

## MODELO PARA MENSURAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE SUPERFÍCIES ESPORTIVAS EQUESTRES

ÉVERTON AUGUSTO KOWALSKI<sup>1</sup>; ALEXANDRE FELIPE BRUCH<sup>2</sup>; LETICIA DE JESUS SANTOS<sup>3</sup>; GUILHERME MARKUS<sup>4</sup>; CLÁUDIA LIANE RODRIGUES DE LIMA<sup>5</sup>; CHARLES FERREIRA MARTINS<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – evertonequinocultura@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – afbruch@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – leticia.jesus.0301@gmail.com

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – guilhermemarkus2014@gmail.com

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas – clrlima@yahoo.com.br

<sup>6</sup>Universidade Federal de Pelotas – martinscf68@yahoo.com.br

### 1. INTRODUÇÃO

O comportamento mecânico de arenas equestres é constantemente analisado através da mensuração das propriedades funcionais, pelos efeitos ocasionados na biomecânica equina (SETTERBO et al., 2009; HOBBS et al., 2014; NORTHROP et al., 2020). Nesse contexto, a uniformidade gera interesse para manter a regularidade das propriedades funcionais, devido às limitações do sistema musculoesquelético equino para adaptação a superfícies com baixa uniformidade (HOBBS et al., 2014; PARKES & WITTE, 2015).

Existem divergências sobre desempenho ideal das superfícies, no que diz respeito a performance atlética e segurança, porém, a busca pela manutenção da uniformidade das arenas é consenso nos esportes equestres, pois são descritos efeitos deletérios da falta de homogeneidade (CHATEAU et al., 2009). A uniformidade consiste nas diferenças espaciais entre as propriedades funcionais, sendo fruto da interação complexa e fatorial do sistema, pois modificação nos índices de dureza, umidade, aderência e altura podem impactar negativamente a saúde e bem-estar (HOBBS et al., 2014). Essa propriedade funcional continua sendo plausível de investigação para aprimoração de sua modelagem, pois engloba o comportamento dinâmico de todas as variáveis do sistema, assim como, inclusão da altura como proposto por NORTHROP et al. (2016) para fornecer perfil abrangente sobre a uniformidade.

Os métodos atuais de verificação da uniformidade consistem no coeficiente de variação das propriedades funcionais, comparação de dados entre áreas específicas da superfície, análise multivariada por Agrupamento Hierárquico Cluster e Componentes principais (NORTHROP et al., 2016; HERNLUND et al., 2017; BLANCO et al., 2021), entretanto, ainda é necessária criação de um modelo matemático para quantificação da uniformidade a partir dos métodos usuais. Conforme a presente demanda, o objetivo desse estudo foi o desenvolvimento de um modelo para mensuração da uniformidade de superfícies esportivas equestres.

### 2. MATERIAL E MÉTODOS

A análise da superfície estudada ocorreu em um centro equestre de treinamento equestre de equinos da raça Crioula na cidade de Jaguarão no Rio Grande do Sul – Brasil, no mês de novembro de 2022.

## 2.1 PONTOS DE TESTAGEM *IN SITU* DA SUPERFÍCIE

A determinação dos pontos de testes físicos *in situ* ocorreu conforme metodologia adaptada de NORTHROP et al. (2016). Para isso, a área total das superfícies foi dividida em 36 quadrantes contemplando 25 pontos (1m<sup>2</sup> cada ponto) para testes das superfícies. Todos os testes foram realizados em triplicatas.

## 2.2 MENSURAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO SUPERFICIAL

A dureza foi mensurada através de um medidor de compactação digital (FALKER – Modelo PenetroLOG - PLG1020) com capacidade de romper a estrutura da superfície sob velocidade constante (30 - 50 mm/s) até altura de 5 cm, com resolução de 0,01 metros de altura.

A resistência ao cisalhamento foi obtida através de um dispositivo de tração funcional (PEHAN & SCHRAMEL, 2017), mensurando pico de torque (Nm) em rotação de 90° de um corpo de teste (800 N) sobre a superfície.

A umidade foi medida com auxílio de um sensor TDR (Field Scout–TDR-100; Spectrum Technologies) com altura de 0 - 7,6 cm (BLANCO et al., 2021).

A altura da superfície foi mensurada com auxílio de uma haste métrica de aço inoxidável (1 mm de diâmetro), com capacidade de romper a camada superficial (NORTHROP et al., 2016).

## 2.3 EQUAÇÃO PARA MENSURAÇÃO DA UNIFORMIDADE

A modelagem matemática para mensuração da uniformidade foi embasada na metodologia analítica proposta por NORTHROP et al. (2016) através da comparação de dados, Agrupamento de Cluster e Análise de Componentes Principais. Desse modo, utilizamos o método K25 para comparação entre pontos de testagem, Agrupamento Cluster para diferenças não encontradas pelo K25 e Análise de Componentes Principais para calcular o efeito específico das variáveis. A Uniformidade total é obtida pelas médias das propriedades funcionais, método K25 e Cluster, através da equação a seguir:

$$UNF = \left\{ Ev - \left[ Cp * \frac{\left( \frac{Kpca}{Ncomp} \right)}{Cm} \right] * \frac{Ex}{100} \right\}$$

Onde:

UNF: Corresponde a uniformidade de cada propriedade funcional;

Ev: Variação total explicada pelos componentes principais (%);

Cp: Número decimal de comparações múltiplas sem diferença estatística (p<0.05);

Kpca: Coeficiente utilizado a partir dos componentes principais (%) (PC1 ou PC2);

Ncomp: Número de coeficientes retidos no componente principal (PC1 ou PC2);

Cm: Número total de comparações múltiplas;

Ex: Porcentagem (%) explicada pelo componente principal (PC1 ou PC2);

## 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos compreendem comparação pelo teste de dados não paramétrico de Kruskal-Wallis (P < 0.05) para método K25 e Agrupamento hierárquico Cluster, agrupando dados pelo método de Ward e considerando a

distância Euclidiana. A análise de componentes principais foi utilizada para ponderar a influência de cada propriedade através dos coeficientes gerados e variação total explicada, com dados normalizados e coeficientes rotacionados (*Varimax with Kaiser normalization*). Os dados foram analisados com auxílio dos softwares R Statistic (4.2.1) e IBM SPSS Statistics 20. O modelo UNF apresenta resultados em porcentagem (%).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A superfície experimental (Tabela 1) apresentou diferença estatística ( $P < 0.05$ ) pelo método K25 e agrupamento Cluster para dureza, umidade, aderência e altura, com variações de comparações múltiplas significativas ( $P < 0.05$ ). A variação total explicada foi 66,44% por dois componentes principais (PC1 e PC2), sendo retidos ao PC1 umidade (0.824) e altura (-0.815) explicando 33,68% da variação e 32,75% explicada pelo PC2 composto pela dureza (0.734) e aderência (0,690). O modelo UNF resultou em 63,45%, sendo verificado distinção entre UNF K25 (65,04%) e UNF Cluster (61,85%), assim como, para uniformidade de cada propriedade funcional.

Tabela 1. Uniformidade funcional da superfície experimental através dos métodos K25, Cluster, Componentes Principais e modelo UNF.

Uniformidade	Dureza (kgf/cm <sup>2</sup> )	Umidade (%)	Aderência (Nm)	Altura (cm)	
Mediana K25	9.82	12.90	19.60	6.90	
IQR	9.89	2.00	4.32	2.40	
Comparações múltiplas (p<0.05)	2	24	5	92	
P -Value K25	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
<b>Agrupamento Hierárquico Cluster (10 Grupos)</b>					
Comparações múltiplas (p<0.05)	37	5	15	3	
P - Value Cluster	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
<b>Análise Componentes Principais</b>					
<b>Coefficientes Rotacionados</b>					
Componentes	Dureza	Umidade	Aderência	Altura	Total Explicado (%)
PC1	-0.050	0.824	0.048	-0.815	33,68
PC2	0.734	0.377	0.690	0.391	32,75
<b>Coefficiente utilizado</b>	PC2	PC1	PC2	PC1	66,44
<b>Uniformidade funcional</b>					
Modelo	Dureza	Umidade	Aderência	Altura	Total (%)
UNF K25 %	66,36	65,33	66,25	62,23	65,04
UNF Cluster %	55,29	64,84	61,78	65,50	61,85
UNF Total %	60,83	65,08	64,02	63,87	63,45

K25: Método de comparação; Cluster: Agrupamento Hierárquico Cluster; IQR: Intervalo interquartil; PC1 e PC2: Componentes Principais.

O modelo proposto para mensuração da uniformidade de superfícies esportivas equestres resultou na modelagem da variação encontrada nas propriedades funcionais, considerando aspectos matemáticos para quantificação dos efeitos. A umidade e altura foram preponderantes para explicação do comportamento mecânico superficial, devido à retenção ao PC1 e altos coeficientes, o que está de acordo com literatura (HOBBS et al., 2014; NORTHROP et al., 2016). Nesse contexto, o modelo UNF possibilita mensurar padrões inéditos, demonstrando que os animais estavam submetidos a 63,45% de uniformidade ao trafegar nessa superfície, onde a dureza (60,83%) apresentou os menores índices.

É importante salientar a limitação musculoesquelética dos equinos para adaptação a alterações mecânicas da superfície, podendo impactar o equilíbrio e gerar estresse ao sistema locomotor (PARKES & WITTE, 2015; NORTHROP et al., 2016), por isso, é recomendado intensificação da manutenção corretiva, visando aumentar homogeneidade e redução da dureza (ROHLF et al., 2023). Ainda é necessário ampliar a testagem em distintas superfícies e utilizar dispositivos como *Orono Biomechanics Surface Tester* (PETERSON; MCILWRAITH; REISER, 2008) para aumentar a acurácia do modelo.

#### 4. CONCLUSÕES

O modelo proposto para mensuração da uniformidade foi capaz de quantificar a variação das propriedades funcionais da superfície esportiva equestre analisada, identificando os fatores preponderantes para explicação do comportamento mecânico da arena.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HOBBS, S. J. Et al. **Equine Surfaces White Paper**. FEI Publication, 2014. <http://www.fei.org/fei/about-fei/publications/fei-books>.

CHRISTIAN, P.; SCHRAMEL, J. P. **Method and device for determining the coefficient of friction between the surface of a test object, in particular of a base and the surface of a test body**. EP 3 141 886 A1, Mar. 2017.

NORTHROP, A. J. et al. Spatial Variation of the Physical and Biomechanical Properties Within an Equestrian Arena Surface. **Procedia Engineering**, v.147, p. 866 – 871, 2016.

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN A.P. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. **Water Resour. Res.** V. 16(3), p. 574 – 582, 1980.

C.M. ROHLF, T.C. et al. Shear ground reaction force variation among equine arena surfaces, **The Veterinary Journal**, v.291, p. ,105930, 2023. doi.org/10.1016/j.tvjl.2022.105930.

PETERSON, M. L.; MCILWRAITH, W. C.; REISER, R. F. Development of a system for the in-situ characterisation of thoroughbred horse racing track surfaces. **Biosystems Engineering**, v. 101 (2), p. 260 – 269, 2008. doi10.1016/j.biosystemseng.2008.07.007.

PARKES, R. S. V.; WITTE, T. H. The foot-surface interaction and its impact on musculoskeletal adaptation and injury risk in the horse. **Equine Veterinary Journal**, v. 47 (5), p. 519 – 525, 2015. doi:10.1111/evj.12420.

SETTERBO, J. J. et al. Hoof accelerations and ground reaction forces of Thoroughbred racehorses measured on dirt, synthetic, and turf track surfaces. **American Journal of Veterinary Research**, v. 70 (10), p. 1220 – 1229, 2009. doi:10.2460/ajvr.70.10.1220.

CHATEAU, H. et al. Design and validation of a dynamometric horseshoe for the measurement of three-dimensional ground reaction force on a moving horse. **Journal of Biomechanics**, v. 42 (3), p. 336 – 340, 2009. doi:10.1016/j.jbiomech.2008.11.017.

HERNLUND, E. et al. Comparing subjective and objective evaluation of show jumping competition and warm-up arena surfaces. **The Veterinary Journal**, v. 227, p. 49 – 57, 2017. doi:10.1016/j.tvjl.2017.09.001.

BLANCO, M.A. et al. An Experimental Comparison of Simple Measurements Used for the Characterization of Sand Equestrian Surfaces. **Animals**, v. 11, p. 2896, 2021. doi.org/10.3390/ani11102896.