

Utilização de VANTs para Análise da Declividade em Superfícies Equestres: Abordagem Inovadora e Resultados Funcionais

ANA SARAIVA GIORGIS¹; ALEXANDRE FELIPE BRUCH²; ÉVERTON AUGUSTO KOWALSKI³; KARINA RETZLAFF CAMARGO⁴; CLÁUDIA LIANE RODRIGUES DE LIMA⁵; CHARLES FERREIRA MARTINS⁶

¹*Universidade Federal de Pelotas – anasaraivagiorgis2002@hotmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – afbruch@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – evertonequinocultura@gmail.com*

⁴*Universidade Federal do Rio Grande – karinacamargo@furg.br*

⁵*Universidade Federal de Pelotas – clrlima@yahoo.com.br*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – martinscf68@yahoo.com.br*

1. INTRODUÇÃO

As superfícies equestres desempenham um papel fundamental na biomecânica dos equinos, influenciando diretamente o sistema musculoesquelético dos animais, através de fatores extrínsecos e intrínsecos que moldam essas superfícies, com a topografia sendo um dos mais importantes (Hobbs et al., 2014). Dentre os aspectos topográficos, destaca-se a declividade, que corresponde à variação de altura entre dois pontos, sendo essencial para garantir a drenagem eficaz e o correto funcionamento da superfície (Herholz et al., 2023). A capacidade de drenagem é crítica para manter a segurança e o desempenho do cavalo, evitando acúmulo de água e instabilidade no solo (Wheeler; Zajaczkowski, 2006).

Historicamente, as ferramentas utilizadas para avaliar a declividade provêm de áreas como construção civil e agricultura, incluindo teodolitos, estações totais e receptores GPS (Busnello et al., 2016; Lienhart, 2017). No entanto, com os avanços tecnológicos, dispositivos de alta precisão, como receptores GNSS de múltiplas constelações e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), surgiram como alternativas eficazes para realizar levantamentos topográficos detalhados, com precisão milimétrica (Herholz et al., 2023; Silva et al., 2018; Bruch et al., 2019; Singh; Gupta, 2024).

A utilização de VANTs para analisar superfícies equestres apresenta inúmeros benefícios, incluindo a geração de dados altamente precisos sobre a uniformidade da superfície (Northrop et al., 2016; Herholz et al., 2023). No caso de cavalos da raça crioula, que frequentemente utilizam essas superfícies em competições esportivas, ainda há uma escassez de investigações científicas voltadas para parâmetros topográficos específicos, o que torna urgente o desenvolvimento de métodos mais avançados de avaliação.

Diante disso, o presente estudo buscou realizar uma análise inovadora da declividade funcional em superfícies equestres, utilizando aerolevantamento fotogramétrico com VANTs, visando aprimorar a construção e a manutenção dessas áreas críticas para o desempenho esportivo dos equinos.

2. METODOLOGIA

Este estudo foi realizado em cinco centros equestres entre novembro de 2022 e fevereiro de 2023, com foco na análise topográfica da declividade das superfícies equestres. A superfície I diferia das demais (II, III, IV e V) por não possuir uma base

estrutural construída, o que proporcionou um cenário único para comparação das características de drenagem e uniformidade.

2.1 PONTOS DE TESTAGEM *IN SITU* DAS SUPERFÍCIES

A determinação dos pontos de testes físicos *in situ* foi realizada de acordo com a metodologia adaptada de Northrop et al. (2016). Cada superfície foi dividida em 36 quadrantes, nos quais foram estabelecidos 25 pontos de teste, cobrindo uma área de 1 m² por ponto. Todos os testes foram conduzidos em triplicata, garantindo a precisão e replicabilidade dos resultados.

2.2 LEVANTAMENTO AÉREO FOTOGRAMÉTRICO COM VANT

Os levantamentos aéreos fotogramétricos foram realizados utilizando um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) modelo Phantom 4 Advanced (DJI), conforme metodologia adaptada de Bruch et al. (2019). Para assegurar a precisão na coleta de dados e controle dos parâmetros de aquisição, como sobreposição frontal e lateral, altura de vôo e velocidade, foi criado um plano de vôo com o software DroneDeploy. A sobreposição das imagens foi mantida em 70%, com altitude de vôo de 40 metros e velocidade média de 4 metros/segundo. A partir desses dados, foram obtidas informações altimétricas dos 25 pontos de análise em cada superfície.

2.3 DECLIVIDADE TOPOGRÁFICA

A declividade foi definida como a diferença de profundidade entre dois pontos e a distância horizontal entre eles, sendo calculada a partir dos Modelos Digitais de Superfície (MDS) gerados em formato TIFF. As orientações dos pontos de teste foram determinadas para medir a declividade nos sentidos longitudinal (eixo X) e transversal (eixo Y), conforme metodologia descrita por Valeriano e Rossetti (2011). A fórmula utilizada para o cálculo da declividade foi:

$$D = (dV/dH) \times 100$$

Onde:

D = Declividade;

dV = Distância vertical;

H = distância horizontal;

A análise da declividade topográfica foi realizada nos dois eixos de medição: longitudinal, com quatro linhas de medição (L1 a L4), e transversal, com quatro linhas (T1 a T4), conforme os pontos pré-estabelecidos.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos a análise estatística para testar a normalidade (Shapiro-Wilk) e a homogeneidade de variâncias (teste F para duas amostras e Barlett). As médias foram comparadas utilizando os testes de Tukey e T para dados pareados, com nível de significância estabelecido em $P < 0.05$. A análise estatística foi realizada utilizando o software R Statistics 4.2.1. As comparações foram realizadas entre as diferentes superfícies equestres e entre os eixos longitudinal e transversal de cada superfície.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises revelaram diferenças significativas ($P < 0.05$) nos índices de declividade das superfícies equestres, tanto no sentido longitudinal quanto no transversal (Tabela 1). A superfície V destacou-se por otimizar o tempo de secagem, devido à menor distância percorrida pela água na orientação transversal, facilitando a drenagem eficiente. Em contraste, a superfície III apresentou uma declividade longitudinal de 1,51%, o que pode resultar no deslocamento excessivo da camada superficial devido à sua maior friabilidade (Silva et al., 2021). Este cenário requer um monitoramento mais rigoroso e intervenções corretivas frequentes para evitar degradação e garantir a funcionalidade da superfície (Wheeler; Zajaczkowski, 2006; Peterson; McIlwraith, 2008).

Tabela 1 - Comparação da declividade (%) nos sentidos longitudinal e transversal das superfícies equestres experimentais.

Superfícies	Longitudinal	Transversal
Superfície I	0,18 ^{Aa}	0,21 ^{Aa}
Superfície II	0,17 ^{Aa}	0,50 ^{Ab}
Superfície III	1,51 ^{Ba}	0,71 ^{ABb}
Superfície IV	0,39 ^{Aa}	0,39 ^{Aa}
Superfície V	0,31 ^{Aa}	1,13 ^{Bb}
EP	0,11	0,08
P-valor	<0,01	<0,01

Letras maiúsculas indicam diferença ($P<0.05$) entre superfícies e minúsculas entre sentido longitudinal e transversal da mesma superfície.

EP: Erro padrão;

Na superfície I, observou-se que a drenagem ocorre predominantemente por infiltração, devido à ausência de uma base estrutural específica. Isso elimina a necessidade de uma declividade acentuada para o escoamento da água, permitindo que variações altimétricas mínimas sejam aplicadas (0,18% no sentido longitudinal e 0,21% no sentido transversal). Em contrapartida, os dados sugerem que declividades em torno de 0,51% no sentido longitudinal e 1,13% no sentido transversal seriam ideais para garantir uma drenagem eficiente em superfícies com estrutura base.

Esses achados sublinham a importância da topografia na modulação do comportamento mecânico das superfícies equestres, uma vez que a uniformidade da declividade influencia diretamente sua funcionalidade e impacto na performance equina (Herholz et al., 2023). A compreensão e o controle desses parâmetros são cruciais para otimizar a durabilidade das superfícies e proporcionar condições seguras e estáveis para os animais, especialmente em modalidades esportivas.

4. CONCLUSÃO

O estudo demonstrou a eficácia do aerolevantamento fotogramétrico na análise da declividade em superfícies equestres, validando parâmetros de declividade transversais de 1,13% como fundamentais para a criação de superfícies funcionais com melhor capacidade de drenagem. A precisão dessa tecnologia pode fornecer dados detalhados e precisos para a construção e manutenção de superfícies otimizadas, especialmente para modalidades esportivas equinas, contribuindo para a segurança e o desempenho dos cavalos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUSNELLO, F. J., TECCHIO, D., ISOTON, F. Acurácia entre levantamento topográfico com gnss pós processamento e rtk para atender ao georreferenciamento de imóveis rurais. **Revista Tecnológica** 4, 16, 2016 - 25. Disponível em: <https://uceff.edu.br/revista/index.php/revista/article/view/106>. Acesso: 30 apr. 2024.
- BRUCH, A. F., CIROLINI, A., THUM, A. B., CARNEIRO, M. Avaliação da acurácia das cubagens de volumes de mineração através de levantamentos convencionais e fotogramétricos. **Revista Brasileira de Geografia Física** 12, 283 – 298, 2019. DOI:<https://10.26848/RBGF.V12.1.P283-298>. Acesso: 20 abr. 2022.
- HERHOLZ, C., SIEGWART, J., NUSSBAUM, M., STUDER, M. H. P., BURGOS, S. Large Temporal Variations of Functional Properties of Outdoor Equestrian Arena Surfaces and a New Concept of Evaluating Reactivity With Light Weight Deflectometer Settlement Curves, **Journal of Equine Veterinary Science** 129, 104909, 2023. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jevs.2023.104909>. Acesso: 05 jan 2024.
- HOBBS, S. J., NORTHRUP, A. J., MAHAFFEY, C., MARTIN, J. H., CLAYTON, H. M., MURRAY, R., ROEPSTORFF, L., PETERSON, M. L. **Equine Surfaces White Paper**. FEI Publication, 2014. Disponível em: <http://www.fei.org/fei/aboutfei/publications/fei-books>. Acesso: 01 abr. 2022.
- LIENHART, W. Geotechnical monitoring using total stations and laser scanners: critical aspects and solutions. **Journal of Civil Structural Health Monitoring** 7, 315 – 324, 2017. DOI:<https://10.1007/s13349-017-0228-5>. Acesso: 14 jan. 2023.
- NORTHRUP, A. J., HOBBS, S. J., HOLT, D., CLAYTON-SMITH, E., MARTIN, J. H. Spatial Variation of the Physical and Biomechanical Properties Within an Equestrian Arena Surface. **Procedia Engineering** 147, 866 – 871, 2016. DOI: <https://10.1016/j.proeng.2016.06.288>. Acesso: 01 jan. 2022.
- PETERSON, M. L., MCILWRAITH, C. W. Effect of track maintenance on mechanical properties of a dirt race track: A preliminary study. **Equine Veterinary Journal** 40, 602 – 605, 2008. DOI: <https://10.2746/042516408x330347>. Acesso: 10 out. 2021.
- SILVA, B. A., MARTINS V. M., MACEDO, R. S., HAYAKAWA, E. H. Mapeamento Digital de Solos e os Atributos Topográficos das Vertentes no Alto Curso da Sub-Bacia Hidrográfica do córrego Quatro Pontes, PR–Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia** 19, 817 – 886, 2018. DOI:<https://doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1385>. Acesso: 10 nov. 2023.
- SILVA, T. P., CENTENO, L. N., DE LIMA, C. L. R., NUNES, M. C. M., HOLTHUSEN, D., TIMM, L. C. Investigating spatial relationships of soil friability and driving factors through co-regionalization with state-space analysis in a subtropical watershed. **Soil and Tillage Research** 212, 105028, 2021. DOI: <https://10.1016/j.still.2021.105028>. Acesso: 10 set. 2023.
- SINGH A. K., GUPTA, S. **Agriculture and the Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)**. In Advances in Aerial Sensing and Imaging (eds S. Kumar, N.R. Moparthi, A. Bhola, R. Kaur, A. Senthil and K.M.V.V. Prasad, 2024). DOI:<https://doi.org/10.1002/9781394175512.ch5>. Acesso: jun 2024.
- VALERIANO, M. M., ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography (Sevenoaks)** 32, 300 - 309, 2011. DOI: <https://10.1016/j.apgeog.2011.05.004>. Acesso: 10 jun. 2023.
- WHEELER, E., ZAJACZKOWSKI, S. **Riding arena footing materials**. In: Wheeler, E. (ed.) Horse stable and riding arena design. 1st ed. Blackwell Publishing, Malden, UK 267 – 278, 2006. Disponível em: <https://extension.psu.edu/riding-arena-footing-material-selection-and-management>. Acesso: 10 out. 2021.