MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Estudo da influência das condições de operação em sistemas de transmissão de potência por elementos flexíveis

por

Dante Gageiro La Porta Neto

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Novembro de 2013

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

Estudo da influência das condições de operação em sistemas de transmissão de potência por elementos flexíveis

por

Dante Gageiro La Porta Neto

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof.
Thamy Cristina Hayashi

Área de Concentração: **Projeto e Fabricação**

Orientador: Prof. Rafael Antonio C. Laranja

Comissão de Avaliação:

Prof. Cíntia C. Petry Mazaferro

Prof. Rodrigo Rossi

Prof. Alcy Rodolfo dos Santos Carrara

Porto Alegre, 14, novembro de 2013. La Porta Neto, D. G. Estudo da influência das condições de operação em sistemas de transmissão de potência por elementos flexíveis. 2013. 23p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é verificar a influência na que a tensão na corrente e sua condição de lubrificação exercem sobre o sistema de transmissão de potência por correntes utilizadas em transmissões de bicicletas. Para realizá-lo, um sistema de transmissão de bicicleta do tipo câmbio desviador foi adaptado a uma bancada dinamométrica e, através da comparação direta entre torque de reação do motor, torque do freio reostático e suas respectivas rotações, foi possível quantificar a eficiência do sistema. Diante dos resultados obtidos, concluiu-se que a condição de lubrificação não altera a eficiência mecânica do sistema e que o aumento da tensão no elemento transmissor torna o sistema mais eficiente em até 64,5%.

PALAVRAS-CHAVE: corrente, lubrificação, eficiência mecânica.

La Porta Neto, D. G. *Study of the influence of operating conditions on a power transmission system by flexible elements*, 2013. 23p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ABSTRACT

The objective of this study is to verify the influence of mechanical tension and the lubrication condition on the system's efficiency, which is made of power transmission chains used in bicycles. To perform it, a bike variable-ratio transmission system derailleur gears was adapted to a dynamometer and, through direct comparison between the engine torque, the torque on the a rheostatic brake and their respective rotations, it was possible to quantify the efficiency of the system. Based on these results, it was concluded that the condition of lubrication does not change the mechanical efficiency of the system and also, when increasing the tension on the power transmission system, it makes the system 64,5% more efficient.

KEYWORDS: chain, lubrification, mechanical efficiency.

ÍNDICE

RESUMO iii
ABSTRACT iv
1. Introdução 1
2. Objetivos 2
2.1 Objetivo Geral 2
2.2 Objetivo Específico 2
3. Revisão Bibliográfica 2
3.1 Transmissão por Elementos Flexíveis 2
3.2 Lubrificação 3
3.3 Dinamômetro 3
4. Metodologia 4
4.1 Adaptação do sistema de transmissão à bancada 5
4.2 Correntes, condições de lubrificação 5
4.3 Cálculo do rendimento 7
4.4 Carga imposta ao freio 7
4.5 Incertezas 7
4.6 Incerteza no cálculo do torque 8
4.7 Incerteza na medição da Potência 8
4.8 Incerteza no cálculo do rendimento 8
5. Resultados e discussões 9
6. Conclusões 12
7. Referências Bibliográficas 13
Apêndice I- Tabelas 14
Apêndice II- Gráficos e comentários 16

1. Introdução

Visando a redução de custos de projeto e menores impactos ambientais, pesquisadores estudam métodos para melhorar a eficiência energética de sistemas mecânicos aperfeiçoando modelos já existentes, ou através de projetos de novos equipamentos capazes de realizar de forma mais eficaz a mesma função que aqueles atualmente utilizados exercem. Desta forma, elementos flexíveis de transmissão de potência vêm sendo otimizados ao longo dos anos, possibilitando a compactação de sistemas, diminuindo a utilização de matéria prima e reduzindo o tamanho dos componentes de equipamentos a partir de elementos com maiores capacidades de transmissão.

Pode-se citar como exemplo de otimização a evolução das correias: no início da era industrial, as correias planas eram utilizadas em larga escala, movimentando transmissão de forças e cargas por longas distâncias. Ao longo do tempo, desenvolveram-se perfis de correia de maior capacidade de transmissão, resultando em sistemas mais compactos, menos ruidosos e mais econômicos [Bormax, 2012]. Em sistemas de transmissão por correntes, estudos focam em determinar agentes causadores do decréscimo da eficiência, caracterizado por uma diferença entre energia disponibilizada na roda dentada motora e energia que movimenta roda dentada movida. Conhecendo os fatores responsáveis por estas perdas, é possível desenvolver soluções para combater estas indesejáveis perdas

Em 2001, Spicer publicou um artigo sobre a eficiência de sistemas de transmissão de bicicletas por corrente, no qual analisou possíveis fatores associados aos mecanismos de perda de energia. Spicer objetivou estudar a variação na eficiência do conjunto variando-se a relação de número de dentes e o efeito do desalinhamento das rodas dentadas motora e movida, a influência da carga e rotação da corrente e por fim a influência da lubrificação sobre o elemento transmissor. Através de dados obtidos em uma bancada instrumentada, o autor concluiu que, para mesmas condições de operação, a eficiência do sistema aumenta com o aumento da tensão da corrente (80,9% para tensão 76,2 N e 98,6% para tensão de 305 N). Ainda, quando comparadas as eficiências das relações 52-11 e 52-21, a segunda demonstra ser 2,7% superior a primeira e, em condições de laboratório, lubrificação e desalinhamento têm efeitos negligenciáveis por conta da precisão dos equipamentos utilizados.

Em 2011, utilizando uma bancada de testes semelhante à utilizada por Spicer, Aguiar demonstrou que sistemas lubrificados com óleo e óleo aditivado apresentam melhor rendimento de transmissão que correntes sem lubrificação e oxidada. Segundo o autor, para rotações mais elevadas o sistema com óleo aditivado apresentou melhor rendimento.

Chester, 2001, comparou a eficiência de diferentes câmbios que utilizam correntes como elemento transmissor (cambio desviador, *hub gears* e *Browning automatic bicycle transmitions*) concluindo que, embora o atrito aumente com o aumento da rotação e a tensão da corrente, o decréscimo causado na eficiência é menor do que o ganho produzido pelo aumento da rotação e tensão na mesma. O autor ainda fez uma interessante reflexão: caso a equipe de ciclismo campeã nas olimpíadas de Atlanta (1996) na categoria 4.000 metros utilizasse bicicletas 2% menos eficientes, despencaria da primeira posição para a quarta, salientando a importância de estudos dos agentes degradantes de energia.

2. Objetivos

A seguir, listam-se os objetivos geral e específico do trabalho.

2.1 Objetivo Geral

Utilizando uma bancada dinamométrica existente no LAMAE (Laboratório de Mecânica Aplicada e Experimental- UFRGS), o objetivo geral do trabalho é avaliar o impacto sobre a eficiência de um sistema de transmissão de bicicleta do tipo câmbio desviador ocasionado pela condição de lubrificação do elemento transmissor.

2.2 Objetivo Específico

Para alcançar o objetivo geral do presente trabalho, tem-se como guia os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a superposição dos efeitos de que afetam a eficiência mecânica em sistemas de transmissão por corrente:
    - efeito da condição de lubrificação: corrente não lubrificada, corrente lubrificada limpa, corrente lubrificada suja.
    - tensão da corrente
    - efeito poligonal

3. Revisão Bibliográfica

A seguir, apresenta-se uma breve revisão sobre os principais pontos abordados no trabalho.

3.1 Transmissão por Elementos Flexíveis

As correntes são elementos de máquinas, flexíveis ou elásticos, utilizados em sistemas de transporte ou transmissão de potência. Seu uso simplifica o projeto, consequentemente reduzindo custos como por exemplo substituindo engrenagens, mancais, eixos ou outros dispositivos rígidos do sistema. Possuem a característica de absorver cargas de choque, amortecer e isolar efeitos de vibrações, beneficiando a vida útil do sistema, entretanto, apesar dessas vantagens, as correntes possuem vida finita, devendo então ser substituídas quando no desgaste [Shigley e Mishke, 2005].

Em sistemas de transmissão de potência por correntes, destacam-se como características de funcionamento o não deslizamento (relação de velocidade constante), a vida longa e a habilidade de acionar mais de um eixo a partir de uma única fonte de potência [Shigley e Mishke, 2005].

Correntes de rolos são, geralmente, constituídas de materiais metálicos, compostas de roletes de mesmo tamanho, montados em sequência por meio de conexões e pinos e buchas que formam uma corrente contínua e flexível. Transmitem a energia mecânica por meio de rodas dentadas, que podem ou não ser do mesmo diâmetro, combinando assim a flexibilidade de transmissões por correias com o deslocamento positivo oferecido pelas engrenagens [Carreteiro, 2006]. Um dos principais inconvenientes no uso de correntes de roletes é o efeito poligonal, mais pronunciado para rodas dentadas com menos de 17 dentes. Este efeito é causado pelo aumento da velocidade instantânea do rolete, quando este acopla na roda dentada. Ou seja, o rolete percorre um espaço maior (arco da circunferência) causando um aumento de velocidade brusca ou impacto no rolete. Este efeito é minimizado a níveis de 3% de aumento da velocidade, para número de dentes da menor roda dentada igual a 17. A figura a seguir ilustra a geometria da corrente acoplada na roda dentada [Smith , 2002].

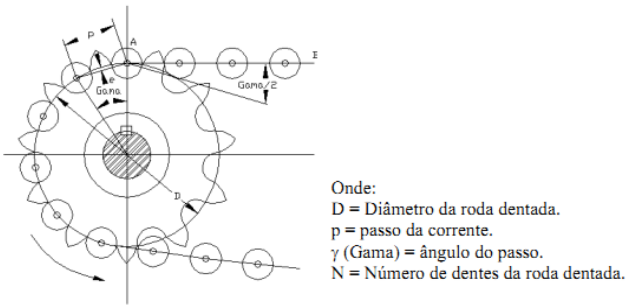

Figura 01: Corrente acoplada na roda dentada: quanto maior o ângulo de passo, maior o efeito poligonal, o que é prejudicial ao sistema. Fonte: Smith , 2002.

3.2 Lubrificação

A lubrificação pode ser definida como elemento de redução de atrito entre duas superfícies em movimento relativo por meio da introdução de uma substância entre as mesmas, possibilitando que o movimento seja executado com o mínimo aquecimento, ruído e desgate [Carreteiro, 2006]. Os lubrificantes podem ser classificados por seu estado físico como sólidos, líquidos, pastosos e gasosos. Dentre os lubrificantes líquidos, destacam-se os óleos minerais (obtido em sua maioria a partir da destilação do petróleo) e os óleos sintéticos (de origem petroquímica) [Childs, 2004]. Ainda, é possível melhorar determinadas propriedades do lubrificante adicionando-lhe aditivos em sua composição - compostos químicos que reforçam algumas de suas qualidades, lhes cedem novas ou eliminam propriedades indesejáveis. Estes aditivos podem ser classificados em dois grupos: aqueles que modificam características físicas dos lubrificantes, como por exemplo a viscosidade, e aqueles cujo efeito final é de natureza química, como agentes antidesgaste, modificadores de fricção e agentes extrema pressão [Carreteiro, 2006].

3.3 Dinamômetro

Khurmi e Gupta, 2010, classificam os dinamômetros como dispositivos mensuradores da resistência imposta pelo atrito. Conhecendo a resistência provocada, é possível obter o torque transmitido e então a potência do motor. Os autores classificam os dinamômetros em duas categorias:

- Dinamômetro de absorção o qual energia produzida pelo motor é transformada em calor durante o processo de medição.
- Dinamômetro de transmissão onde a energia é utilizada em outros fins. Ou seja, o dinamômetro transmite a energia produzida pelo motor para outros dispositivos que irão impor a resistência, mensurando assim a potência.

Segundo Plint e Martyr, 2007, os dinamômetros podem ser hidráulicos, pneumáticos, elétricos, hidrostáticos e por atrito. No presente trabalho, será utilizado um dinamômetro baseado no Freio de Prony, utilizado por Kich (2011). Para mais detalhes do funcionamento do dinamômetro utilizado neste trabalho podem ser obtidas nos trabalhos de Kich (2011) e Wetzel (2012).

4. Metodologia

Para realizar as medições, foi adaptado um sistema de transmissão de bicicleta do tipo câmbio desviador (ilustrado na Figura 4.1A) em uma bancada dinamométrica existente no LAMAE (Laboratório de Mecânica Aplicada e Experimental). Objetivando reproduzir as reais condições encontradas em bicicletas que utilizam este câmbio, foi instalado na bancada uma coroa com um único diâmetro, um pinhão de seis diâmetros diferentes e componente desviador traseiro, como se mostra na Figura 4.1 B. Não foi necessária a instalação do componente dianteiro do câmbio desviador, pois os testes foram realizados com uma coroa que possuía somente uma relação de dentes.

Figura 4.1: A- Transmissão por câmbio desviador. B- Cambio desviador adaptado à bancada dinamométrica.

A bancada utiliza um motor elétrico indutivo marca Weg com 1 CV de potência como tracionador e como freio utiliza um motor DC de 24 V da Bosch, seu funcionamento se dá pelo giro livre desses dois componentes que estão apoiados sobre seus eixos através de mancais de rolamento fixados a estrutura da máquina, conforme a Figura 4.2 [Kich, 2011].

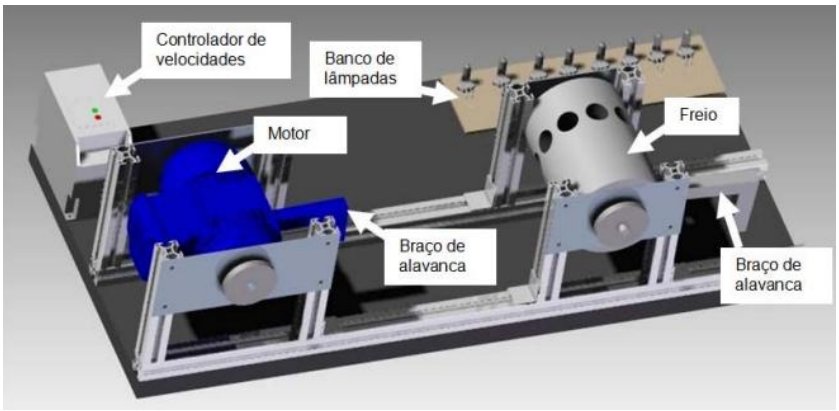

Figura 4.2: Componentes da bancada dinamétrica. Fonte:Kich, 2011.

Com rotação do motor controlada por um inversor de frequência (Weg CFW-08 - controlador de velocidades na Figura 4.2) medida no eixo do motor através de um tacômetro (Minipa modelo MDT-2238A, incerteza de 10 rpm). O motor transmite torque para o sistema, e, através de um banco de lâmpadas alógenas tipo JC de 100 W ligadas em paralelo e independentemente entre si e ao rotor do freio, variou-se a carga sob o sistema. Foram testadas três situações de operação: operação sem carga, com quatro lâmpadas e sete lâmpadas acionadas, separadamente. A inserção das resistências no circuito sobre o sistema ocasiona um carregamento contrário à rotação do rotor do freio, reduzindo a rotação do eixo do mesmo e aumentando a tensão da corrente.

4.1 Adaptação do sistema de transmissão à bancada

Para a fixação do desviador traseiro, foi utilizada uma chapa de aço dobrada em L presa por dois parafusos na estrutura de alumínio da bancada. Nessa chapa, foi fixado o desviador traseiro em um segmento de alumínio de posição regulável (Figura 4.3), descartando assim a necessidade da instalação do cabo de mudança de marcha. A mudança de relação foi feita manualmente, alinhando-se ao pinhão e coroa o desviador.

Figura 4.3: Figuras A, B e C mostram a fixação do desviador. Figuras D e E mostram posição de trabalho do componente móvel de alumínio para a relação 45-14 dentes e alinhamento.

Na instalação da coroa e pinhão no eixo do motor e freio reostático, respectivamente, buscou-se um modo que garantisse o não escorregamento dos componentes ao aumentar a carga do sistema. Assim, optou-se por fixá-los sob compressão, resultante do aperto de uma porca e segmento roscado em ambos os eixos. Ainda, ambos possuíam furos de centro na extremidade oposta ao segmento roscado, para o acoplamento em seus locais de serviço (eixo do motor/freio reostático). O eixo acoplado ao freio reostático (Figura 4.4B e 4.4C) foi usinado em aço de baixo carbono, com limitação dimensional no diâmetro da extremidade não-roscada ocasionada pelo diâmetro do pinhão. Já o eixo acoplado no eixo motor foi adaptado a partir de um parafuso M22x90, sendo necessário realizar o furo de centro.

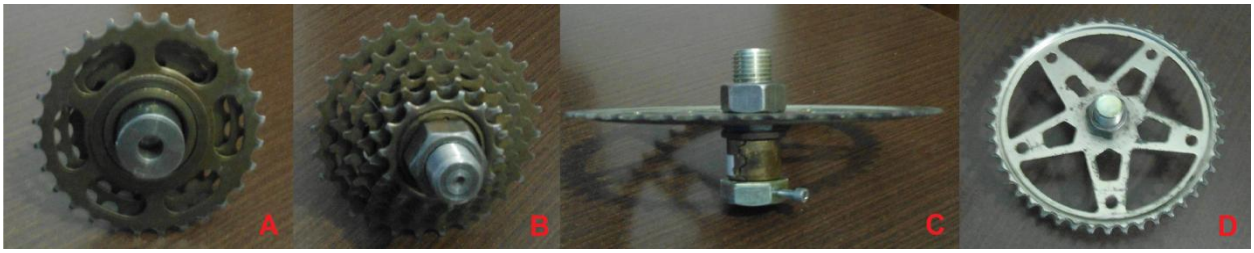

Figura 4.4: Eixos de fixação: Figuras A e B eixo e pinhão fixados no freio reostático; Figuras C e D eixo e coroa fixados no motor.

4.2 Correntes, condições de lubrificação

As medições foram realizadas utilizando três correntes distintas de bicicleta, mostradas na Figura 4.6. Ambas possuem mesmas características dimensionais, o que garante igualdade entre as condições de operação.

Figura 4.6: Correntes utilizadas nas medições.

Antes de iniciar as medições, as três correntes foram lavadas com desengraxante alcalino para remover qualquer tipo de óleo e/ou sujeiras nelas contida. Descontaminadas, duas delas foram lubrificadas, deixando uma sem qualquer tipo de substância lubrificante, tendo a seguinte situação:

- Corrente 1: não lubrificada
- Corrente 2: lubrificada com lubrificante WET a base de óleos sintéticos de alta viscosidade, indicado para condições de terreno seco
- Corrente 3: com lubrificante a base de óleo sintéticos DuPont™ Teflon®, indicado para todas as condições de operação (lubrificante vermelho)

Após realizar as medições com as correntes limpas (não lubrificada, lubrificada com o lubrificante verde e lubrificada com o lubrificante vermelho), foi feita a contaminação das correntes. Com o auxílio de um pincel, sujou-se as correntes com areia fina e sujeira contidos em uma caixa com a intenção de simular um ambiente seco, Figura 4.7. Após realizar a contaminação, deixou-se a corrente operando por cerca de cinco minutos para alcançar uma situação de contaminação constante, onde a rotação eliminou o excesso de contaminante da corrente nos primeiros giros. Este procedimento foi realizado duas vezes para cada corrente.

Figura 4.7: Contaminação da corrente.

A Figura 4.8, a seguir, mostra a corrente não lubrificada contaminada, detalhe para a quantidade de resíduos sobre os roletes da corrente.

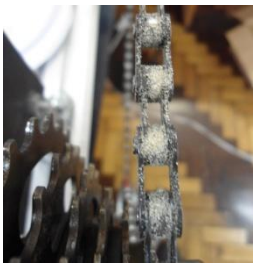

Figura 4.8: Corrente não lubrificada contaminada.

4.3 Cálculo do rendimento

A eficiência mecânica η da transmissão é obtida realizando a divisão da potência de entrada P_f (freio reostático) pela potência de entrada P_m (disponibilizada pelo motor), de acordo com a Equação 4.1[Shigley e Mishke, 2005]:

$$\eta = \frac{P_f}{P_m} \tag{4.1}$$

A potência *P* [W] pode ser obtida de acordo com a Equação 4.2 [Shigley e Mishke, 2005]

$$P = T.\omega \tag{4.2}$$

Onde *T* é o torque de reação [N.m] e ω a velocidade angular do eixo [rad/s]. Para a determinação do torque, utiliza-se a Equação 4.3 [Shigley e Mishke, 2005]:

$$T = d.Fsen\theta \tag{4.3}$$

onde *d* [m] é a distância do centro do eixo de rotação do motor/freio reostático até o ponto de aplicação da força de reação *F* [N] obtida através de uma balança SF-400, e θ [rad] o ângulo de aplicação da força.

4.4 Carga imposta ao freio

A potência de carregamento imposta ao sistema pelo banco de lâmpadas é calculada de acordo com a tensão (*V*) [V] na saída do freio reostático e a corrente (*I*) [A] que alimenta este banco, de acordo com a Equação 4.5 [Shigley e Mishke, 2005].

$$P = V.I \tag{4.4}$$

Para a medição da tensão e corrente elétrica foram utilizados dois multímetros Icel, modelo MD-1000. Como a maior capacidade para leitura de corrente elétrica do mesmo é 10 A e corrente que sai do freio é de 40 A, mediu-se a corrente elétrica em uma das lâmpadas, e sabendo que todas estão ligadas em paralelo entre si e possuem mesma resistência, a corrente total que circula no banco de baterias será o valor lido para uma resistência multiplicado pelo número de lâmpadas ligadas.

4.5 Incertezas

Ferraz, 2009, classifica incerteza experimental como um possível valor que a combinação de erros na medição pode assumir, estimando-se uma faixa onde o valor medido esta localizado para determinado grau de confiança. Ainda, as incertezas são agrupadas em duas categorias: incertezas do tipo A, associada aos erros aleatórios ou estatísticos estimadas através de métodos estatísticos, e incertezas do tipo B, associada aos erros sistemáticos, estimadas por meio de outros métodos que não estatísticos.

Para avaliar a combinação das incertezas dos valores medidos, utiliza-se a seguinte Equação (4.5) [Taylor, 1997]:

$$\Delta q = \sqrt{\left(\frac{\partial q}{\partial x_1}.\Delta x_1\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial q}{\partial x_n}.\Delta x_n\right)^2} \tag{4.5}$$

Onde Δq é a incerteza resultante da combinação dos n funções independente e aleatórias da variável x.

Sabendo o valor das incertezas de cada variável medida, é possível calcular as incertezas na medição do torque, potência e rendimento a partir da Equação 4.5.

4.6 Incerteza no cálculo do torque

Para o cálculo da propagação das incertezas no cálculo do torque, utiliza-se a combinação da Equação (4.3) com a Equação 4.5, com Θ = 90°:

$$\Delta T = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial F}.\Delta F\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial d}.\Delta d\right)^2} = \sqrt{(d.\Delta F)^2 + (F.\Delta d)^2} \qquad (4.6)$$

Sendo d o comprimento d braço de alavanca, F a força, Δd a incerteza de medição do comprimento do braço de alavanca ΔF a incerteza no cálculo da força e ΔT a incerteza do torque. A incerteza na medição do comprimento do braço de alavanca para o estudo foi de $\Delta d = 1mm$. A incerteza da força foi considerado segundo a incerteza de medição da balança, assim $\Delta F = 0{,}01\ N$.

4.7 Incerteza na medição da Potência

Utilizando as Equações 4.2 e 4.5, chegamos a incerteza na medição da potência, como mostra a Equação 4.7:

$$\Delta P = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial T}.\Delta T\right)^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial \omega}.\Delta \omega\right)^2} = \sqrt{(\omega.\Delta T)^2 + (T.\Delta \omega)^2} \qquad (4.7)$$

onde ω é a velocidade angular, T o torque, $\Delta\omega$ a incerteza da medida da velocidade angular do eixo motor (1,05 rad/s conforme o fabricante do tacômetro) ΔT incerteza na medição do torque dado pela Equação 4.6 e ΔP a incerteza resultante da combinação das medidas e incertezas de força e torque.

4.8 Incerteza no cálculo do rendimento

A partir das incertezas calculadas anteriormente, calcula-se com a Equação 4.8 a incerteza resultante da combinação das variáveis envolvidas na medição na incerteza do rendimento mecânico:

$$\Delta \eta = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial P_1}.\Delta P_1\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial P_2}.\Delta P_2\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{P_2}{{P_1}^2}.\Delta P_1\right)^2 + \left(\frac{1}{P_1}.\Delta P_2\right)^2} \qquad (4.8)$$

Onde η é o rendimento calculado, P_1 a potência do motor, P_2 a potência no eixo do freio ΔP_1 a incerteza no cálculo da potência do motore ΔP_2 a incerteza no cálculo da potência do freio reostático resultantes de (4.7).

5. Resultados e discussões

Para o período de montagem, adaptação, regulagem e alinhamento foi demandado um período de 15 horas e para as medições essas foram realizadas em um período total de 30 horas. Embora já existente a estrutura e equipamentos, foi necessário adaptar na bancada componentes junto ao sistema motor e movido com finalidade de reproduzir as condições que encontradas em bicicletas que utilizam o câmbio desviador (coroa, pinhão e o desviador traseiro). Terminada a fase de montagem e adaptação, partiu-se para o período de teste. Foram constatados os seguintes problemas: para o eixo motor, embora projetado para o diâmetro externo do eixo de saída do motor, o furo de centro feito no eixo de fixação da coroa possuía diâmetro maior, fazendo com que o mesmo desalinhasse quando apertado o parafuso de fixação ao eixo de saída do motor. O problema foi solucionado adicionando chapas finas de alumínio entre os eixos, preenchendo a diferença entre os diâmetros. A coroa fixada no eixo motor estava descentralizada causado pela diferença de diâmetros (diâmetro da extremidade roscada do eixo e diâmetro da coroa por onde era fixada). Enrolou-se fita adesiva na posição de trabalho do eixo até que a folga fosse nula, e então a porca de fixação da coroa foi apertada, resolvendo o problema. Não foi constatado descentralização no pinhão.

Após o alinhamento dos eixos, colocou-se uma corrente para teste do sistema de tração, freio e carga. Em funcionamento, a cada ciclo completado pela corrente, a balança do braço de alavanca do freio reostático apresentava um decréscimo em sua resposta, e a do motor um acréscimo, acompanhando de um movimento irregular do desviador traseiro. Analisando o funcionamento, constatou-se que algumas placas externas da corrente exerciam elevada pressão sobre o rolo impedindo o movimento sobre o pino. Com o auxílio de dois alicates as placas foram afastadas, resolvendo o problema.

Para a coleta dos dados, conclui-se que seriam necessárias 5 medidas para a construção das curvas. Então, selecionou-se 5 velocidades distintas no visor do inversor, iniciando em 3,0 Hz, aumentando a cada medida 0,5 Hz. Porém, para velocidade 3,5 Hz no inversor,a estrutura apresentava elevada vibração (o sistema entrava em ressonância), decidindo então reduzir de 3,5 para 3,4 a segunda medida. Para cada frequência selecionada no inversor, mediu-se a rotação do eixo motor, as reações nas balanças, e tensão e corrente gerados pelo freio reostático que podem ser observados no Apêndice I.

A decisão de analisar ambos lubrificantes sujando as correntes com partículas encontradas em um ambiente apenas, ao invés de testar cada lubrificante para o seu ambiente indicado pelo fabricante, foi tomada com a intenção de comparar diretamente os resultados das três correntes. Assim, as três correntes foram sujas com areia fina, como descrito no capitulo 4.2. Outra alteração na análise sobre a proposta original foi acarretada após verificada a impossibilidade de operação do sistema quando a configuração [42-14] foi submetida a testes, pois o grande desalinhamento fazia com que a corrente escapasse da coroa. As medições foram realizadas com pinhão e coroa alinhados. Decidiu-se testar duas relações de transmissões, ao invés de três como proposto, diante do elevado número de medidas (cerca de 3.220 no total).

As medições foram realizadas de acordo com a ordem: correntes sem sujeira para o pinhão maior (28 dentes) e menor (14 dentes), correntes com sujeira para o pinhão maior e menor. Conforme eram realizadas as medições, o freio reostático apresentava elevado ruído, principalmente para grandes velocidades, , a ponto de prejudicar os valores obtidos nas medições. O resultado dessa inconformidade na operação pode ser analisado no gráfico da Figura 5.1 para a corrente não lubrificada sem sujeira, onde o torque no motor na quinta e sexta medida obteve um acréscimo de 23,73 %, enquanto que o torque no freio reostático decresceu 16,33%, indicando a existência de forças contrárias à rotação do rotor do freio.

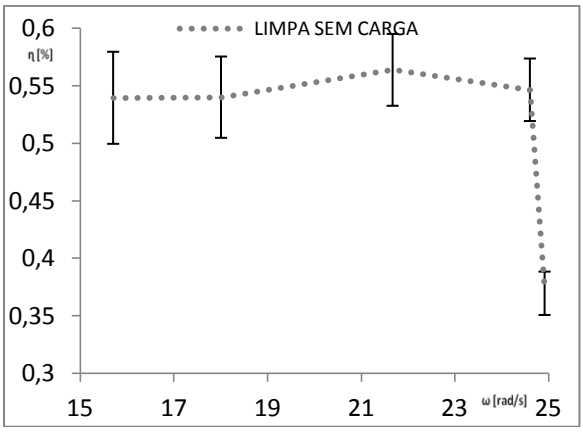

Figura 5.1: Gráfico para o caso corrente não lubrificada sem sujeira para a relação 48-14, sem carga.

As variações na eficiência observada nos gráficos da Figura 5.2 para a corrente lubrificada com o lubrificante verde e Figura 5.3 para a corrente lubrificada com lubrificante vermelho reforçam a ideia da existência de força contraria a rotação do rotor, de origem desconhecida e de atuação aleatória. Ainda, constatou-se no fim das medições que o motor apresentava torque variável ao deixá-lo operar livremente (sem consumo de corrente elétrica). Ao final, foi repetida a as medições para o caso de corrente suja para o pinhão menor e os resultados indicaram a continuidade dos problemas descritos (Tabelas 7, 8 e 9 do Apêndice I). Diante destes fatores, a comparação numérica entre os casos torna-se inadequada, podendo-se analisar somente o desempenho para cada caso específico.

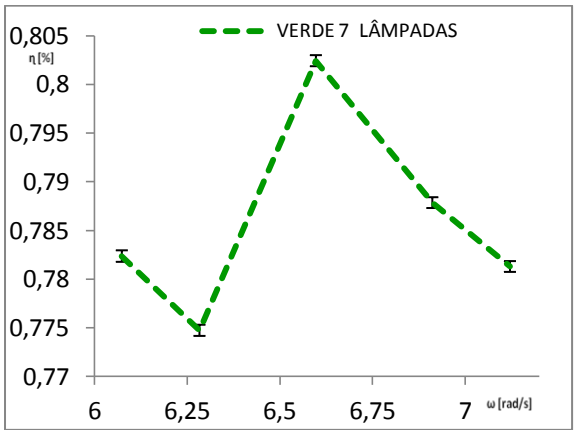

Figura 5.2: Gráfico para o caso corrente não lubrificada sem sujeira para a relação 48-14, com 7 lâmpadas.

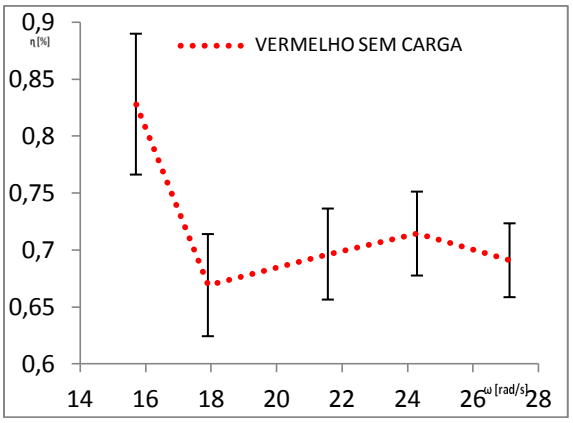

Figura 5.3: Gráfico para o caso corrente não lubrificada com sujeira para a relação 48-14, com 7 lâmpadas..

A Figura 5.2 mostra que estatisticamente, a utilização de lubrificante em correntes de bicicleta não altera significativamente a eficiência do mecanismo. Ainda, é possível observar nos gráficos da Figura 5.2 A e B que o aumento da tensão da corrente acarreta em um aumento na eficiência da transmissão para os três casos analisados. Os gráficos mostrados na Figura 5.2 indicam um significativo aumento na eficiência da transmissão para o lubrificante verde com o aumento da tensão da corrente, ocasionado pela inserção da carga do banco de lâmpadas. Verificando os gráficos presentes no Apêndice I pode-se concluir que, para este lubrificante, existe um valor de carga limítrofe sobre sua camada, que depois de atingido, mostra melhora em seu desempenho de 64,5 % em média para o caso ilustrado nos gráficos da Figura 5.2.

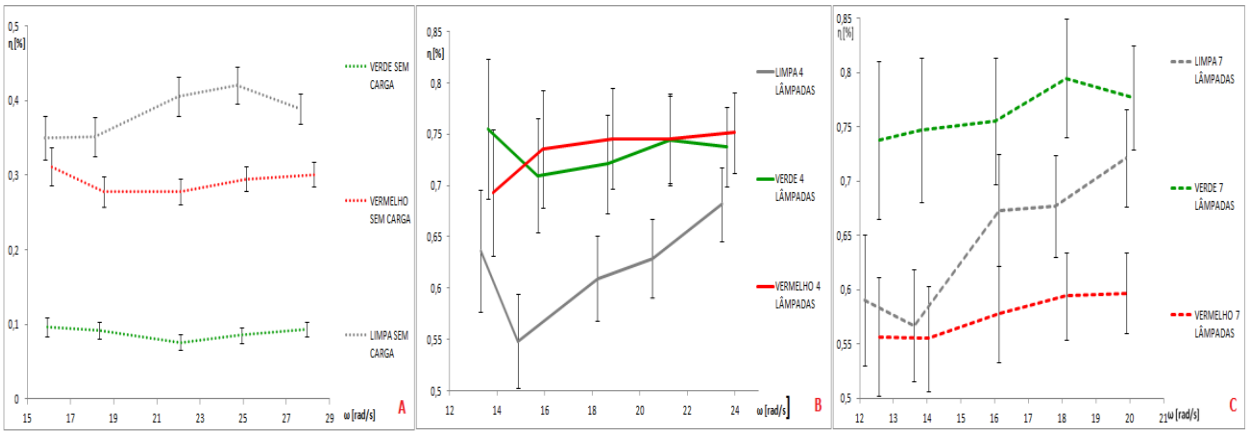

Figura 5.4: Gráficos para correntes não sujas para a relação de transmissão 45-28.

Além de uma análise sobre a eficiência, é importante salientar aderência de contaminantes sobre a camada de lubrificante. A Figura 5.3 apresenta um elo de cada corrente utilizada ao fim dos testes. O lubrificante vermelho tem como característica alta molhabilidade e secagem rápida, garantido boa penetração no componente e menor aderência aos contaminantes que o lubrificante verde (Figura 5.3B). Nota-se que a corrente onde há maior concentração de contaminantes é a lubrificada com lubrificante verde (Figura 5.3C). Grande adesão deve-se ao fato de o mesmo ser constituído de óleos de alta viscosidade mantendo-se úmido/líquido sobre a corrente .

Figura 5.5: Imagem capturada após a realização das medidas. A- corrente não lubrificada, B- corrente lubrificada com lubrificante vermelho e figura C corrente lubrificada com lubrificante verde.

6. Conclusões

Diante dos resultados obtidos e sabendo que a comparação direta dos mesmos é permitida somente para medições de cada caso, conclui-se que a condição de lubrificação não afeta significativamente o rendimento mecânico do sistema, conforme constataram os estudos de Spicer, 2001. Foi observado ainda que a tensão na corrente melhora a transmissão de potência no sistema. Devido aos problemas encontrados, não foi possível avaliar a influência do efeito poligonal para a transmissão.

Os resultados demonstrados foram obtidos utilizando somente uma unidade de corrente para cada caso. Assim, para se obter resultados estatisticamente confiáveis, faz-se necessária análise de um lote com número maior de correntes. Ainda, o estudo realizado teve como um dos objetivos avaliar o impacto na eficiência energética resultante da utilização de óleos lubrificantes no elemento transmissor, não sendo possível avaliar sua durabilidade, proteção diante atmosféras oxidantes e desgaste abrasivo dos componentes resultante do acúmulo de contaminantes na corrente e transmissão de acordo com o lubrificante utilizado.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar análise energética dos lubrificantes utilizados para ambientes úmidos
- Avaliar o desgaste na corrente causado pelo acúmulo de contaminante
- Realizar comparação energética entre transmissões de bicicleta que utilizam corrente e correia como elemento transmissor de potência

7. Referências Bibliográficas

Aguiar, F. G. C., "**Verificação do efeito de lubrificação em um sistema de transmissão por corrente**", Monografia (Trabalho de Conclusão) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Bormax, "**A importância das correias industriais**" Bormax Correias Industriais, São Paulo, 2012.

Carreteiro, P., "**Lubrificantes & Lubrificação Industrial**", Interciência, Rio de Janeiro, 2006.

Chester, R. , "**The mechanical efficiency of bicycle derailleur and hub-gear transmissions**", Journal of Mechanical Design, Number 52, 2001.

Childs, R. N., "**Mechanical Design**", Elsevier Butterworth-Heinemann, 2ª edição, 2004.

Ferraz, "**Noções sobre erros e incertezas em medições**", Unisal, São Paulo, 2009.

Khurmi, R. S., Gupta, J. K. "**Theory of Machines**", S.Chand, 2ª edição, 2010.

Kich, F. M.; "**Bancada dinamométrica para a medição de rendimento de sistemas de transmissão mecânica**", Monografia (Trabalho de Conclusão) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Plint, M. A., Martyr, A. J., "**Engine Testing Theory and Practice**", Elsevier Butterworth-Heinemann, 3ª edição, 2007.

Taylor, J. R., "**An Introduction to Error Analysis: The Study of Unvertainties in Physical Measurements**", California University Science Books, 2a edição, 1997.

Shigley, J.E; Mishke, C.R.; **"Projeto de Engenharia Mecânica"**, Bookman, 7ª edição, 2005.

Smith, P.N, "**Elementos de Máquinas – Notas de aula**", Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2002.

Spicer, James,. "**Effects of Frictional Loss on Bicycle Chain Drive Efficiency**". Journal of Mechanical Design, Number 50, 2001.

Wetzel, J., "**Estudo do Acoplamento de uma Bancada Dinamométrica para a Caracterização de Motores Elétricos de até 2 CV**",Monografia (Trabalho de Conclusão) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

Apêndice I- Tabelas

Tabela 01: valores para corrente não lubrificada sem sujeira

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MAIOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	151,00	105,00	33,00	-	-
2	173,00	114,00	36,00	-	-
3	210,00	96,00	35,00	-	-
4	236,00	98,00	37,00	-	-
5	264,00	103,00	38,00	-	-

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	127,00	154,00	88,00	0,72	0,60
2	142,00	193,00	95,00	0,93	0,74
3	174,00	201,00	110,00	1,18	0,89
4	196,00	209,00	118,00	1,43	0,95
5	224,00	214,00	131,00	1,73	1,05

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	116,00	183,00	97,00	0,53	0,45
2	130,00	214,00	109,00	0,65	0,54
3	154,00	230,00	139,00	0,84	0,68
4	170,00	245,00	149,00	0,96	0,76
5	190,00	258,00	167,00	1,16	0,86

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MAIOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	15,81	26,26	0,36	0,08	0,35	0,03
2	18,12	30,09	0,39	0,08	0,35	0,03
3	21,99	36,52	0,33	0,08	0,41	0,03
4	24,71	41,05	0,34	0,08	0,42	0,02
5	27,65	45,92	0,35	0,08	0,39	0,02

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	13,30	22,09	0,53	0,20	0,64	0,06
2	14,87	24,70	0,66	0,22	0,55	0,05
3	18,22	30,26	0,69	0,25	0,61	0,04
4	20,53	34,09	0,72	0,27	0,63	0,04
5	23,46	38,96	0,73	0,30	0,68	0,04

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	12,15	20,18	0,63	0,22	0,59	0,06
2	13,61	22,61	0,73	0,25	0,57	0,05
3	16,13	26,78	0,79	0,32	0,67	0,05
4	17,80	29,57	0,84	0,34	0,68	0,05
5	19,90	33,05	0,88	0,38	0,72	0,04

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MENOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	150,00	176,00	43,00	-	-
2	172,00	184,00	45,00	-	-
3	207,00	188,00	48,00	-	-
4	235,00	198,00	49,00	-	-
5	238,00	245,00	41,00	-	-

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	76,00	274,00	97,00	0,98	0,70
2	83,00	386,00	104,00	1,14	0,77
3	96,00	410,00	112,00	1,48	0,88
4	105,00	431,00	116,00	1,60	0,95
5	113,00	449,00	163,00	1,85	1,00

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	52,00	386,00	117,00	0,40	0,32
2	53,00	402,00	119,00	0,44	0,34
3	57,00	423,00	130,00	0,50	0,39
4	60,00	439,00	140,00	0,56	0,43
5	62,00	453,00	149,00	0,58	0,45

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MENOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	15,71	51,73	0,60	0,10	0,54	0,04
2	18,01	59,31	0,63	0,10	0,54	0,04
3	21,68	71,38	0,64	0,11	0,56	0,03
4	24,61	81,04	0,68	0,11	0,55	0,03
5	24,92	82,08	0,84	0,09	0,37	0,02

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	7,96	26,21	0,94	0,22	0,78	0,11
2	8,69	28,62	1,32	0,24	0,59	0,08
3	10,05	33,11	1,40	0,26	0,60	0,07
4	11,00	36,21	1,48	0,27	0,59	0,06
5	11,83	38,97	1,54	0,37	0,80	0,07

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	5,45	17,93	1,32	0,27	0,67	0,00
2	5,55	18,28	1,38	0,27	0,65	0,00
3	5,97	19,66	1,45	0,30	0,68	0,00
4	6,28	20,69	1,50	0,32	0,70	0,00
5	6,49	21,38	1,55	0,34	0,73	0,00

Tabela 02: valores para corrente lubrificada com lurificante verde sem sujeira

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MAIOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	152,00	115,00	10,00	-	-
2	175,00	133,00	11,00	-	-
3	211,00	117,00	8,00	-	-
4	238,00	117,00	9,00	-	-
5	267,00	119,00	10,00	-	-

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	130,00	177,00	120,00	0,73	0,65
2	150,00	204,00	130,00	0,95	0,77
3	178,00	224,00	145,00	1,30	0,91
4	203,00	232,00	155,00	1,54	1,00
5	226,00	240,00	159,00	1,80	1,07

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	120,00	234,00	155,00	0,56	0,50
2	132,00	261,00	175,00	0,72	0,62
3	153,00	280,00	190,00	0,90	0,73
4	173,00	297,00	212,00	1,05	0,79
5	192,00	311,00	217,00	1,20	0,85

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MAIOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	15,92	26,44	0,39	0,02	0,10	0,01
2	18,33	30,44	0,46	0,03	0,09	0,01
3	22,10	36,70	0,40	0,02	0,08	0,01
4	24,92	41,39	0,40	0,02	0,09	0,01
5	27,96	46,44	0,41	0,02	0,09	0,01

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	13,61	22,61	0,61	0,28	0,75	0,07
2	15,71	26,09	0,70	0,30	0,71	0,06
3	18,64	30,96	0,77	0,33	0,72	0,05
4	21,26	35,31	0,79	0,36	0,74	0,04
5	23,67	39,31	0,82	0,36	0,74	0,04

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	12,57	20,87	0,80	0,36	0,74	0,07
2	13,82	22,96	0,89	0,40	0,75	0,07
3	16,02	26,61	0,96	0,44	0,76	0,06
4	18,12	30,09	1,02	0,49	0,79	0,05
5	20,11	33,39	1,06	0,50	0,78	0,05

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MENOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	153,00	173,00	23,00	-	-
2	174,00	176,00	23,00	-	-
3	209,00	182,00	26,00	-	-
4	237,00	185,00	31,00	-	-
5	256,00	184,00	48,00	-	-

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	80,00	374,00	127,00	1,06	0,74
2	89,00	395,00	134,00	1,23	0,83
3	102,00	420,00	142,00	1,49	0,90
4	113,00	437,00	152,00	1,71	0,97
5	124,00	453,00	158,00	1,97	1,05

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	58,00	381,00	135,00	0,48	0,39
2	60,00	399,00	140,00	0,60	0,40
3	63,00	421,00	153,00	0,63	0,46
4	66,00	440,00	157,00	0,70	0,50
5	68,00	455,00	161,00	0,73	0,54

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MENOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	16,02	52,76	0,59	0,05	0,29	0,02
2	18,22	60,00	0,60	0,05	0,29	0,02
3	21,89	72,07	0,62	0,06	0,32	0,02
4	24,82	81,73	0,63	0,07	0,37	0,02
5	26,81	88,28	0,63	0,11	0,58	0,03

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	8,38	27,59	1,28	0,29	0,75	0,10
2	9,32	30,69	1,35	0,31	0,75	0,09
3	10,68	35,18	1,44	0,33	0,75	0,08
4	11,83	38,97	1,50	0,35	0,77	0,07
5	12,99	42,76	1,55	0,36	0,77	0,07

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	6,07	20,00	1,30	0,31	0,78	0,00
2	6,28	20,69	1,37	0,32	0,77	0,00
3	6,60	21,73	1,44	0,35	0,80	0,00
4	6,91	22,76	1,51	0,36	0,79	0,00
5	7,12	23,45	1,56	0,37	0,78	0,00

Tabela 03: valores para corrente lubrificada com lurificante vermelho sem sujeira

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MAIOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	154,00	125,00	35,00	-	-
2	177,00	140,00	35,00	-	-
3	211,00	136,00	34,00	-	-
4	240,00	132,00	35,00	-	-
5	270,00	133,00	36,00	-	-

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	132,00	196,00	122,00	0,77	0,67
2	152,00	206,00	136,00	0,94	0,77
3	180,00	218,00	146,00	1,28	0,91
4	203,00	233,00	156,00	1,53	0,98
5	229,00	243,00	164,00	1,76	1,05

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	120,00	272,00	136,00	0,58	0,52
2	134,00	299,00	149,00	0,72	0,61
3	154,00	322,00	167,00	0,90	0,71
4	173,00	343,00	183,00	1,05	0,76
5	190,00	362,00	194,00	1,26	0,84

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MAIOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	16,13	26,78	0,43	0,08	0,31	0,03
2	18,54	30,78	0,48	0,08	0,28	0,02
3	22,10	36,70	0,47	0,08	0,28	0,02
4	25,13	41,74	0,45	0,08	0,30	0,02
5	28,27	46,96	0,46	0,08	0,30	0,02

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	13,82	22,96	0,67	0,28	0,69	0,06
2	15,92	26,44	0,71	0,31	0,74	0,06
3	18,85	31,31	0,75	0,34	0,75	0,05
4	21,26	35,31	0,80	0,36	0,75	0,04
5	23,98	39,83	0,83	0,38	0,75	0,04

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	12,57	20,87	0,93	0,31	0,56	0,05
2	14,03	23,31	1,02	0,34	0,55	0,05
3	16,13	26,78	1,10	0,38	0,58	0,04
4	18,12	30,09	1,17	0,42	0,59	0,04
5	19,90	33,05	1,24	0,45	0,60	0,04

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MENOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	151,00	166,00	17,00	-	-
2	175,00	170,00	17,00	-	-
3	208,00	177,00	18,00	-	-
4	235,00	186,00	23,00	-	-
5	255,00	187,00	30,00	-	-

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	75,00	364,00	117,00	0,96	0,78
2	83,00	382,00	126,00	1,11	0,84
3	95,00	405,00	133,00	1,35	0,93
4	105,00	424,00	141,00	1,56	0,99
5	117,00	441,00	146,00	1,85	1,05

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	53,00	367,00	113,00	0,46	0,35
2	56,00	382,00	121,00	0,50	0,41
3	59,00	409,00	133,00	0,56	0,45
4	62,00	428,00	140,00	0,60	0,49
5	64,00	436,00	143,00	0,63	0,50

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MENOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	15,81	52,07	0,57	0,04	0,23	0,02
2	18,33	60,35	0,58	0,04	0,22	0,02
3	21,78	71,73	0,61	0,04	0,22	0,02
4	24,61	81,04	0,64	0,05	0,27	0,02
5	26,70	87,94	0,64	0,07	0,35	0,02

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	7,85	25,86	1,25	0,27	0,71	0,10
2	8,69	28,62	1,31	0,29	0,73	0,09
3	9,95	32,76	1,39	0,31	0,73	0,08
4	11,00	36,21	1,45	0,32	0,73	0,07
5	12,25	40,35	1,51	0,34	0,73	0,07

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	5,55	18,28	1,26	0,26	0,68	0,00
2	5,86	19,31	1,31	0,28	0,70	0,00
3	6,18	20,35	1,40	0,31	0,72	0,00
4	6,49	21,38	1,47	0,32	0,72	0,00
5	6,70	22,07	1,49	0,33	0,72	0,00

Tabela 04: valores para corrente não lubrificada com sujeira

CORRENTE SUJA — PINHÃO MAIOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	153,00	100,00	28,00	-	-
2	176,00	110,00	27,00	-	-
3	209,00	112,00	25,00	-	-
4	239,00	115,00	20,00	-	-
5	268,00	113,00	21,00	-	-

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	132,00	149,00	135,00	0,69	0,57
2	150,00	190,00	143,00	0,91	0,72
3	179,00	203,00	153,00	1,27	0,85
4	203,00	208,00	158,00	1,49	0,92
5	228,00	215,00	165,00	1,69	0,99

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	121,00	191,00	159,00	0,52	0,43
2	133,00	235,00	170,00	0,64	0,52
3	156,00	257,00	187,00	0,83	0,64
4	172,00	270,00	197,00	1,02	0,74
5	191,00	284,00	209,00	1,19	0,80

CORRENTE SUJA — PINHÃO MAIOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	16,02	26,61	0,34	0,06	0,31	0,03
2	18,43	30,61	0,38	0,06	0,27	0,02
3	21,89	36,35	0,38	0,06	0,25	0,02
4	25,03	41,57	0,39	0,05	0,19	0,01
5	28,06	46,61	0,39	0,05	0,21	0,01

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	13,82	22,96	0,51	0,31	1,01	0,09
2	15,71	26,09	0,65	0,33	0,84	0,07
3	18,74	31,13	0,70	0,35	0,84	0,06
4	21,26	35,31	0,71	0,36	0,85	0,05
5	23,88	39,66	0,74	0,38	0,85	0,04

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	12,67	21,05	0,65	0,36	0,93	0,09
2	13,93	23,13	0,80	0,39	0,81	0,07
3	16,34	27,13	0,88	0,43	0,81	0,06
4	18,01	29,92	0,92	0,45	0,81	0,06
5	20,00	33,22	0,97	0,48	0,82	0,05

CORRENTE SUJA — PINHÃO MENOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	139,00	163,00	39,00	-	-
2	164,00	169,00	39,00	-	-
3	197,00	171,00	39,00	-	-
4	224,00	169,00	42,00	-	-
5	253,00	165,00	46,00	-	-

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	63,00	280,00	120,00	0,70	0,56
2	72,00	293,00	129,00	0,83	0,63
3	80,00	310,00	137,00	0,97	0,71
4	85,00	336,00	138,00	1,13	0,78
5	92,00	350,00	142,00	1,28	0,83

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	47,00	281,00	109,00	0,37	0,29
2	51,00	291,00	112,00	0,40	0,31
3	55,00	306,00	120,00	0,46	0,35
4	57,00	319,00	128,00	0,49	0,38
5	59,00	336,00	134,00	0,52	0,40

CORRENTE SUJA — PINHÃO MENOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	14,56	47,93	0,56	0,09	0,53	0,04
2	17,17	56,56	0,58	0,09	0,51	0,04
3	20,63	67,94	0,59	0,09	0,50	0,03
4	23,46	77,25	0,58	0,10	0,55	0,03
5	26,49	87,25	0,56	0,11	0,62	0,03

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	6,60	21,73	0,96	0,28	0,95	0,16
2	7,54	24,83	1,00	0,30	0,97	0,14
3	8,38	27,59	1,06	0,31	0,98	0,13
4	8,90	29,31	1,15	0,32	0,91	0,11
5	9,63	31,73	1,20	0,33	0,90	0,10

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	4,92	16,21	0,96	0,25	0,86	0,19
2	5,34	17,59	1,00	0,26	0,85	0,17
3	5,76	18,97	1,05	0,28	0,87	0,17
4	5,97	19,66	1,09	0,29	0,89	0,16
5	6,18	20,35	1,15	0,31	0,88	0,16

Tabela 05: valores para corrente lubrificada com lurificante verde com sujeira

CORRENTE SUJA — PINHÃO MAIOR — SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	156,00	88,00	28,00	-	-
2	179,00	102,00	30,00	-	-
3	214,00	99,00	31,00	-	-
4	243,00	98,00	35,00	-	-
5	272,00	99,00	33,00	-	-

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	137,00	142,00	121,00	0,76	0,66
2	155,00	184,00	141,00	0,96	0,77
3	185,00	199,00	155,00	1,28	0,90
4	210,00	206,00	160,00	1,52	0,97
5	235,00	213,00	179,00	1,81	1,05

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	124,00	183,00	174,00	0,58	0,51
2	140,00	223,00	181,00	0,70	0,60
3

Tabela 07: valores obtidos na segunda medição para corrente não lubrificada com sujeira

CORRENTE SUJA — PINHÃO MENOR

SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	131,00	250,00	5,00	-	-
2	150,00	255,00	7,00	-	-
3	182,00	260,00	8,00	-	-
4	212,00	265,00	9,00	-	-
5	238,00	277,00	16,00	-	-

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	53,00	383,00	23,00	0,59	0,40
2	56,00	382,00	21,00	0,63	0,41
3	63,00	402,00	57,00	0,77	0,51
4	68,00	419,00	59,00	0,81	0,59
5	73,00	431,00	69,00	0,99	0,69

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	41,00	387,00	27,00	0,32	0,24
2	44,00	402,00	30,00	0,33	0,26
3	46,00	425,00	33,00	0,42	0,31
4	48,00	440,00	35,00	0,45	0,32
5	50,00	453,00	42,00	0,46	0,34

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MENOR

SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	13,72	45,18	0,86	0,01	0,04	0,01
2	15,71	51,73	0,87	0,02	0,06	0,01
3	19,06	62,76	0,89	0,02	0,07	0,01
4	22,20	73,11	0,91	0,02	0,07	0,01
5	24,92	82,08	0,95	0,04	0,13	0,01

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	5,55	18,28	1,31	0,05	0,13	0,03
2	5,86	19,31	1,31	0,05	0,12	0,02
3	6,60	21,73	1,38	0,13	0,31	0,05
4	7,12	23,45	1,43	0,14	0,31	0,05
5	7,64	25,17	1,48	0,16	0,35	0,05

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	4,29	14,14	1,32	0,06	0,15	0,04
2	4,61	15,17	1,38	0,07	0,16	0,04
3	4,82	15,86	1,46	0,08	0,17	0,04
4	5,03	16,55	1,51	0,08	0,18	0,04
5	5,24	17,24	1,55	0,10	0,20	0,04

Tabela 08: valores obtidos na segunda medição para corrente lubrificada com lurificante verde com sujeira

CORRENTE SUJA — PINHÃO MENOR

SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	134,00	223,00	16,00	-	-
2	156,00	226,00	19,00	-	-
3	186,00	234,00	21,00	-	-
4	211,00	238,00	23,00	-	-
5	240,00	247,00	25,00	-	-

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	56,00	369,00	48,00	0,54	0,45
2	59,00	384,00	52,00	0,65	0,52
3	65,00	403,00	55,00	0,81	0,63
4	69,00	422,00	57,00	0,95	0,71
5	81,00	443,00	71,00	1,05	0,76

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	42,00	383,00	21,00	0,31	0,24
2	44,00	400,00	23,00	0,33	0,27
3	47,00	421,00	24,00	0,38	0,31
4	49,00	437,00	26,00	0,39	0,33
5	52,00	453,00	28,00	0,45	0,35

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MENOR

SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	14,03	46,21	0,76	0,04	0,16	0,02
2	16,34	53,80	0,77	0,04	0,19	0,02
3	19,48	64,14	0,80	0,05	0,20	0,01
4	22,10	72,76	0,81	0,05	0,21	0,01
5	25,13	82,76	0,85	0,06	0,22	0,01

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	5,86	19,31	1,26	0,11	0,29	0,05
2	6,18	20,35	1,31	0,12	0,30	0,05
3	6,81	22,42	1,38	0,13	0,30	0,05
4	7,23	23,79	1,44	0,13	0,30	0,05
5	8,48	27,93	1,52	0,16	0,35	0,05

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	4,40	14,48	1,31	0,05	0,12	0,03
2	4,61	15,17	1,37	0,05	0,13	0,03
3	4,92	16,21	1,44	0,06	0,13	0,03
4	5,13	16,90	1,50	0,06	0,13	0,03
5	5,45	17,93	1,55	0,06	0,14	0,03

Tabela 09: valores obtidos na segunda medição para corrente lubrificada com lurificante vermelho com sujeira

CORRENTE SUJA — PINHÃO MENOR

SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	130,00	241,00	17,00	-	-
2	151,00	251,00	21,00	-	-
3	185,00	255,00	23,00	-	-
4	212,00	263,00	24,00	-	-
5	241,00	267,00	26,00	-	-

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	55,00	377,00	19,00	0,51	0,44
2	57,00	396,00	22,00	0,58	0,48
3	62,00	421,00	28,00	0,65	0,54
4	65,00	438,00	31,00	0,70	0,59
5	68,00	452,00	35,00	0,60	0,63

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (RPM)	FORÇA MOTOR (g)	FORÇA FREIO (g)	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)
1	40,00	372,00	30,00	0,25	0,20
2	41,00	387,00	32,00	0,27	0,23
3	43,00	409,00	35,00	0,30	0,25
4	46,00	423,00	39,00	0,32	0,27
5	48,00	438,00	42,00	0,34	0,31

CORRENTE LIMPA — PINHÃO MENOR

SEM CARGA

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	13,61	44,83	0,83	0,04	0,16	0,00
2	15,81	52,07	0,86	0,05	0,18	0,00
3	19,37	63,80	0,87	0,05	0,20	0,00
4	22,20	73,11	0,90	0,06	0,20	0,00
5	25,24	83,11	0,91	0,06	0,22	0,00

MEIA CARGA (4 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	5,76	18,97	1,29	0,04	0,11	0,01
2	5,97	19,66	1,36	0,05	0,12	0,01
3	6,49	21,38	1,44	0,06	0,15	0,01
4	6,81	22,42	1,50	0,07	0,16	0,01
5	7,12	23,45	1,55	0,08	0,17	0,01

CARGA TOTAL (7 LÂMPADAS)

	ROTAÇÃO COROA (rad/s)	ROTAÇÃO PINHÃO (rad/s)	TORQUE MOTOR (N.m)	TORQUE FREIO (N.m)	EFICIÊNCIA	INCERTEZA EFICIÊNCIA
1	4,19	13,79	1,27	0,07	0,18	0,01
2	4,29	14,14	1,32	0,07	0,18	0,01
3	4,50	14,83	1,40	0,08	0,19	0,01
4	4,82	15,86	1,45	0,09	0,20	0,01
5	5,03	16,55	1,50	0,10	0,21	0,01

Apêndice II- Gráficos e comentários

A partir das curvas do gráfico 01 é possível notar que a corrente lubrificada com o lubrificante verde possui eficiência baixa e pouco variável para as rotações em questão. Para as menores rotações medidas, as correntes não lubrificadas e lubrificada com o lubrificante vermelho possuem estatisticamente desempenho semelhantes, devido à ação das incertezas. Porém, para maiores rotações, a corrente sem lubrificante apresenta leve superioridade na eficiência.

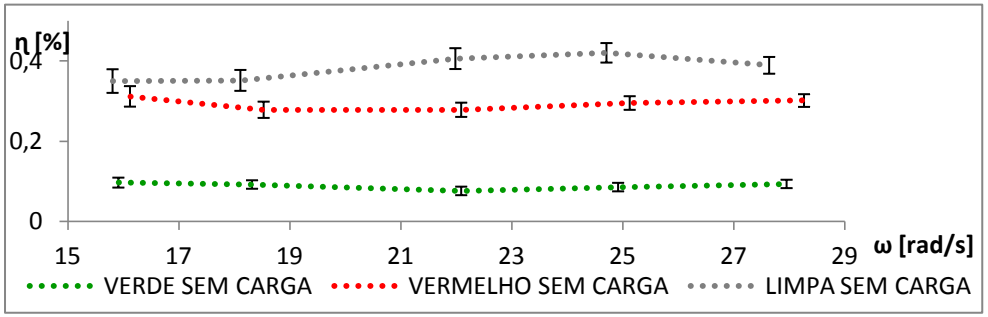

Gráfico 01: rotação x eficiência para relação 45-28,correntes sem sujeira.

Analisando o gráfico 02 não é possível classificar qual a situação de lubrificação mais eficiente: para baixas rotações, as incertezas nas medições garantem a igualdade para as três condições, valendo o mesmo para as altas rotações apresentadas neste. Destaca-se no gráfico 02 a presença de problemas na medição: conforme a tabela 01, 03 e 05 do Apêndice 01 para o pinhão maior, o motor teve uma variação muito grande no torque, não tendo variação proporcional no torque de reação do freio reostático, impactando na eficiência mecânica do sistema,

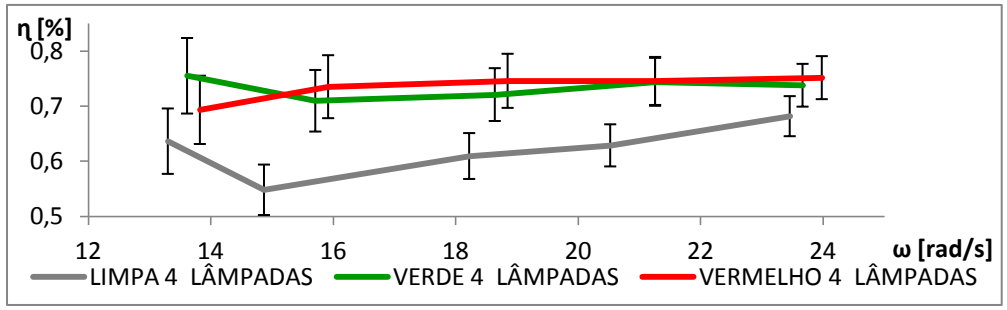

Gráfico 02: rotação x eficiência para relação 45-28, correntes sem sujeira.

Através do gráfico 03 é possível concluir que para a menor rotação medida o lubrificante verde é mais eficiente. Para maiores rotações conclui-se que o lubrificante verde tem eficiência maior que o Seco, tendo estatisticamente desempenho semelhante à correia sem lubrificante. As eficiências das correntes sem lubrificante e lubrificante seco são semelhantes, exceto para a maior rotação medida (em torno de 20 rad/s), onde a corrente sem lubrificante demonstra ser mais eficiente.

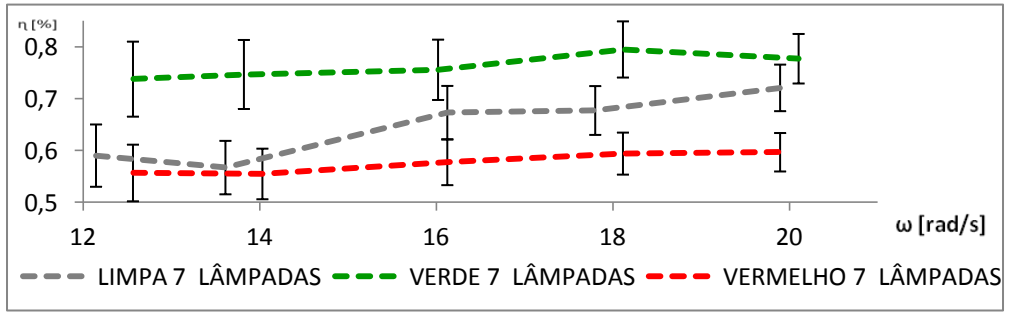

Gráfico 03: rotação x eficiência para relação 45-28, correntes sem sujeira.

Para as menores rotações medidas, a corrente com lubrificante verde mostrou ter maior eficiência mecânica quando comparado com a corrente com lubrificante vermelho, tendo eficiência estatisticamente igual à corrente sem lubrificante. Ainda, o mesmo mostrou-se mais eficiente para as maiores rotações testadas. O lubrificante vermelho mostrou eficiência intermediária sob altas rotações, obtendo estatisticamente mesma eficiência da corrente não lubrificada para medias e baixas rotações. Variações das curvas referentes às correntes com lubrificante vermelho e verde são aceitáveis quando analisadas paralelamente as incertezas. Contudo, para a curva da corrente não lubrificada é possível identificar problemas nas medições. Analisando os valores na tabela 01 do Apêndice 01 para o pinhão maior, conclui-se que o freio apresentou resistência ao giro de seu estator, acarretando em uma diminuição em seu torque, produzindo menor potência no banco de lâmpadas devido à queda de em sua rotação.

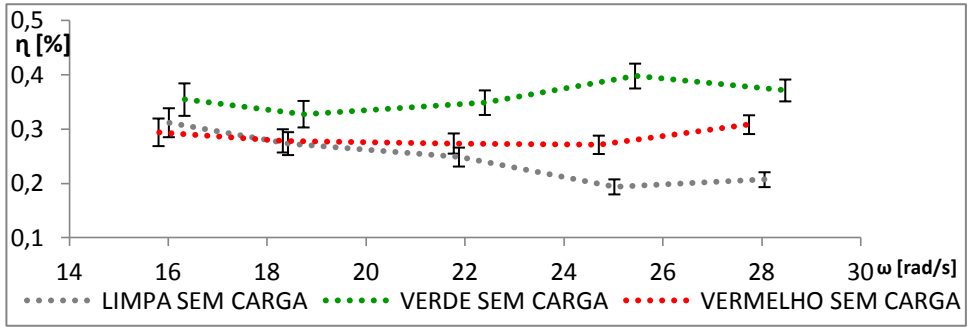

Gráfico 04: rotação x eficiência para relação 45-28 sem carga, correntes sujas.

A partir do gráfico 05, pode-se afirmar que a carga aumentou a eficiência das situações analisadas quando comparado com o gráfico 04, tendo menor eficiência para o caso apresentado pela corrente lubrificada com o lubrificante vermelho. As correntes não lubrificada e com lubrificante vermelho apresentaram com eficiências estatisticamente iguais e superiores a corrente com lubrificante seco. Verifica-se uma grande queda na eficiência para a segunda medida, e analisando as tabelas 01, 03 e 05 do Apêndice 01 para o pinhão maior, conclui-se que o decréscimo é causado por um grande aumento do torque no motor resultante da resistência ao giro do estator imposta pelo freio reostático.

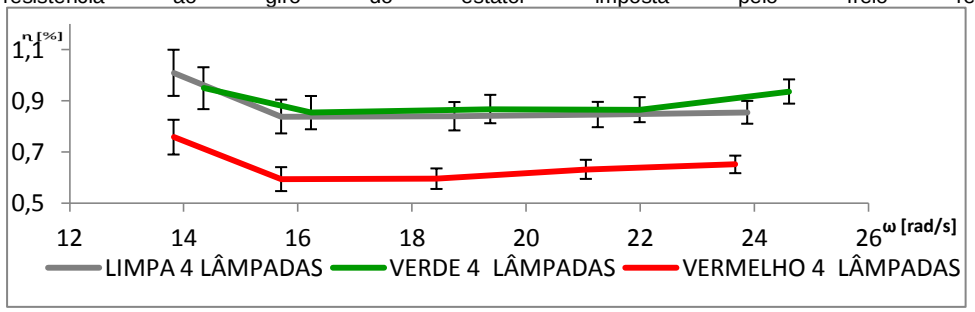

Gráfico 05: rotação x eficiência para relação 45-28, correntes sujas.

O gráfico 06 mostra-nos que estatisticamente as correntes não lubrificada e corrente com lubrificante verde possuem eficiências iguais, sendo superior ao da corrente com lubrificante vermelho. Este gráfico apresenta, para as três correntes, queda no rendimento mecânico na segunda velocidade medida. Conclui-se através da tabelas 01, 03 e 05 do Apêndice 01 que o decréscimo é causado por um aumento do torque no motor resultante da resistência imposta pelo freio reostático.

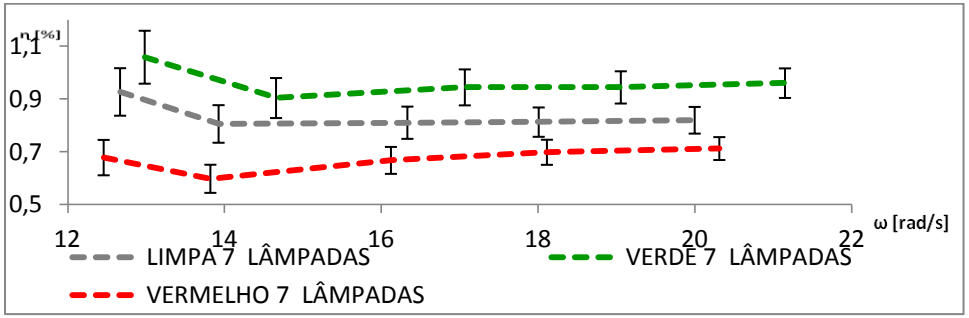

Gráfico 06: rotação x eficiência para relação 45-28, correntes sujas.

O gráfico 07 mostra-nos que para valores de rotação da coroa inferiores a 23 rad/s a corrente sem lubrificante como a mais eficaz, seguido pela corrente com lubrificante verde e, com menor eficiência, a com lubrificante vermelho. Após esta rotação, enquanto as eficiências das correias lubrificadas com lubrificante verde e vermelho tendem a aumentar, para a correia sem lubrificante diminui na ordem 13%, ou considerando os limites de incerteza 5%. Estes valores reforçam a suspeita da existência de uma força de resistência à rotação do estator ao analisar a tabela 02 para pinhão menor nas medidas 4 e 5, encontrada no Apêndice 01.

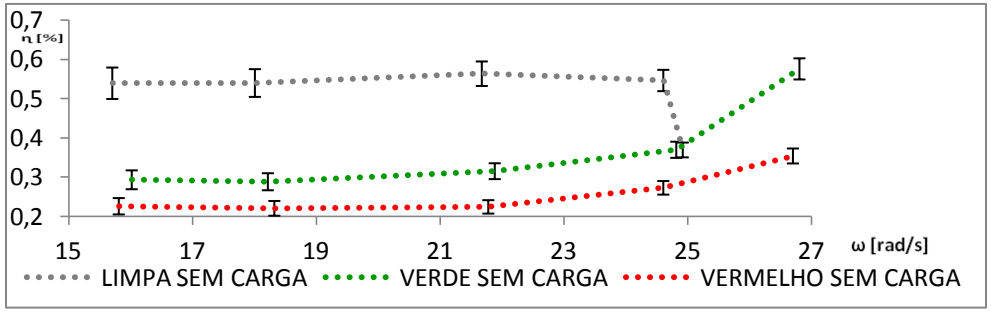

Gráfico 07: rotação x eficiência para relação 45-14, correntes sem sujeira.

O gráfico 08 aponta-nos eficiências mecânicas estatisticamente iguais para as três condições de lubrificação em análise. Nota-se um aumento da eficiência das correntes lubrificadas quando comparados os gráficos 07 e 08. A corrente não lubrificada apresenta comportamento não condizente com o esperado, variando positiva e negativamente sua eficiência ao aumentar a rotação da coroa.Todavia, o mesmo é validado quando analisado nos limites impostos pela incerteza da medição.

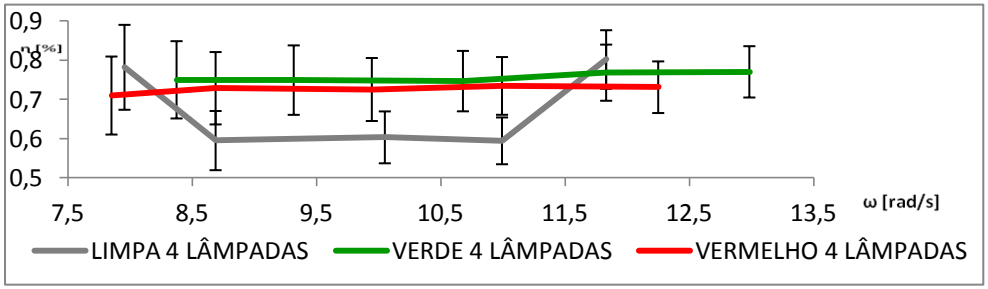

Gráfico 08: rotação x eficiênci para relação 45-14, correntes sem sujeira.

No gráfico 09 nota-se inconformidades dos dados colhidos para o caso da corrente com lubrificante verde e corrente sem lubrificante. Para corrente com lubrificante verde, há uma variação negativa em sua eficiência para rotação de 6,3 rad/s, positiva para 6,59 rad/s e negativa para 6.91 rad/s e 7,12 rad/s. Analisando os dados da tabela 04 para o pinhão menor encontrada no Apêndice 01, conclui-se que a variação da eficiência foi causada por variação do torque disponibilizado pelo motor. Variação do torque do motor também é percebida para as outras duas condições de lubrificação: corrente com lubrificante vermelho (observada para rotação igual 6,17 rad/s). Para a corrente sem lubrificante, a diminuição da eficiência para rotação igual a 5,34 rad/s é causado por uma possível resistência ao giro do eixo do estator do freio, visto que o aumento do torque no mesmo resultante do aumento do torque no motor mostrou-se desproporcional, diminuindo a eficiência.

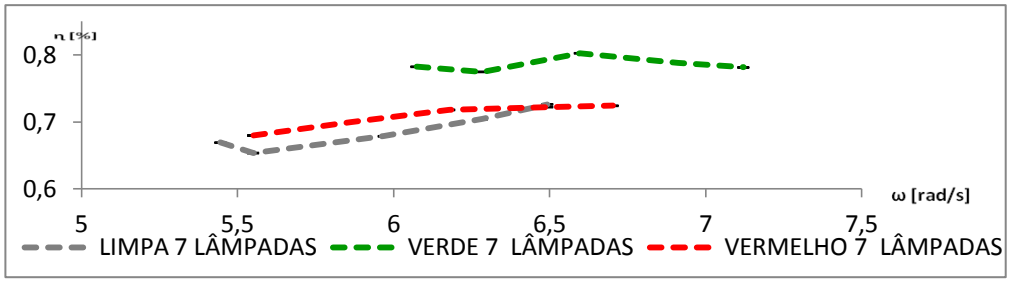

Gráfico 09: rotação x eficiência para relação 45-14, correntes sem sujeira.

A partir do gráfico 10, podemos afirmar que, estatisticamente, as correntes não lubrificada e lubrificada com o lubrificante verde possuem mesma eficiência para as condições testadas. Já a corrente lubrificada com lubrificante vermelho apresenta eficiência superior a estas. Nota-se o decaimento da eficiência na segunda medida para as correntes lubrificadas.

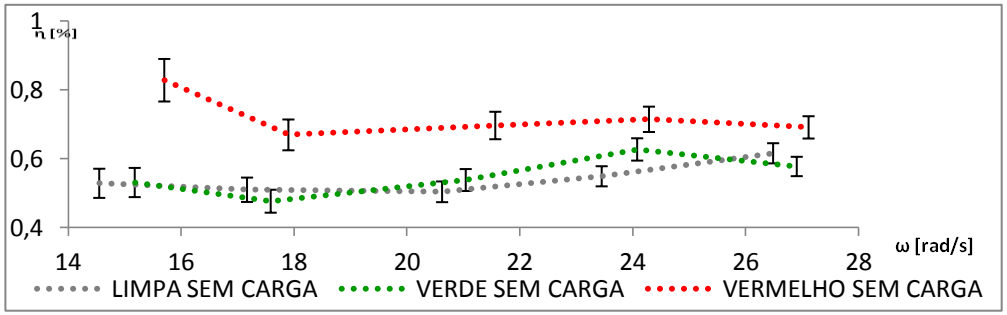

Gráfico 10: rotação x eficiência para relação 45-14, correntes sujas.

A partir do gráfico 11, observa-se um aumento dos erros de medição causado pelos problemas relatados anteriormente (resistência ao rolamento do eixo do freio reostático e variação do torque do motor) fazendo com que a eficiência do sistema resulte acima de 100%, situação impossível, além da variação positiva e negativa da eficiência de acordo com a rotação.

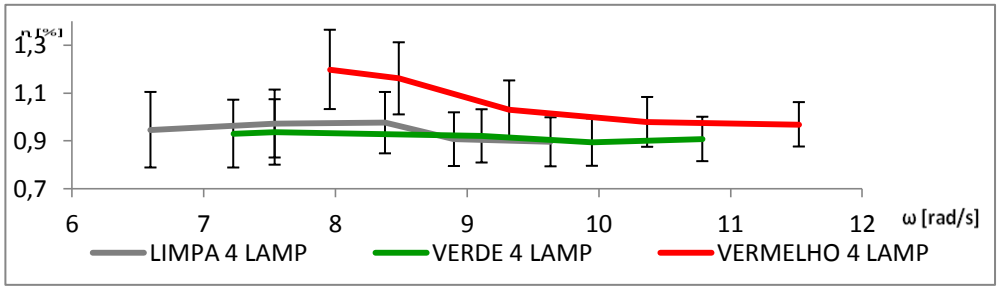

Gráfico 11: rotação x eficiência para relação 45-14, correntes sujas.

O gráfico 12 mostra-nos a repetição mesmas inconformidades operacionais relatadas no gráfico 11. A análise do mesmo não é válida pois obteve-se valores maiores que 100% para eficiência para as correntes lubrificadas com lubrificante verde e vermelho mesmo considerando o limite inferior da incerteza de medição.

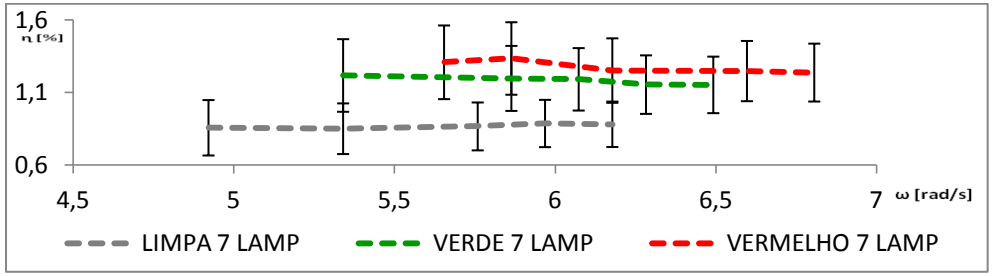

Gráfico 12: rotação x eficiência para relação 45-14, correntes sujas.

Os gráficos 13A, B e C são referentes à segunda medição do caso correntes sujas relação **45-14.**No gráfico 13A, analisando-o juntamente com a tabela 07 do Apêndice 01, percebe-se a não conformidade entre os resultados, onde até a quarta medição para a correia não lubrificada a eficiência do sistema tinha um acréscimo de 1 % e para a quinta medição um acréscimo de 16%, resultante do alto crescimento do torque do freio (um acréscimo de cerca de 23,73% em relação ao torque na tomada de valores 3-4). Devido à ordem da realização dos testes (corrente sem lubrificante, corrente com lubrificante vermelho, lubrificante verde respectivamente), nota-se que em 22,2 rad/s há uma redução da força resistente que faz o torque do motor reduzir, pois a reação na balança varia de 0,08829 N para 0,1569 N, indicando uma redução na força contrária à rotação do estator do freio, como pode ser visto na tabela 07 do Apêndice 01. Esta redução é mantida quando comparados os valores de reação do braço de alavanca do freio para as correntes lubrificadas, dando a entender que a rotação de 24,92 rad/s na corrente não lubrificada agiu como redutor desta força oposta ao giro do rotor, diminuindo seu módulo.

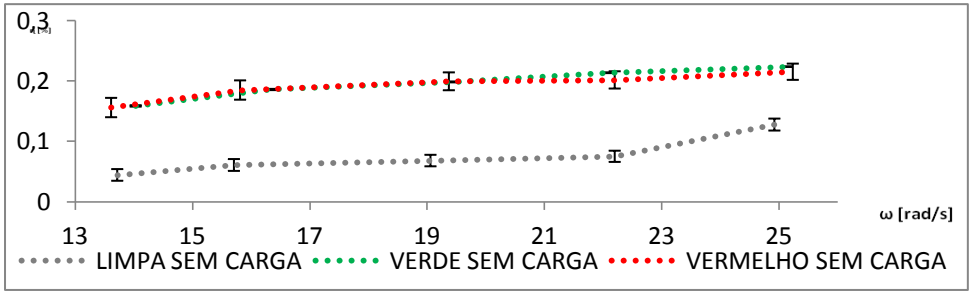

Gráfico 13 A: segunda medição para a relação 45-14, correntes sujas.

O gráfico 13 B mostra-nos uma grande variação da eficiência da corrente não lubrificada causada pela grande variação do torque no freio, mesma situação apontada anteriormente.

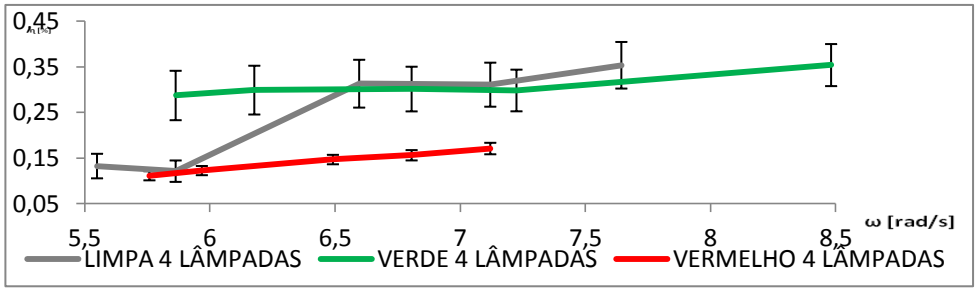

Gráfico 13 B: segunda medição para a relação 45-14, correntes sujas.

O gráfico 13 C mostra-nos curva eficiência em função da rotação para carga máxima. O mesmo foi invalidado pois durante as medições o freio resotatico apresentou excessivo ruído, invalidando os gráficos 13 A e B.

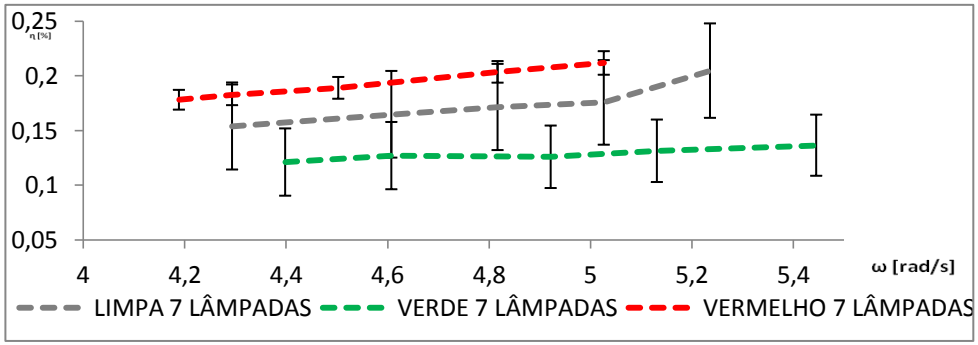

Gráfico 13 C: segunda medição para a relação 45-14, correntes sujas