

Otimização Diferencial Aplicada ao Projeto de Motor de Foguete Amador

Pedro H. D. Mançano¹, Hildo Guillard Jr.²
 FESJ/UNESP, São João da Boa Vista, SP

Competições de foguetemodelismo representam um desafio multidisciplinar, em que equipes buscam projetar foguetes que atinjam as maiores alturas, obedecendo a restrições de peso e tamanho, sendo a eficiência do “motor de foguete” crucial.

Este “motor de foguete” é um aparato que converte energia química armazenada em propelentes (comumente KNSB - nitrato de potássio, sorbitol) para energia cinética, impulsionando o foguete e. Tipicamente, é composto por um invólucro cilíndrico que armazena o propelente (combustível), uma câmara de combustão/queima e um bocal de exaustão que direciona os gases quentes, gerando empuxo (Figura 1).

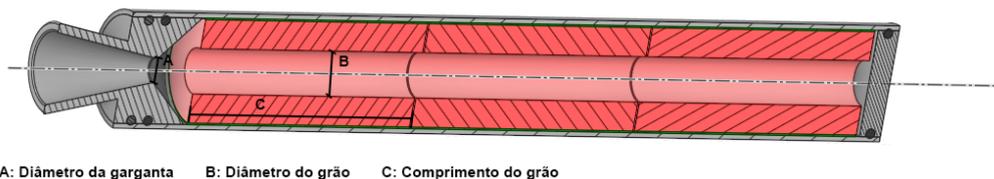


Figura 1: Perfil de um motor de propulsão de minifoguete. Fonte: dos autores.

A otimização das dimensões do motor busca um equilíbrio entre diversos fatores que afetam a eficiência e o desempenho do motor durante a queima do propelente, medidos pelo impulso específico (I_{sp}). A otimização das dimensões do motor visa encontrar um conjunto de parâmetros geométricos, sendo eles: 1) O diâmetro interno grão (D_g); 2) O comprimento do grão (L_g); 3) O diâmetro da garganta do bocal (D_t).

Para isso, algumas restrições, na forma de limites inferiores (lb_i) e superiores (ub_i), foram levadas em conta para tornar o motor estável, repetir regras de competição de foguete-modelismo, e não exceder os limites térmicos e mecânicos da câmara de combustão de alumínio: 1) Pressão máxima na câmara de combustão; 2) Pressão média na câmara de combustão (P_{camera}); 3) Fluxo máximo de massa do bocal; 4) Relação entre a garganta e o diâmetro do bocal; e 5) Valores iniciais, máximos e variação da razão Kn (*Knudsen number*).

$$\begin{cases} \max & I_{sp} = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(D_t, D_g, L_g) \\ \text{s. à} & lb_i \leq x_i \leq ub_i \mid i = 1, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

Para solução de tal otimização [1], foi escrito um algoritmo em linguagem Python 3.10, que utilizando as restrições impostas pela competição [2], utiliza a biblioteca `openMotor` [3] para cálculo de $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ e a função `differential_evolution` do pacote `Scipy` [4] para maximização

¹pedro.mancano@unesp.br

²h.guillardjr@unesp.br

de I_{sp} . Foi utilizado multiprocessamento, uma média de 200 indivíduos por população e um total de 2000 iterações com os resultados estão representados na Figura 2, mostrando a convergência dos indivíduos, ao transcorrer das gerações, para valores de diâmetros construtivo do motor e pontuação atingida (“Score”) dentro das regras da competição [2].

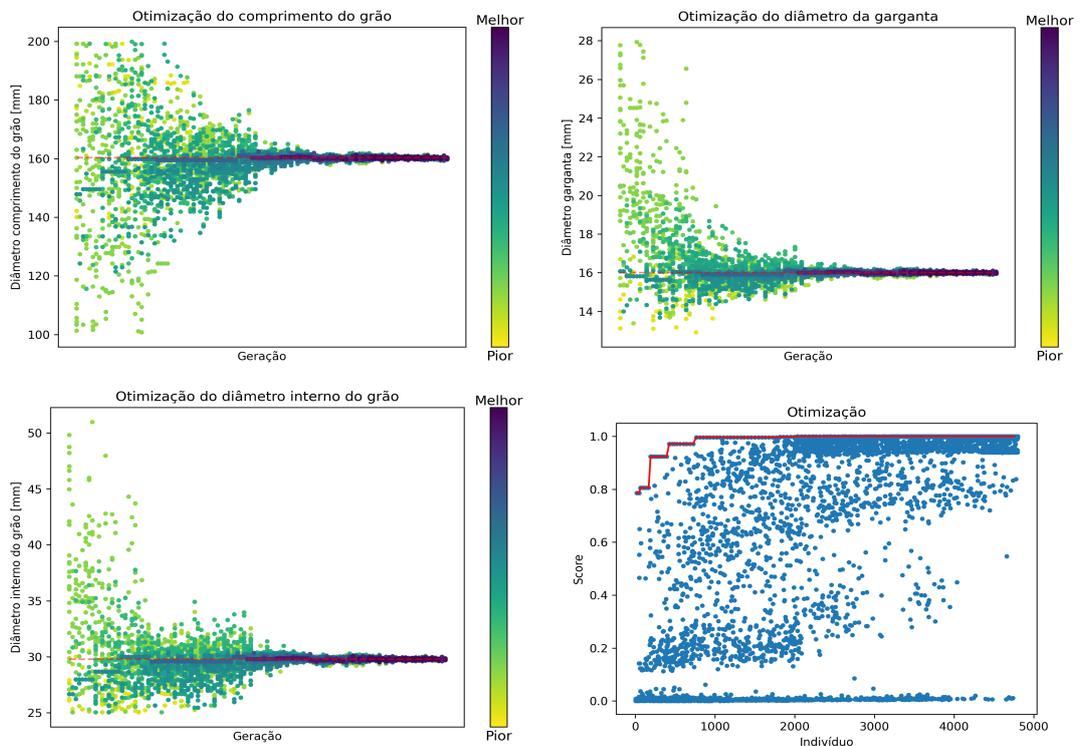


Figura 2: Resultados da otimização por variável e geral. Fonte: dos autores.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) sob processo nº 2023/05660-0 e nº 2016/08645-9.

Referências

- [1] V. Feoktistov. “Differential evolution: in search of solutions”. Em: **Differential evolution: in search of solutions**. Boston, MA, USA: Springer, Boston, MA, 2006, pp. 1–24. ISBN: 978-0-387-36896-2. DOI: 10.1007/978-0-387-36896-2_1.
- [2] A. Marques. **Latin america space challenge rules & requirements document**. 2022.
- [3] A. Reilley. **OpenMotor**. 2019. URL: <https://github.com/reilleya/openMotor>.
- [4] P. Virtanen e *et al.* “SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python”. Em: **Nature Methods** 17 (2020), pp. 261–272. DOI: 10.1038/s41592-019-0686-2.