

## TESTES E VALIDAÇÕES DE UM PROTÓTIPO DE VEÍCULO TERRESTRE NÃO TRIPULADO

**Autores: Daniel de Souza Santos, Gabriel Pansardis Castrioto, Luis Victor de Faria Lopes, Carlos Eduardo Oliveira da Silva.**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus São José dos Campos, Rodovia Presidente Dutra, km 145 – s/n – Jardim Diamante - 12223-201 - São José dos Campos-SP, Brasil, [daniel.santos1@aluno.ifsp.edu.br](mailto:daniel.santos1@aluno.ifsp.edu.br), [g.pansardis@aluno.ifsp.edu.br](mailto:g.pansardis@aluno.ifsp.edu.br), [victor.luis@aluno.ifsp.edu.br](mailto:victor.luis@aluno.ifsp.edu.br), [carlossilva@ifsp.edu.br](mailto:carlossilva@ifsp.edu.br).

### Resumo

Com o crescente interesse em VANTs (Unmanned Aerial Vehicles – VANTs), os VTNTs (Unmanned Ground Vehicles – UGVs) voltaram a se destacar como soluções mais robustas para ambientes confinados. Neste cenário, o desenvolvimento de protótipos de robôs móveis vem crescendo com a finalidade de buscar outros meios para a realização de atividades, como a de inspeção de diversos componentes e estruturas. Ao decorrer deste trabalho que se dedicou a apresentar os resultados práticos de testes realizados em um VTNT autoral, foram executados 5 testes principais que avaliam o torque, a tração, a carga máxima horizontal, a temperatura de operação e a capacidade de superar obstáculos. Com exceção da temperatura de operação, que se apresentou como um fator limitante, outros testes obtiveram resultados favoráveis. O estudo identifica uma necessidade de melhoria no protótipo, no campo de resfriamento e reforça que as validações experimentais são essenciais em projetos práticos, pois nem sempre os cálculos representam sua viabilidade.

**Palavras-chave:** VTNT. Testes. Tração. Térmico.

**Área do Conhecimento:** Engenharia Mecatrônica.

### Introdução

Os Veículos Terrestres Não Tripulados - VTNT (Unmanned Ground Vehicle – UGV) têm se mostrado uma possibilidade tecnológica promissora em diversas aplicações de inspeção e monitoramento, especialmente em ambientes desafiadores. Esses veículos autônomos ou tele operados são capazes de operar em locais de acesso restrito e em condições adversas, promovendo maior segurança, precisão e eficiência. Segundo Thoresen et al. (2021), “apresentamos um planejador de trajetória baseado em Hybrid A que incorpora informações de navegabilidade do terreno, permitindo que VTNTs operem em ambientes complexos e semiestruturados com replanejamento em tempo real”.

Embora os VTNTs sejam objeto de estudos há décadas, o crescente interesse por Veículos Aéreos Não Tripulados VANTs (Unmanned Aerial Vehicles – VANTs) redirecionou parte da atenção científica e industrial para essas plataformas. Drones são amplamente adotados em razão de sua mobilidade e versatilidade, porém sua eficácia é severamente limitada em ambientes internos ou com estruturas metálicas densas, onde o sinal de GPS (Global Position System) torna-se inviável e a estabilidade de voo é comprometida. Como destacam Liu et al. (2015), “a navegação em ambientes internos ainda é um desafio, pois os sistemas de navegação baseados em satélite, como o GPS, geralmente não estão disponíveis nesses locais”.

Nesses contextos, os VTNTs destacam-se como soluções mais robustas, por não dependerem de sustentação aérea nem de sinal de satélite constante, o que os tornam ideais para ambientes confinados, como túneis, centros logísticos e instalações industriais. Além disso, tecnologias como sensores inerciais, LiDAR (Light Detection and Ranging) e câmeras vêm sendo integradas para garantir navegação e mapeamento autônomo em locais desconhecidos e sem GPS, permitindo que VTNTs e VANTs operem de forma colaborativa. Como demonstrado por Qin et al. (2019), “o sistema proposto integra VANTs e VTNTs heterogêneos para explorar e mapear ambientes desconhecidos sem GPS, utilizando sensores como LiDAR, IMU e câmeras, permitindo autonomia colaborativa”.

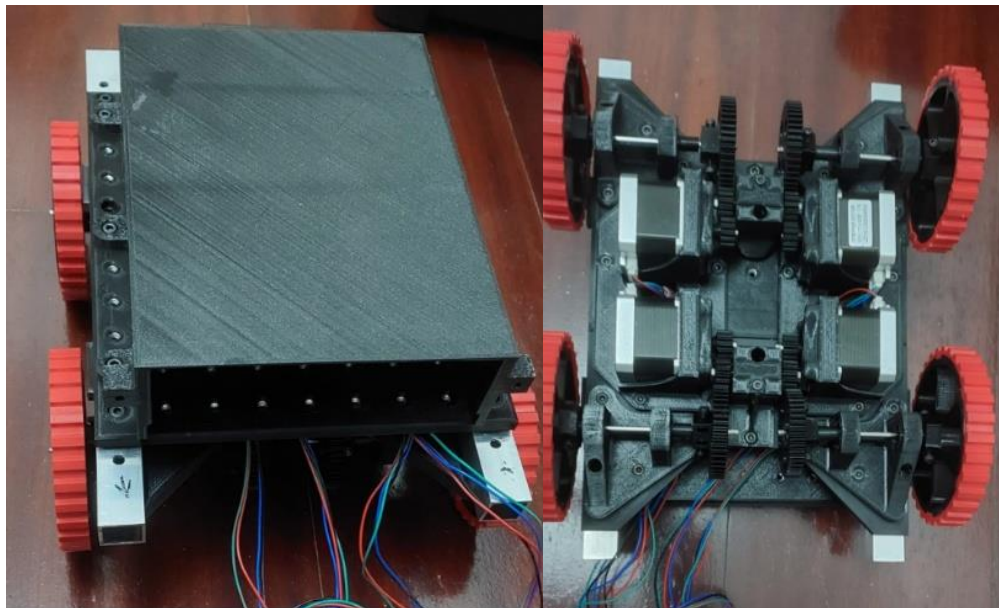
## A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Por fim, observa-se um crescente interesse em ampliar o uso de VTNTs para além do campo militar, atingindo aplicações industriais, agrícolas e de segurança em ambientes não estruturados. Como observam Ersü et al. (2024), “tecnologias de radar para UGVs atendem a uma ampla gama de aplicações [...] especialmente em ambientes não militares e não estruturados”. Assim esse trabalho busca exibir os progressos, testes, problemas e dados empíricos encontrados durante o desenvolvimento de um protótipo autoral de VTNT, com a finalidade de contribuir com a robótica móvel de forma prática.

### Metodologia

O escopo dos estudos é limitado ao protótipo de VTNT autoral em desenvolvimento, apresentado na Figura 1, este que conta com uma estrutura principal de perfis de alumínio com as demais partes impressas em 3D utilizando PLA/PETG/TPU com dimensões aproximadas de 30x24x17cm, seguindo como referência uma série de requisitos previamente estabelecidos para a validação do protótipo, como demonstra a Tabela 1:

Figura 1 – Protótipo de VTNT versão 1.



Fonte: Os autores.

Tabela 1 – Requisitos Práticos.

| Requisitos                     | Valor referência | Requisito Estipulado |
|--------------------------------|------------------|----------------------|
| Torque por motor               | 120N.cm          | 115N.cm              |
| Tração                         | 9,6 kgf          | 7,84 kgf             |
| Temperatura máxima de operação | 150°C            | 120°C                |
| Altura máxima de obstáculo     | 1 cm             | 1 cm                 |
| Carga máxima de tração         | 10,51 kgf        | 8 kgf                |

Fonte: elaborado pelos autores.

Os valores de referência, foram obtidos utilizando as informações de datasheets (DRV8825 Data Sheet: Stepper Motor Controller e 17HS4401 Stepper Motor Datasheet) dos componentes e análise sobre condições perfeitas de operação, já os requisitos estipulados são o que consideramos após determinar valores mínimos aceitáveis dadas as condições de trabalho.

## A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

O torque foi obtido a partir do Datasheet do Motor 17HS4401 e multiplicado pela redução de engrenagens de fator 1 para 3, e foram aferidos de forma prática utilizando um teste de torque (Figura 2), esse que é uma haste de 10cm a partir do eixo, que terá uma força aplicada em sua extremidade.

Figura 2 – Haste de teste de torque.



Fonte: Os autores.

A carga máxima de tração foi calculada utilizando as fórmulas apresentadas na Tabela 2 e foi testado na prática fazendo-o tracionar unidades conhecidas de peso, levando em consideração o coeficiente de atrito do TPU em piso de madeira 0,7.

Tabela 2 – Fórmulas e cálculos realizados

| Fatores                    | Fórmulas                                                              | Valor calculado                       |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Tração por Roda            | $F_{\text{tração}} = T_{\text{roda}} / r_{\text{roda}}$               | 12kgf.cm / 5cm = 2,4kgf               |
| Tração Total (Nº de Rodas) | $F_{\text{total}} = F_{\text{tração}} \times \text{Nº de Rodas}$      | 2,4kgf $\times$ 4 = 9,6kgf            |
| Força de Atrito Máximo     | $F_{\text{atrito}} = \mu \times N$                                    | 9,6kgf $\times$ 0,7 = 6,72kgf         |
| Carga Máxima sem Patinar   | $P_{\text{carga}} \leq (F_{\text{total}} / \mu) - P_{\text{veículo}}$ | (9,6 kgf / 0,7) – 3,2 kgf = 10,51 kgf |

Fonte: elaborado pelos autores.

A temperatura de operação se refere a temperatura dos drivers, pois no processo de controle dos motores os drivers esquentam, e ao atingir uma temperatura limite de 150°C eles desligam automaticamente como um sistema de segurança. Assim, considerando o dissipador térmico adicional, foi estipulada uma temperatura de segurança utilizando o Datasheet do driver DRV8825 como referência. Para obter a temperatura durante a execução foi utilizada uma câmera térmica modelo FLIR TG167, ilustrada na Figura 3.

Figura 3 – Câmera Térmica FLIR TG167.

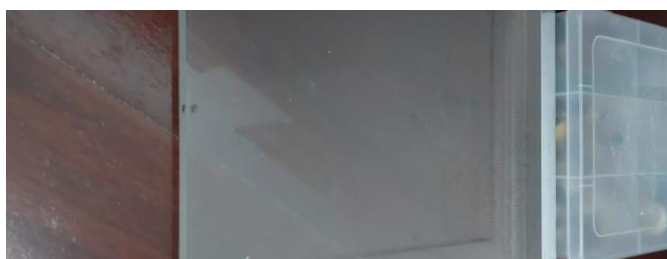


Fonte: Os autores.

## A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

Referente à altura máxima de obstáculo, utilizamos a altura de 1cm, que representa de forma fidedigna as obstruções encontradas nas tubulações as quais esse protótipo se destina. Validamos este critério ultrapassando objetos de alturas conhecidas (Figura 4). Ao utilizar estas metodologias, foram obtidos os seguintes resultados.

Figura 4 – Obstáculos de alturas variadas, 1cm, 2cm, 4 cm.

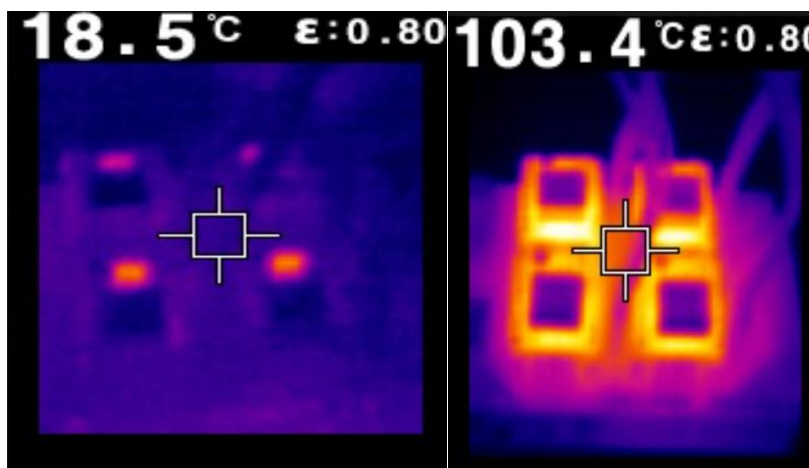


Fonte: Os autores.

### Resultados

Os testes foram realizados sob as seguintes condições, 3,2 kgf de peso do veículo e fator de potência dos drivers em 70% do máximo. Os testes foram iniciados com os drivers a temperatura ambiente (18°C), escalando gradativamente até atingir temperatura operacional de 100 a 110°C, como demonstrado na Figura 5.

Figura 5 – Imagens térmicas dos drivers fora de operação e em operação com 70% da potência.

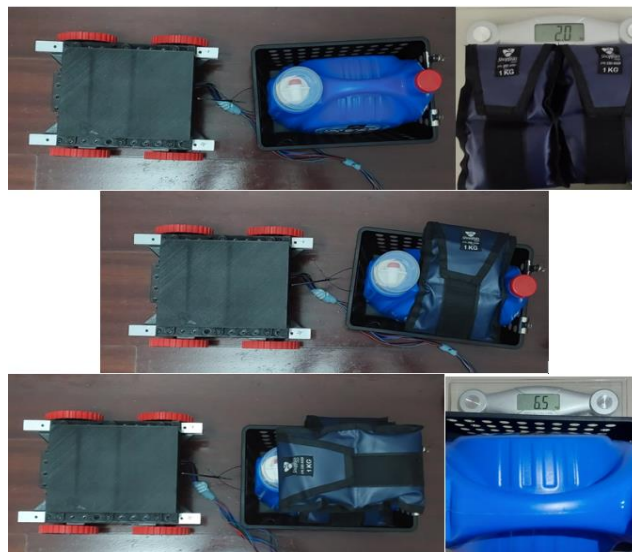


Fonte: Os autores.

A leitura foi coletada enquanto o veículo realizava os testes de tração contínua, onde conseguiu de maneira estável rebocar uma carga de 4,5 kgf. Na sequência foram adicionadas mais 2 cargas de 1kgf, com 5,5 kgf ele teve um pequeno problema para vencer a inércia, já com a adição da segunda carga ele aqueceu excessivamente os drivers, quase atingindo o limite operacional. Por essa razão optamos por encerrar o teste de carga, como demonstrado na Figura 6.

## A Ciência do **NANO** e seu impacto transformador no **MACRO**

Figura 6 – Imagens do teste de carga máxima, 3 testes com cargas de 4,5; 5,5 e 6,5 kgf



Fonte: Os autores.

O teste de torque foi realizado de forma isolada utilizando o setup da Figura 2, onde não foram aferidas irregularidades, o motor levantou 0,4kgf a 10cm, o que equivale a 2,4kgf a 5 cm com a redução de engrenagens. Já o teste de altura máxima exemplificado na Figura 7 foi concluído sem maiores dificuldades pelas 3 alturas, superando as expectativas originais.

Figura 7 – Imagens do teste de altura máxima de obstáculo.



Fonte: Os autores.

### Discussão

Analisando os resultados podemos inferir que, o protótipo está apresentando um problema. Os drivers não suportam os 4 motores em pleno funcionamento devido ao fator de aquecimento. A temperatura operacional chega próximo dos 110°C em funcionamento estável com 70% da potência máxima, fator que permite estimar que em condições de trabalho reais, ou seja, próximo da carga máxima, ele ultrapassaria os 150°C, limite operacional dos Drivers.

Com isso, entende-se que o próximo passo é adicionar um sistema de resfriamento ativo ao protótipo, como ventiladores ou outros dissipadores de calor. Essa medida pode ativamente aumentar o desempenho do protótipo a um nível que ultrapassa os critérios estabelecidos no início.

É necessário pontuar que, removendo a limitação térmica, acredita-se que o teste de torque apresentaria um resultado próximo ao teórico, indicando que os motores não teriam problemas para atingir o torque especificado. Somando isto, têm-se o fato do teste de tração realizado a 70% da potência máxima mover de forma não crítica os 5,5 kgf e conseguir, brevemente, tracionar os 6,5 kgf antes de atingir uma temperatura considerada insegura. Este resultado demonstra que, solucionando o problema de superaquecimento, o protótipo atingirá de maneira estável os requisitos estipulados, apresentando um desempenho próximo ao calculado. No que tange os testes de obstáculos, também foram obtidos resultados favoráveis, que indicam uma boa mobilidade do veículo.

## Conclusão

Diante do exposto, é possível concluir que o protótipo deve seguir nestes moldes de desenvolvimento, visando resolver o problema de superaquecimento dos drivers antes de implementar outros acessórios. Para isso, torna-se necessário uma etapa complementar, que se configura no cálculo, projeto e implementação de um sistema de regulação térmica ativo, dado que um sistema de resfriamento passivo não atenderia o escopo do projeto. No geral, os resultados foram positivos, e representam na prática a importância de validar e testar os conceitos aplicados, pois nem sempre os valores calculados representam a viabilidade do projeto.

## Referências

THORESEN, M. et al. **Path planning for UGVs based on traversability Hybrid A\***. IEEE Robotics and Automation Letters, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 1216-1223, abr. 2021. DOI: 10.1109/LRA.2021.3056028. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9343710>>. Acesso em: 8 set. 2025.

LIU, S. et al. A LiDAR-aided indoor navigation system for UGVs. **The Journal of Navigation**, Cambridge, v. 68, n. 2, p. 253-273, 2015. DOI: 10.1017/S037346331400054X. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-navigation/article/lidaraided-indoor-navigation-system-for-ugvs/F62BDE8DE33A75296CE2A2FE9378E0B0>>. Acesso em: 8 set. 2025.

QIN, H. et al. **Autonomous exploration and mapping system using heterogeneous UAVs and UGVs in GPS-denied environments**. IEEE Transactions on Vehicular Technology, [S.l.], v. 68, n. 2, p. 1339-1352, fev. 2019. DOI: 10.1109/TVT.2018.2890416. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/329980663\\_Autonomous\\_Exploration\\_and\\_Mapping\\_System\\_Using\\_Heterogeneous\\_UAVs\\_and\\_UGVs\\_in\\_GPS-denied\\_Environments](https://www.researchgate.net/publication/329980663_Autonomous_Exploration_and_Mapping_System_Using_Heterogeneous_UAVs_and_UGVs_in_GPS-denied_Environments)>. Acesso em: 8 set. 2025.

ERŞÜ, C. et al. **Radar technologies for UGVs in non-military environments**. Sensors, Basel, v. 24, n. 23, p. 1-26, 2024. DOI: 10.3390/s24237807. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/24/23/7807>>. Acesso em: 8 set. 2025.

TEXAS INSTRUMENTS. **DRV8825 Data Sheet: Stepper Motor Controller IC**. [S. l.]: Texas Instruments, [s. d.]. Disponível em: <<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/432263/TI/DRV8825.html>>. Acesso em: 08 set. 2025.

MOTIONKING. **17HS4401 Stepper Motor Datasheet**. [S. l.]: MotionKing, [s. d.]. Disponível em: <<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1131976/MOTIONKING/17HS4401.html>>. Acesso em: 08 set. 2025.