Recordes têm limite?

Valores extremos e evolução temporal no lançamento do disco

XXVI SEMAT — XXVI Semana da Matemática
XVI SEMEST — XVI Semana da Estatística
20 a 24 de outubro de 2026

Ana Luiza Pires Souza da Mata, Matheus Bartolo Guerrero (orientador)
Laboratório de Modelagem Estatística de Séries Temporais, Risco e Extremos (Lab MESTRE)
Instituto de Matemática e Estatística - Universidade Federal de Uberlândia

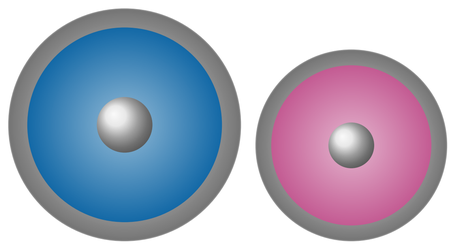
Introdução

O lançamento do disco é uma das provas mais tradicionais do atletismo. As melhores marcas de cada ano têm chances de serem valores extremos, dados essenciais para o estudo da **Teoria de Valores Extremos (TVE)**.

Objetivo: atualizar o estudo de Silva, Caeiro e Oliveira [1], encerrado em 2016, com as marcas até **2025**, e estimar se existe um limite estatístico para elas.

A relevância desta atualização reside na inclusão das marcas recentes, que revelou uma estrutura temporal mais acentuada do que aquela identificada no estudo original.

Importante: Os limites estimados refletem a janela histórica e **não devem ser interpretados como barreiras físicas definitivas** do corpo humano.



Masculino
2 kg
Ø 219–221 mm

Feminino
1 kg
Ø 180–182 mm

Implementos diferentes:
séries analisadas separadamente.

Marcos históricos por categoria, em ordem cronológica:

Homens

74,08 m
Schult (RDA/ALE)
1986 · ex-WR

73,88 m
V. Alekna (LIT)
2000 · 4º na lista histórica

75,56 m
M. Alekna (LIT)
2025 · WR atual

Mulheres

70,50 m
Melnik (URS)
1976 · ex-WR

76,80 m
Reinsch (RDA/ALE)
1988 · WR atual

73,52 m
Allman (EUA)
2025 · melhor desde 1989

Dados e Método

1 — Dados
Track and Field Statistics [2], 1960–2025

2 — Máximos anuais
$M_j = \max_i X_{ji}$
66 por categoria

3 — Ajuste da GEV
MLE + Nelder–Mead [5]
`evd` [6], `extRemes` [7]

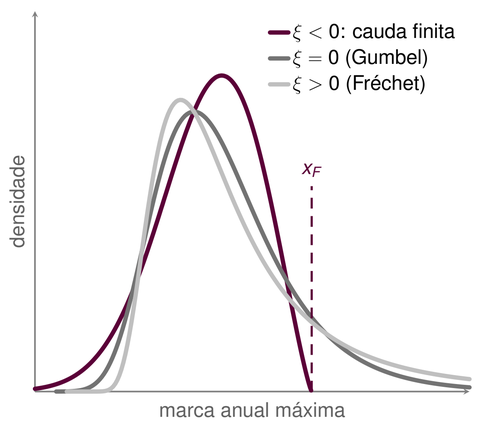
4 — Inferência
x_F, p, $U(T)$
e testes de tendência

Pelo teorema de Fisher–Tippett–Gnedenko [3], máximos normalizados convergem para a GEV:

$$G(x) = \exp\left\{-\left[1+\xi\,\tfrac{x-\mu}{\sigma}\right]^{-1/\xi}\right\}$$

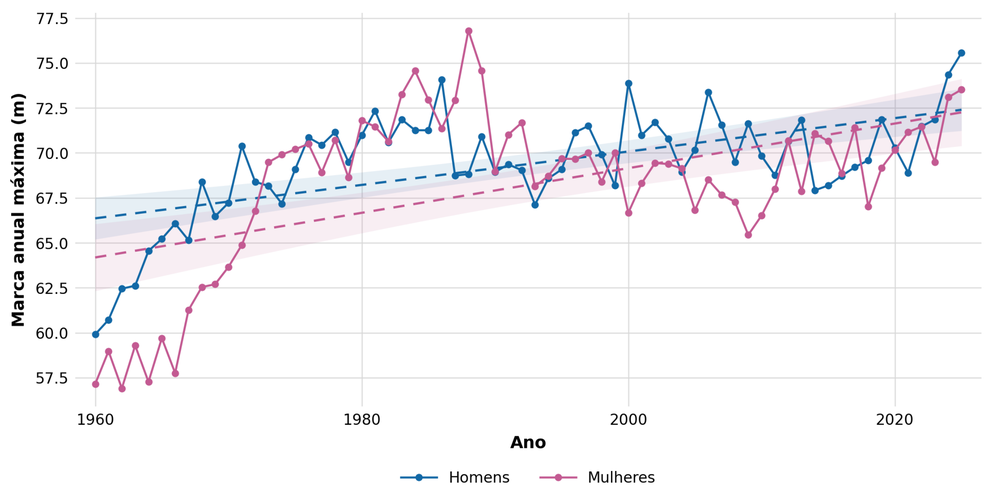
$$\underbrace{x_F = \mu - \sigma/\xi}_{\text{se } \xi<0} \qquad U(T) = G^{-1}\left(1-\tfrac{1}{T}\right)$$

x_F: limite superior do suporte (*endpoint*).
$U(T)$: superada em média uma vez a cada T anos.



Sensibilidade: GEV com localização linear no tempo, $\mu_t = \beta_0 + \beta_1 t$ (σ e ξ constantes).
As propriedades assintóticas do MLE valem para $\xi > -0{,}5$ [4].

As Marcas Mudam com o Tempo



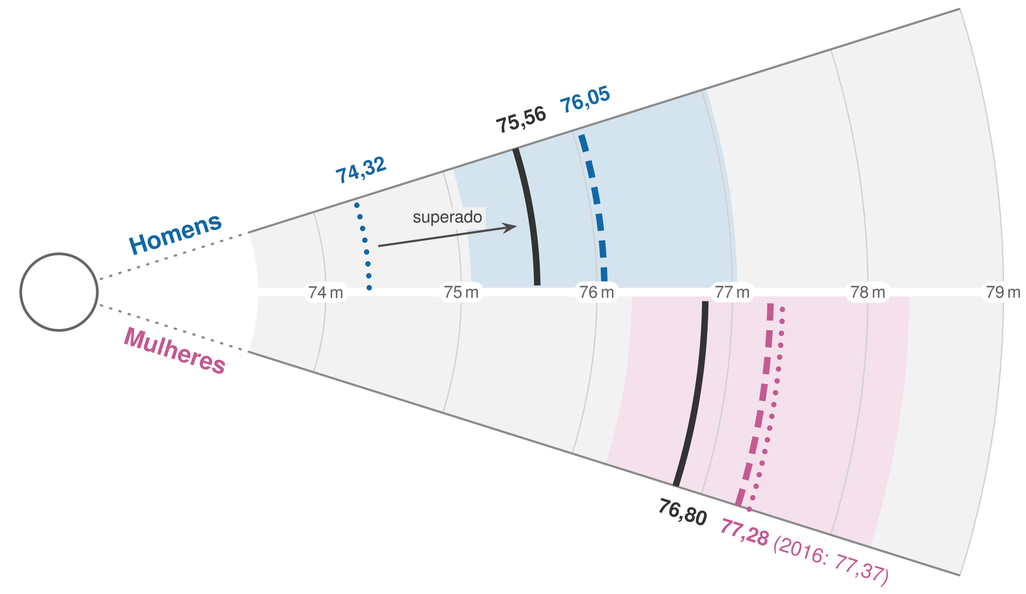
Máximos anuais de 1960 a 2025 (médias de 69,38 m e 68,22 m), com tendências lineares e IC de 95%.

	Homens	Mulheres
Pontos de viragem, p	0,0042	0,0484
Kendall, τ (p)	0,390 (<0,0001)	0,265 (0,0016)
Tendência linear	+9,3 cm/ano	+12,4 cm/ano
Redução do AIC com μ_t	**25,12**	**13,71**

Aleatoriedade rejeitada a 5% nas duas séries e GEV com μ_t preferida (TRV, $p < 0{,}0001$). As inclinações resumem 66 anos e **não devem ser projetadas como taxas futuras**.

Onde Está o Limite?

Com $\hat{\xi} < 0$ (IC de 95% abaixo de zero), a GEV tem limite superior $\hat{x}_F$. No setor de queda, cada arco é uma distância:

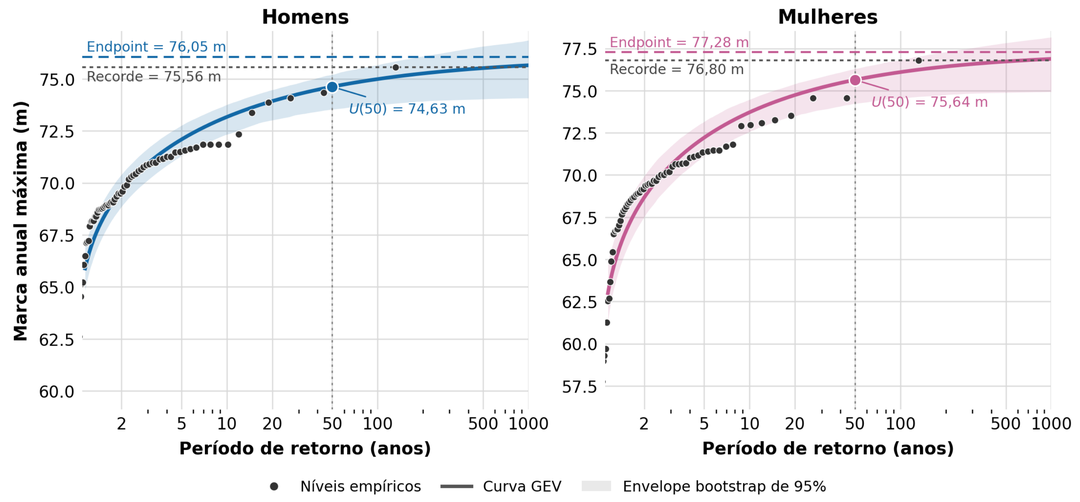


O recorde masculino de 2025 (75,56 m) superou o limite estimado com dados até 2016 (74,32 m). **O limite estimado acompanha a janela de dados; não é uma barreira física.**

	Período	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\xi}$	$\hat{x}_F$	$\hat{p}$	$\hat{U}(50)$
Homens	1960–2016 [1]	68,663	3,139	−0,555	74,320	0,334%	73,670
Homens	**1960–2025**	68,542	3,196	**−0,425**	**76,055**	**0,167%**	74,626
Mulheres	1960–2016 [1]	66,830	4,984	−0,473	77,370	0,208%	75,700
Mulheres	**1960–2025**	67,048	4,795	**−0,469**	**77,281**	**0,147%**	75,637

$\hat{x}_F$ e $\hat{U}(50)$ em metros; $\hat{p}$: prob. anual de superar o recorde de referência. GEV supera Gumbel (TRV, $p < 0{,}0001$; ΔAIC de 31,72 e 32,50).

Níveis de Retorno



Envelope bootstrap pontual de 95% (1.200 réplicas). $\hat{U}(50)$: 74,63 m [74,08; 75,57] e 75,64 m [74,93; 76,79], por perfil de verossimilhança.

Embora o modelo aponte para um teto estatístico, os maiores recordes ficam acima do previsto. Sobretudo no feminino, reforçando que o desempenho não é constante ao longo das décadas.

Conclusões

Cauda superior finita
$\hat{\xi} < 0$ em todos os ajustes, com limites estimados de 76,05 m (homens) e 77,28 m (mulheres).

O tempo importa
Há tendência nas duas séries: a GEV estacionária resume o período, mas não é uma lei permanente do desempenho.

Limite estatístico não é limite físico
Iniciando a série feminina em 1990, o limite estimado (76,13 m) fica abaixo do recorde de 1988 (76,80 m), evidenciando a dependência da janela histórica.

Referências

[1] D. Silva, F. Caeiro e M. Oliveira, *Modelação estatística de valores extremos: probabilidades de excedência, quantis extremais, limite superior do suporte e níveis de retorno no lançamento do disco do atletismo*, Revista de Estatística da UFOP, **7**, 16–31, 2018.
[2] M. Rabinovich, *Track and Field Statistics*, base de dados on-line. Disponível em: `https://trackfield.brinkster.net/`.
[3] S. Coles, *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, Springer, Londres, 2001.
[4] R. L. Smith, *Maximum likelihood estimation in a class of nonregular cases*, Biometrika, **72**(1), 67–90, 1985.
[5] J. A. Nelder e R. Mead, *A simplex method for function minimization*, The Computer Journal, **7**(4), 308–313, 1965.
[6] A. G. Stephenson, *evd: Extreme Value Distributions*, R News, **2**(2), 31–32, 2002.
[7] E. Gilleland e R. W. Katz, *extRemes 2.0: An Extreme Value Analysis Package in R*, Journal of Statistical Software, **72**(8), 1–39, 2016.

Agradecimentos: *Aos meus pais, pela base e pelo suporte. Aos meus amigos, com quem aprendo a crescer todos os dias. Ao meu orientador, por não hesitar em fazer parte da minha trajetória acadêmica. E ao Spotify, pela trilha sonora que me fez companhia em todas as madrugadas de estudo.*

luiza.mata@ufu.br, matheusguerrero@ufu.br