

Artigo

Avaliação da integridade e funcionamento do sistema de frenagem de um guindaste Sany QY50C

Antônio Rodolfo da Silva Moura ^[1], Rômulo Pierre Batista dos Reis ^[2]

^[1] Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Engenharia Mecânica; Antônio Rodolfo da Silva Moura; rodolfo_moura@outlook.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Engenharia Mecânica; Rômulo Pierre Batista dos Reis; romulopierre@ufersa.edu.br

Data da defesa: 24/10/2024;

Resumo: O artigo avalia a integridade e o funcionamento do sistema de frenagem de um guindaste Sany QY50C, com foco na sua capacidade de garantir segurança operacional. Através de inspeções visuais e cálculos técnicos, o estudo caracteriza os componentes do sistema, que é composto por dispositivos de fornecimento de energia, controle e acionamento de freios. A análise envolve verificar o desempenho de válvulas, acumuladores de ar e o torque gerado em cada roda, utilizando equações específicas para calcular a eficiência mecânica e possíveis perdas de frenagem, como o efeito "fade", causado pelo superaquecimento. Os resultados indicam que, mesmo com a ausência de um dos atuadores, o sistema de freios do guindaste mantém sua capacidade de gerar torque suficiente para garantir a segurança. A perda de torque foi estimada em aproximadamente 70 kN.m por roda, o que ainda é adequado em comparação com o torque nominal gerado pelo motor do guindaste. A pesquisa reforça a importância de inspeções regulares e manutenção dos componentes de frenagem para evitar falhas críticas em situações operacionais exigentes.

Palavras-chave: Sistema de frenagem; Guindaste Sany QY50C; Torque de frenagem.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a expansão das cidades, junto com o processo de urbanização, geram diariamente a necessidade de ampliação da infraestrutura em geral. O aumento no trânsito de veículos de pequeno e grande porte exige cada vez mais segurança no tráfego urbano. O risco de capotamento de veículos pesados é elevado devido a fatores como alto centro de gravidade, más condições das rodovias, velocidade inadequada, erros do motorista, falhas mecânicas, entre outras causas. Devido às grandes dimensões e peso desses veículos, os riscos se tornam ainda mais críticos. Além dos fatores externos e humanos, a integridade dos sistemas mecânicos, especialmente o sistema de frenagem, é primordial para uma condução segura. A manutenção regular dos freios não só garante maior segurança na prevenção de acidentes, mas também prolonga a vida útil dos componentes, resultando em maior economia com manutenções corretivas ao longo do tempo [1,2].

Entre os diversos tipos de veículos que circulam nas rodovias, os guindastes se destacam pelo porte e geometria complexa. Para assegurar a confiabilidade do sistema de frenagem desses veículos, é essencial conhecer seus sistemas e componentes. No caso dos guindastes Sany QY50C, o sistema de frenagem pode ser dividido em: dispositivo de fornecimento de energia, dispositivo de controle, dispositivo de acionamento, freio, dispositivo de redução, tubulação do freio e dispositivo auxiliar [3,4].

O sistema de frenagem do guindaste Sany QY50C é composto por vários dispositivos interconectados para garantir sua eficácia e segurança. A energia de frenagem é fornecida por um sistema de ar comprimido, regulado por válvulas que controlam a pressão e a intensidade da frenagem. O controle do freio é feito por meio de três mecanismos principais: pedal, freio de mão e freio de exaustão de ar. O sistema de freios utiliza dois circuitos de pressão pneumática: o primeiro controla os freios do eixo intermediário/traseiro, enquanto o segundo atua no eixo dianteiro. Além disso, há um circuito separado para o freio de mão, que passa por válvulas adicionais e garante que o caminhão mantenha a capacidade de frenagem mesmo em caso de falha de um dos circuitos principais. Esse sistema de redundância é essencial para a segurança do veículo, especialmente em situações

críticas nas quais um circuito falha, permitindo que o guindaste continue a operar de forma segura e confiável [5].

Tendo em vista essa problemática, o objetivo desse trabalho é caracterizar o sistema de frenagem de um guindaste Sany QY50C e apresentar metodologias de avaliação dos seus componentes, atestando sua integridade e funcionalidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise dos componentes do sistema é preciso identificar todos os componentes. A Figura 1 apresenta o diagrama pneumático do equipamento, englobando todos os sistemas de necessitam de ar comprimido para seu funcionamento, incluindo a parte de frenagem. Nela é possível identificar dispositivos de fornecimento de energia, de controle e acionamento dos freios do guindaste.

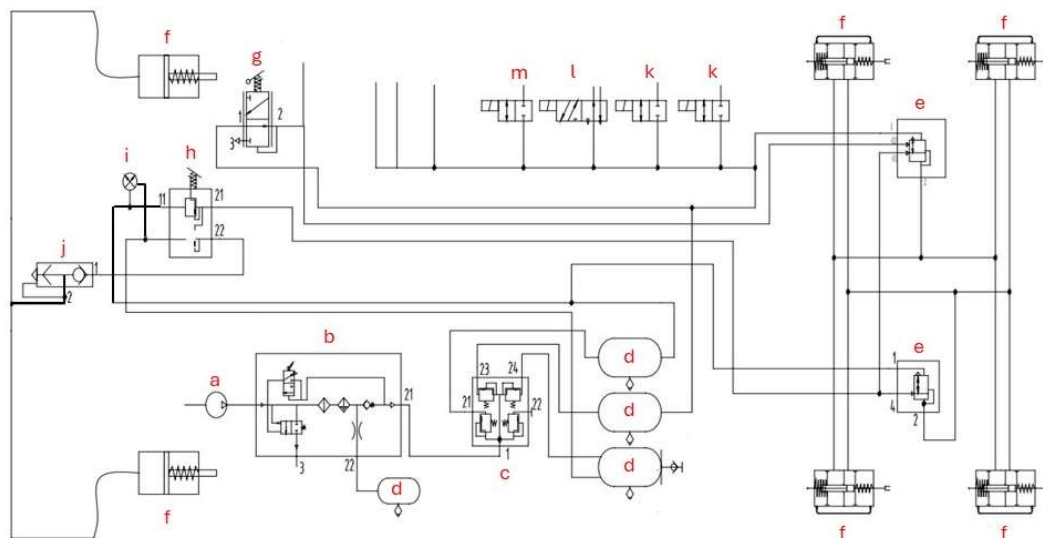


Figura 1 - Esquema pneumático do guindaste QY50C. (a) Compressor de Ar; (b) Secadora de ar; (c) Válvula de Proteção com Quatro Circuitos; (d) Reservatório de Água e Válvula de Drenagem; (e) Válvula Relé; (f) Câmaras de Ar dos Freios; (g) Válvula de Freio de Estacionamento; (h) Válvula de Freio Mestre; (i) Medidor de pressão; (j) Válvula de Sangrador Rápida; (k) Sistema de Bloqueio Diferencial e Eixos; (l) Sistema de acionamento do PTO; (m) Válvula de acionamento do freio motor.

Este esquema representa um sistema de controle pneumático de um veículo, com componentes voltados para o sistema de frenagem e outros elementos de controle associados. A seguir estão descritas as principais partes e como elas se conectam:

- a. Compressor de Ar: O sistema começa com o compressor de ar que fornece o ar comprimido necessário para o sistema.
- b. Secador de ar: retira a umidade, prevenindo a formação de água e corrosão.
- c. Válvula de Proteção com Quatro Circuitos: Após o secador de ar, o ar é direcionado para uma válvula de proteção que distribui o ar comprimido para diferentes circuitos, cada um alimentando um componente ou subsistema específico. A válvula tem a função de isolar os circuitos em caso de falha em um deles.
- d. Reservatório de Água e Válvula de Drenagem: No caminho do ar comprimido, há um reservatório de água e uma válvula de drenagem para eliminar qualquer água residual que tenha passado pelo secador.
- e. Válvula Relé: Esta válvula ajuda a regular a aplicação do freio nas rodas traseiras, equilibrando a força aplicada e facilitando o controle do freio em diferentes condições de carga.
- f. Câmaras de Ar dos Freios: As câmaras de ar dos freios dianteiros e traseiros recebem o ar comprimido da válvula mestre, o que aciona os freios nas rodas. Estas câmaras transformam a pressão do ar em força mecânica, ativando os freios.
- g. Válvula de Freio de Estacionamento: Controla o acionamento do freio de estacionamento. Quando ativada, bloqueia a saída de ar, mantendo os freios engatados e impedindo o movimento do veículo.

- h. Válvula de Freio Mestre: Esta válvula é ativada pelo pedal de freio e controla a distribuição de ar para os freios das rodas e para outros componentes. Ela garante que a pressão aplicada ao pedal seja transferida adequadamente para o sistema de freios.
- i. Medidor de pressão: Responsável por apresentar a pressão do sistema;
- j. Válvula de Sangrador Rápida: Permite uma descarga rápida de ar, útil em situações de desengate ou desativação rápida do sistema de freio.
- k. Sistema de Bloqueio Diferencial e Eixos: O sistema possui válvulas para bloquear o diferencial inter-eixos e o diferencial entre as rodas, aumentando a tração quando necessário.
- l. Sistema de acionamento do PTO: Esta válvula é responsável por fazer a transferência de potência do motor para a bomba do sistema hidráulico do guindaste.
- m. Válvula de acionamento do freio motor: Permite restrição do fluxo dos gases de escape, gerando uma contrapressão no motor, ajudando na desaceleração do equipamento.

Este sistema completo coordena a entrada e saída de ar comprimido para diversos elementos, garantindo o controle adequado dos freios e da tração do veículo.

A seguir, estão apresentadas as etapas para a avaliação do sistema.

2.1 Inspeção visual

Durante a inspeção visual será verificada a presença de todos os componentes apresentados no diagrama pneumático, além da avaliação da integridade estrutural e funcionamento. O principal objetivo é identificar presença de vazamentos, obstruções ou qualquer tipo de avaria que impeça ou dificulte o trânsito do ar, causando mau funcionamento do sistema.

2.2 Estimativa do torque de frenagem

Para garantir a segurança do sistema de frenagem, é essencial conhecer a força e o torque de frenagem, pois isso assegura que o veículo parará dentro de uma distância adequada. A obtenção desses dados permite dimensionar corretamente os componentes do sistema de freios, evitando falhas e garantindo a eficácia em diferentes condições de carga e velocidade. O guindaste Sany QY50C possui um sistema de frenagem do tipo S-Came, onde o torque desenvolvido em cada roda pode ser definido pela equação 1.

$$T_b = (p_1 - p_0) \cdot A_c \cdot BF \cdot \eta_m \cdot \rho \cdot f_a \cdot f_f \cdot r \quad (1)$$

Onde:

$p_1 - p_0$ = Pressão do ar na entrada da câmara;

A_c = Área da câmara de freio;

BF = Brake Factor;

η_m = Eficiência mecânica;

ρ = Ganho mecânico na aplicação do freio;

f_a = Fator de redução devido ao ajuste do freio;

f_f = Fator de redução de frenagem devido efeito de fade;

r = Raio do tambor de freio.

Parte dos parâmetros exposto pode ser determinada através de medição das informações cedidas pelo fabricante acerca dos componentes do sistema, entretanto o ganho mecânico ρ é determinado a partir da equação 2.

$$\rho = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_3 \cdot L_4} \quad (2)$$

Onde:

L_1 = Comprimento do braço de atuação do freio (came S);

L_2 = Comprimento da alavanca ajustadora;

L_3 = Comprimento do braço de reação do freio;

L_4 = Comprimento do braço slack Adjuster.

Outras variáveis necessárias a estimar são os fatores de redução da eficiência de frenagem f_a e f_f . O primeiro fator é crucial para prevenir a perda de eficiência no sistema de frenagem resultante de ajustes inadequados ou imprecisos, especialmente em sistemas com freios de tambor, como os do tipo s-cam. A equação 3 estabelece uma forma empírica de estimar as perdas devido a esse ajuste.

$$f_A = 1 - 0,5 \cdot \Delta d \quad (3)$$

Onde:

Δd = Curso da haste do atuador do freio.

Por último, o fator de redução de frenagem devido ao efeito de fade f_f , se refere à perda de eficiência do freio causada pelo superaquecimento do sistema de frenagem durante uso intenso e prolongado, como em descidas longas ou frenagens repetidas. O fade ocorre quando o atrito entre as lonas e o tambor diminuem significativamente devido ao aumento de temperatura. A equação 4 se propõe a quantificar essa perda através de testes de dinamômetro e de estrada para temperaturas de freio superiores 366 K.

$$f_F = 1,2 - 0,0018 \cdot (T - 255) \quad (4)$$

3. RESULTADOS

Inicialmente, a inspeção visual buscou encontrar anomalias no subsistema de fornecimento de energia. Logo, o compressor de ar foi avaliado quanto a sua integridade física e funcionamento. Devido a impossibilidade de desmontagem, verificou-se a sua capacidade de gerar ar comprimido aos acumuladores de ar. Ao ligar o equipamento não houve dificuldade para atingir a pressão de 0,55 Mpa exigida pelo fabricante para o vencer a força das molas das câmaras do freio de estacionamento. Seguindo o circuito pneumático, a Figura 2 apresenta a válvula secadora de ar, responsável pelo tratamento do ar comprimido que chega aos demais componentes no sistema e por regular a pressão fornecida pelo compressor. Ela não apresentou avarias ou vazamentos, além de funcionamento correto ao manter o sistema operando na faixa de 0,67 Mpa.



Figura 2 - Válvula APU

Dando continuidade ao circuito, as tubulações e mangueiras que transportam o ar comprimido ao sistema foram inspecionadas, não sendo detectado vazamentos provenientes de furos, trincas ou folga nas conexões. Os acumuladores de ar também não apresentaram vazamentos ou deformações, suas válvulas foram verificadas quanto a abertura, além da checagem da drenagem do condensado proveniente do uso. A Figura 3 traz o registro da inspeção de um dos quatro acumuladores, sendo esse o reservatório regenerativo, responsável por equilibrar a pressão do sistema em caso de falha do compressor ou queda de pressão.



Figura 3 - Acumulador de ar

Em seguida, a válvula de quatro circuitos foi verificada, não apresentando deformações aparentes como mostra a Figura 4. Quanto a seu funcionamento, a válvula apresentou funcionamento normal, não sendo verificado alimentação insuficiente em nenhum dos acumuladores. Com relação a sua capacidade de isolar os circuitos defeituosos em caso de vazamentos não foi possível a checagem devido à ausência de vazamentos de ar nos sistemas subsequentes.



Figura 4 - Válvula de quatro estágios

Após a inspeção dos componentes do sistema de fornecimento de energia e distribuição de ar, os dispositivos de acionamento foram verificados. A Figura 5 apresenta o pedal de freio do guindaste sem avarias, folgas ou falha no acionamento da válvula pedal.



Figura 5 - Pedal de freio

Na sequência, a válvula pedal foi verificada. Não foi identificado vazamentos ou falha no retorno do pedal devido a retornos de ar devido a fugas internas. A Figura 6 apresenta o componente sem avarias de sua estrutura física.



Figura 6 - Válvula pedal

Consecutivamente, deu-se início a verificação do acionamento do freio de estacionamento, como é mostrado na Figura 7. Não foi identificado falha no acionamento dos dois estágios de funcionamento da alavanca, vazamentos nas saídas inferiores ou avarias na estrutura.



(a)



(b)

Figura 7 – Válvula do freio de estacionamento. (a) Parte superior. (b) Parte inferior.

As últimas válvulas a serem verificadas são as responsáveis pelo acionamento dos atuadores de freio, as válvulas relé. O equipamento apresenta três dessas válvulas, a primeira sendo responsável por distribuir o ar aos eixos dianteiros e as duas últimas atuam nos eixos traseiros levando ar ao freio de serviço e de estacionamento. A Figura 8 apresenta o registro das válvulas sem avarias externas, além de não ter sido notado falha no funcionamento ou vazamentos de ar.



(a)



(b)



(c)

Figura 8 – (a) Válvula relé do 1º e 2º eixo, (b) freio de serviço 3º e 4º eixo e (c) freio de estacionamento 3º e 4º eixo.

Durante a verificação dos atuadores de freio constatou-se a ausência do atuador esquerdo do terceiro eixo, como mostrado na Figura 9.



Figura 7 – Atuadores do Sistema de frenagem

O ocorrido motivou uma análise mais detalhada dos demais atuadores, sendo feita a retirada para realização de teste de bancada para verificar o funcionamento do demais. A Figura 10 apresenta os componentes funcionando de maneira regular, com avanço e retorno da haste dos atuadores se deslocando tanto através da injeção de ar no compartimento do freio de serviço quanto no compartimento do freio de estacionamento, além de não apresentar danos as molas e diafragmas.



(a)



(b)

Figura 10 – Atuadores de freio (a) haste recolhida (b) haste acionada

Finalmente, foi verificada as lonas e tambor de freio. Durante a inspeção constatou-se que os tambores não apresentaram deformações, trincas ou desgaste excessivo. Já as lonas de freio foram medidas com a ajuda do paquímetro, ficando todas com espessuras que variaram entre 13mm e 11mm, acima do limite de 7mm recomendado pelo fabricante para a substituição. A Figura 11 apresenta parte do processo das medições.



Figura 11 - Medição das lonas de freio

3.1 Determinação da perda de capacidade de frenagem

A perda da capacidade de frenagem, causada pela ausência de um dos acumuladores, levou à necessidade de estimar a perda de torque e potência nos freios. O guindaste é equipado com um motor Dongfeng Cummins ISLe310, capaz de gerar uma potência máxima de 228 kW e um torque de 1200 N.m. De acordo com Limpert (2011), para que os freios sejam considerados seguros, é fundamental dissipar a potência e o torque gerados pelo motor. Assim, a equação 5 será utilizada para verificar o torque gerado em cada roda.

$$T_b = (p_1 - p_0) \cdot A_c \cdot BF \cdot \eta_m \cdot \rho \cdot f_a \cdot f_f \cdot r \quad (5)$$

onde, a pressão na entrada dos acumuladores $p_1 - p_0$ é de 0,67Mpa e sua área A_c de 0,024m. Segundo Limpert, o BF típico do freio S-Cam é de aproximadamente 1,6, enquanto o seu ganho mecânico η_m 0,76. Os raios dos tambores de freio foram medidos e são de aproximadamente 0,25m. O ganho mecânico do sistema do equipamento pode ser estimado como descrito da equação 6:

$$\rho = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_3 \cdot L_4} \quad (6)$$

Onde:

$L_1 = 175\text{mm}$

$L_2 = 225\text{mm}$

$L_3 = 125\text{mm}$

$L_4 = 175\text{mm}$

Logo:

$$\rho = \frac{175 \cdot 225}{125 \cdot 175}$$

$$\rho = 1,8$$

Por fim, as últimas variáveis a serem estimadas são os fatores de correção relativos ao ajuste dos freios f_a e o fator de redução devido ao efeito de fade. A equação 7 será utilizada considerando o curso limite da haste dos cilindros de freio igual a 0,4, logo:

$$f_A = 1 - 0,5 \cdot 0,4$$

$$f_A = 0,8 \quad (7)$$

O fator de ajuste devido ao efeito de fade foi calculado admitindo valores médios de temperatura de trabalho especificado pelo fabricante de aproximadamente 353 K, temperatura limite na qual os pneus começam a degradar. Assim a equação 8 resulta no seguinte valor:

$$f_A = 1,2 - 0,0018(353-255) \quad (8)$$

$$f_A \approx 1$$

Assim podemos determinar o torque estimado T_b produzido em cada roda a partir da equação 9:

$$T_b = 67000000,0240,1,6,0,76,1,8,0,8,1,0,25 \quad (9)$$

$$T_b \approx 70.391,8 \text{ N.m}$$

A partir do resultado estimado é possível validar a capacidade do sistema, mesmo na ausência de um dos cilindros de freio, já que o torque nominal gerado pelo motor é de 1200 N.m.

4. CONCLUSÃO

O sistema de frenagem do guindaste Sany QY50C, apesar de apresentar a ausência de um dos atuadores, mantém sua funcionalidade e capacidade de garantir a segurança operacional. A análise detalhada dos componentes, incluindo válvulas, acumuladores de ar e atuadores, revelou que o sistema de redundância dos freios permite uma operação segura mesmo em situações adversas. O torque de frenagem calculado foi de aproximadamente 70 kN.m por roda é suficiente para dissipar o toque gerado pelo motor e garantir a eficácia dos freios.

Os resultados reforçam a importância da manutenção regular e da inspeção detalhada dos componentes de frenagem para prevenir falhas críticas, especialmente em veículos pesados e de grande porte como guindastes. O estudo também demonstrou a eficácia do uso de equações e testes técnicos para avaliar o desempenho do sistema, proporcionando uma base sólida para melhorias futuras no projeto e na manutenção de sistemas de freios pneumáticos.

6. REFERÊNCIAS

- [1] NIEMAN, Rudolf Limpert. Brake Design and Safety. 3rd ed. Warrendale, PA: SAE International, 2011.
- [2] ZHENG, Rencheng; NAKANO, Kimihiko; YAMABE, Shigeyuki; AKI, Masahiko; NAKAMURA, Hiroki; SUDA, Yoshihiro. Study on Emergency-Avoidance Braking for the Automatic Platooning of Trucks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 15, n. 4, p. 1748-1757, 2014.
- [3] INFANTINI, Mauricio Blanco. Variáveis de Desempenho dos Sistemas de Freio. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- [4] SUBRAMANIAN, Shankar C.; DARBHA, Swaroop; RAJAGOPAL, K. R. A Diagnostic System for Air Brakes in Commercial Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 7, n. 3, p. 360-375, 2006.
- [5] SANY Group. Operation and Maintenance Manual: Truck Crane QY50C. Changsha, Hunan, China: SANY Mobile Cranes Co., Ltd., 2010.