIAS, T. S. S.; PAZ, L. R. S.; LIMEIRA, A. S.; ALMEIDA, R. E. M. Clima dos Estados de Goiás e Tocantins. Guia de Campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos, 2022, p. 89 – 115.

MEZZOMO, M. D. M.; KAWAMOTO, A. L. S.; BRAZ, G. A. G.. Manual de instalação, configuração e uso da caixa de areia de realidade aumentada (SARndbox): versão atualizada. Campo Mourão: Nova História Assessoria e Gestão Cultural, 2020.

SANTOS, R. S.; SANTOS, R. S.; SANTOS, G. C.; et al. APLICAÇÃO DA SARNDDBOX NO ENSINO DE GEOMORFOLOGIA. *Revista de Geografia UFPE*, v. 35, n. 4, 2018.

Secretaria da Fazenda e Planejamento. 2019. Bacias Hidrográficas do Tocantins [pdf]. 1:1.000.000. Consultado em 24/07/2023. Website: <https://www.to.gov.br/seplan/mapas-versao-2019/6qy2chgls1uu>

Secretaria da Fazenda e Planejamento. 2019. Geomorfologia do Tocantins [pdf]. 1:1.000.000. Consultado em 24/07/2023. Website: <https://www.to.gov.br/seplan/mapas-versao-2019/6qy2ch>