



**Lauri Ricardo Hatye
Sidinei Ludwig**

**BANCADA EXPERIMENTAL HIDRÁULICA PARA APLICAÇÃO DE
TORQUE NO EIXO DO DOSADOR DE FERTILIZANTE DE UMA
PLANTADEIRA DE GRÃOS**

Horizontina

2013

**Lauri Ricardo Hatye
Sidinei Ludwig**

**BANCADA EXPERIMENTAL HIDRÁULICA PARA APLICAÇÃO DE
TORQUE NO EIXO DO DOSADOR DE FERTILIZANTE DE UMA
PLANTADEIRA DE GRÃOS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Anderson Dal Molin, Mestre.

Horizontina

2013

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Bancada Experimental Hidráulica para Aplicação de Torque no Eixo do
Dosador de Fertilizante de uma Plantadeira”**

Elaborada por:

**Lauri Ricardo Hatye
Sidinei Ludwig**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 02/12/2013
Pela Comissão Examinadora**

**Mestre. Anderson Dal Molin
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Especialista. Valmir Vilson Beck
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Mestre. João Batista Soares Coelho
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2013**

DEDICATÓRIA

“Dedico esta obra a todos da minha família, meus pais, meus avós, e minhas irmãs que sempre me incentivaram. À minha namorada que me deu apoio em vários momentos durante este período. Mas em especial a uma pessoa que onde quer que esteja, deve estar vendo que seus conselhos e ensinamentos foram de grande valia para a minha criação e para o meu aprendizado. A ela que me botou no mundo, que me cuidou, que me guiou nos meus primeiros passos, que me ajudou a ler e a escrever as primeiras palavras, e que sempre me orientou a estudar, esta conquista também é sua minha querida MÃE!”

Lauri Ricardo Hatye

“Um carinho especial ao meu pai e a minha mãe, pelo apoio que sempre me deram, e aos meus irmãos que sempre incentivavam a concretização deste trabalho. A minha namorada, que sempre me apoiou, e no momento que começou a fazer parte da minha vida, me tornei uma pessoa mais feliz.”

Sidinei Ludwig

AGRADECIMENTO

Às nossas famílias que sempre estiveram presentes nesta jornada, nos concedendo apoio incondicional.

Ao nosso professor orientador Anderson Dal Molin por sua colaboração para o desenvolvimento deste trabalho e sua constante dedicação.

Ao orientador da empresa, Daniel Brandalise pelo apoio e dedicação para com este trabalho.

À John Deere Brasil, pela grande oportunidade ofertada para o desenvolvimento deste trabalho e principalmente pelo nosso desenvolvimento pessoal e profissional.

A todos os colegas e colaboradores da Equipe Sinuelo-Fahor, que com o projeto Baja nos proporcionou imenso aprendizado.

A todos os professores da FAHOR que contribuíram para nossa formação, tanto técnica quanto pessoal.

“Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho e sobre ele lança toda a força de sua alma, todo o universo conspira a seu favor.”

Johann Goethe

RESUMO

A busca por redução de custos e agilização no processo de desenvolvimento de novos produtos, faz com que as empresas fabricantes de máquinas e equipamentos adotem com frequência o uso de bancadas de testes de durabilidade. A realização de testes em laboratório visa a validação, performance, e confiabilidade dos produtos em um curto período de tempo. E com o uso de bancadas de testes, permite reduzir custos, tempos de teste, aperfeiçoar e acelerar os testes, aumentar a eficiência e conseguir reproduzir os modos de falha com maior rapidez. No processo de validação de um sistema de transmissão do sistema dosador de adubo de uma plantadeira, os componentes precisam ser submetidos aos mesmos níveis de esforços que ocorrem nas operações de campo. O presente trabalho trata da análise e dimensionamento de uma bancada hidráulica capaz de aplicar torque em um eixo da transmissão dosadora de adubo de uma plantadeira de grãos, de modo a reproduzir, as reais condições de campo. Em relação aos métodos e técnicas aplicados no decorrer da pesquisa, fez-se uso de uma pesquisa exploratória. Para a investigação do torque atuante sobre a transmissão da plantadeira, faz-se necessário a instrumentação de um eixo por meio de extensometria, para coletar dados, com auxílio de equipamentos de aquisição. Um sistema aplicador de torque, construído a partir de uma transmissão por correntes e engrenagens, e de componentes hidráulicos, faz com que seja aplicado torque sobre o sistema. Com o uso dos equipamentos de aquisição de dados, faz-se a análise do funcionamento do sistema aplicador de torque para verificação da sua funcionalidade. O aplicador de torque analisado permite o ajuste do torque a ser aplicado no eixo de transmissão de fertilizante da plantadeira. Este ajuste é feito de maneira simples, permite um torque controlado, e é capaz de atingir os mesmos níveis que ocorrem em campo durante as condições de plantio mais severas.

Palavras-chave: Aplicador de Torque. Hidráulica. Instrumentação.

ABSTRACT

The search for cost reduction and streamlining the development process of new products causes the machine manufacturers and equipment companies often adopt the use of countertops durability tests. The testing laboratory seeks validation, performance, and reliability of products in a short period of time. And with the use of test benches, reduces costs, time test, improve and speed up testing, increase efficiency and be able to reproduce the failure modes more quickly. In the process of validation of a transmission system of the feeder system of fertilizer a planter, the components need to be subjected to the same level of effort occurring in field operations. This paper addresses the analysis and design of a hydraulic bench capable of applying torque in a shaft of transmission dosing of fertilizer a planter grain in order to reproduce the actual field conditions. Regarding the methods and techniques applied in the course of research, it was used an exploratory research. For the investigation of the acting on the transmission torque of the planter, it is necessary instrumentation of a shaft by means of extensometer, to collect data, with the aid of equipment acquisition. A torque applier system built from a transmission chain and gears, hydraulic components and causes torque to be applied over the system. With the use of data acquisition equipment, makes the analysis of the operation of the torque applicator system to verify its functionality. The applicator torque analysis allows adjustment of the torque being applied to the drive shaft of fertilizer planter. This adjustment is done in a simple way, allows a controlled torque, and is capable of reaching the same levels that occur in the field during planting conditions more severe.

Keywords: Torque Applicator. Hydraulic. Value Analysis. Instrumentation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Retas radiais antes e depois da deformação	13
Figura 2 - Variação do torque	14
Figura 3 - Perdas de carga em um circuito hidráulico	21
Figura 4 - Rugosidade interna de um tubo	22
Figura 5 - Eixo de acionamento dos dosadores de fertilizante da plantadeira	27
Figura 6 - Marcação dos pontos de colagem dos Strain Gages	28
Figura 7 - Strain Gages colado no eixo	28
Figura 8 - Esquema de ligação dos fios nos Strain Gages no sistema de ponte completa ...	29
Figura 9 - Calibração do eixo	30
Figura 10 - Relatório de resultados da calibração do eixo	31
Figura 11 - Torque e RPM do eixo durante o plantio com taxa de adubo de 300kg/ha	32
Figura 12 - Torque e RPM do eixo durante o plantio com taxa de adubo de 500kg/há	33
Figura 13 - Torque durante o plantio à 12km/h com taxa de adubo de 500kg/há. (Kgf)	34
Figura 14 - Aplicador de torque	35
Figura 15 - Esquema hidráulico da bancada	35
Figura 16 - Bancada de testes	36
Figura 17 - Sistema para coleta de dados de rotação com sensor indutivo	37
Figura 18 - Torque gerado pelo aplicador (Kgf), na bancada de testes	38
Figura 19 - Torque gerado pelo aplicador (Kgf) X pressão hidráulica do sistema do freio	39
Figura 20 - Influência da pressão hidráulica do sistema no torque e no RPM do eixo	40
Figura 21 - Torque no eixo e temperatura do óleo hidráulico da bancada	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1	TORQUE	13
2.2	INSTRUMENTAÇÃO	14
2.2.1	EQUIPAMENTOS E SENSORES	14
2.2.2	SOFTWARES	15
2.2.3	EXTENSOMETRIA	15
2.3	A HIDRÁULICA	17
2.3.1	FLUÍDO	18
2.3.2	PROPRIEDADES DOS FLUÍDOS	19
2.3.3	SISTEMA HIDRÁULICO	22
3	METODOLOGIA	25
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	25
3.2	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	25
3.3	AQUISIÇÃO DE DADOS	26
3.4	APLICADOR DE TORQUE	34
3.5	INSTRUMENTAÇÃO DA BANCADA	36
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
5	CONCLUSÕES	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

Uma das maiores preocupações das empresas é o investimento aplicado durante o desenvolvimento de um novo produto. O desenvolvimento de produtos têm grande influência nos custos diretos, indiretos e de pós venda. A busca por redução dos custos diretos, em muitas vezes, afeta nos custos indiretos e também após o lançamento do produto no mercado. A solução pode ser até mais cara do que o ganho que obteve-se inicialmente.

A busca por redução de custos e agilização no processo de desenvolvimento faz com que as empresas adotem com frequência o uso de bancadas de testes de durabilidade que além de reduzir custos, reduzem tempos de testes, aperfeiçoam e aceleram os testes, aumentam a eficiência e conseguem reproduzir os modos de falha com maior rapidez.

A construção de uma bancada de testes se dá a partir da montagem de um sistema em separado do restante do corpo da máquina, a fim de se obter dados, facilitar observações, e otimizar o tempo, testando somente o que é solicitado.

Tendo como foco a criação de uma bancada experimental hidráulica para aplicação de torque no eixo do dosador de fertilizante de uma plantadeira de grãos, especificamente a necessidade de descrever o desenvolvimento de um mecanismo aplicador de torque por meio de um sistema hidráulico capaz de promover níveis de torque controlados e ajustados para uso em bancada hidráulica. E a partir dos objetivos elencados para a solução deste problema, opta-se pelo desenvolvimento de uma abordagem exploratória.

Os testes realizados em sistemas dosadores de fertilizantes tendem a reproduzir as condições de campo com o propósito de investigar fatores que interferem na vida útil dos componentes, bem como avaliar o seu desempenho. O modo como estes testes são conduzidos pode variar de acordo com as características dos elementos do sistema que está sendo testado, critérios de aceitação para validação ou homologação e também de acordo com a metodologia utilizada.

No sistema dosador de adubo de uma plantadeira existem vários elementos que influenciam na performance e funcionamento do sistema como um todo. O conhecimento dos esforços atuantes no sistema é de fundamental importância para o processo de validação. A validação dos componentes da transmissão dos

dosadores de fertilizante, tais como: eixos, correntes, engrenagens, cruzetas, catracas, necessita passar por uma sequência de esforços similares aos encontrados no campo para que seja reproduzido da melhor forma as condições reais de uso, a fim de garantir a durabilidade desejada.

Mesmo com modelos de plantadeira dos mais diversos tamanhos, é uma característica dos fabricantes unificar componentes, independentemente do número de linhas de plantio que a plantadeira comporte. Como o número de dosadores de fertilizante é equivalente ao número de linhas de plantio, é normal encontrar elementos de transmissão comuns para plantadeiras com poucas linhas de plantio, até às de maior capacidade com um número maior de linhas. Com isso, a validação dos componentes de transmissão se dá a partir da reprodução das piores condições de uso, o que no caso seria com os valores de esforços referentes ao número máximo de linhas de plantio e dosadores.

A reprodução do torque aplicado para girar um número grande de dosadores precisa ser efetuado de modo que não seja necessário utilizar em bancada todos os dosadores, com o propósito de construir bancadas mais compactas e de custo reduzido. Para tal situação, é necessária a simulação dos esforços com o uso de outros mecanismos aplicadores de torque. Contudo, a aplicação de torque na bancada precisa ser eficiente, estável e de fácil controle de ajuste.

Levando em consideração as ideias mencionadas, a elaboração de um sistema aplicador de torque semelhante a um freio, que consiga simular o torque gerado pelos dosadores de fertilizante sobre um mecanismo de acionamento, pode ser destacado como problema da pesquisa. Tal sistema será utilizado em uma bancada de testes de fertilizantes e necessita reproduzir os elementos atuantes em uma grande plantadeira. Desta forma, surge a oportunidade de analisar e dimensionar um sistema hidráulico que possa reproduzir as condições de campo de forma controlada e eficiente aplicados em uma bancada de testes.

As plantadeiras de grãos, em sua maioria possuem sistema de dosagem e aplicação de fertilizantes junto à linha de plantio. Tal sistema pode ser acionado por diferentes formas tais como pelo sistema de rodado da plantadeira ou por mecanismos eletro hidráulicos que executam os movimentos da transmissão.

A empresa John Deere Brasil Ltda possui em suas dependências na unidade em Horizontina-RS a área de Engenharia Experimental denominada PV&V (Product

Verification and Validation) que trabalha com ensaios, aquisições de dados em campo, testes acelerados

Justifica-se este trabalho pela necessidade de se ter um mecanismo aplicador de torque sobre a transmissão de um sistema dosador de adubo de uma plantadeira, mas para aplicação em bancada de teste. A simulação dos esforços reais ocorrentes no campo proporciona uma boa avaliação da confiabilidade e desempenho do sistema que está sendo testado.

Desta forma, o objetivo geral desta pesquisa é dimensionar um aplicador de torque para o sistema dosador de fertilizante de uma plantadeira, para uso em bancada experimental hidráulica a fim de reproduzir níveis reais de utilização. Para tanto, este trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

- Investigar os níveis de esforços exercidos na plantadeira em campo para posteriormente reprodução na bancada.
- Definir os requisitos necessários para o dimensionamento e construção do novo sistema de freio;
- Fazer um esboço dos componentes do novo sistema de freio;
- Realizar aquisições de dados para verificação da funcionalidade do sistema;
- Analisar a eficiência do novo sistema de freio;

2 REVISÃO DA LITERATURA

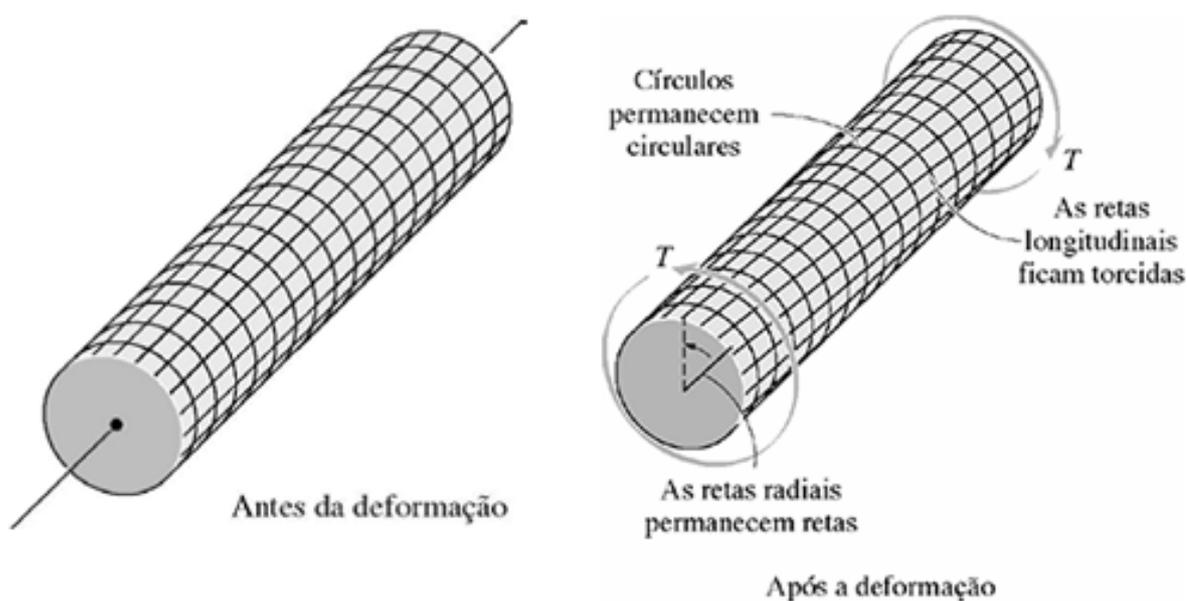
Na revisão da literatura, estão abordados conceitos referentes à torque, instrumentação, e hidráulica.

2.1 TORQUE

Rodrigues (2006) define torque como o momento que tende a torcer a peça em torno de seu eixo longitudinal. Seu efeito é de interesse principal no projeto de eixos de acionamento usados em veículos e maquinaria. O torque também é chamado de momento torçor ou esforço torcional.

Quando o torque é aplicado em um eixo circular os círculos e as retas longitudinais da grelha original marcada no eixo tendem a se distorcer. A torção faz os círculos permanecerem como círculos e cada reta longitudinal da grelha deformar-se em hélice que intercepta os círculos em ângulos iguais. Além disso, as seções transversais do eixo permanecem planas e as retas radiais dessas seções permanecem retas durante a deformação conforme a Figura 1. A partir dessas observações podemos supor que, se o ângulo de rotação for pequeno, o comprimento do eixo e seu raio permanecerão inalterados (OLIVEIRA, 2013).

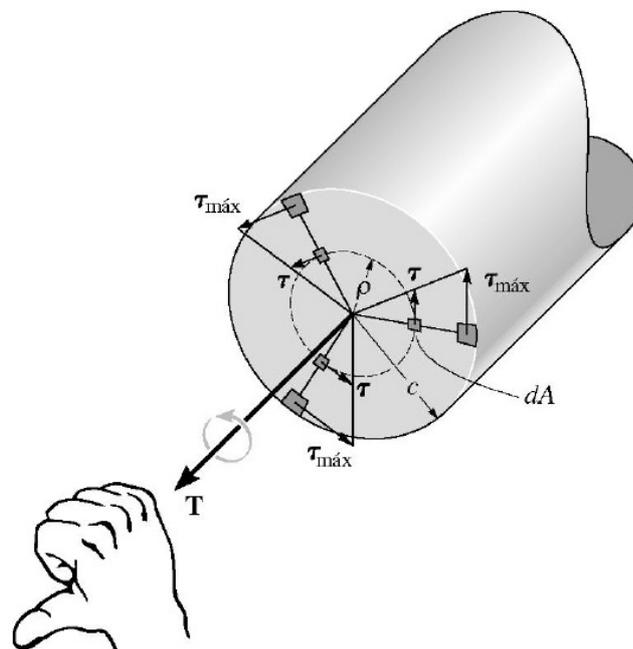
Figura 1 - Retas radiais antes e depois da deformação



Fonte: Rodrigues(2006)

Quando um torque externo é aplicado a um eixo cria um torque correspondente no interior do eixo, a seção transversal permanece plana enquanto as retas radiais giram. Isso provoca uma deformação por cisalhamento no interior do material que varia linearmente ao longo de qualquer reta radial, indo desde zero na linha de centro do eixo até o máximo no seu limite externo. Tal variação é mostrada na Figura 2, para as faces de um número selecionado de elementos, localizados em uma posição radial intermediária ρ e na extremidade do raio c (OLIVEIRA, 2013).

Figura 2 - Variação do torque



Fonte: Rodrigues(2006)

2.2 INSTRUMENTAÇÃO

O termo instrumentação é definido por Fialho (2002) como a ciência que estuda os instrumentos de medição e controle. Este termo é utilizado para fazer menção à área de trabalho dos técnicos e engenheiros que trabalham com processos industriais, e também pode referir-se aos vários métodos e técnicas possíveis aplicadas aos instrumentos.

2.2.1 Equipamentos e Sensores

O equipamento Somat E-daq é um sistema de aquisição de dados baseado em microprocessador projetado para coleta de dados portátil em uma variedade de

ambientes de teste, podendo fazer a leitura de diversos tipos de sensores. Este equipamento converte o sinal elétrico em digital e os manda ao computador (HBM, 2013).

Transdutores de pressão do tipo Gefran TPSA podem ser utilizados para a medição de pressão de fluidos, líquidos ou gasosos, nas mais variadas aplicações (GEFRAN,2013).

2.2.2 Softwares

O software Somat TCE cria os arquivos de configuração de teste que definem e calibram os canais transdutores, permite a adição de canais calculados para a análise de dados e possibilita a visualização de valores de teste em tempo real. Por fim, carrega os dados de ensaio ao E-daq para o PC de suporte para análise e pós-processamento (HBM, 2013).

O Somat Infield é um software projetado para aplicações em engenharia de testes. Reúne um conjunto de ferramentas difíceis de engenharia que se fazem necessárias para a tomada de difíceis decisões de projeto. É capaz de Identificar as estatísticas como mínimo e máximo, desvio padrão, média e outras funções matemáticas. Permite reformatar os dados do histórico do tempo em vários outros formatos (HBM, 2013).

O software N-Code Glyph Works é um sistema de processamento de dados para a análise de dados de teste de engenharia. É capaz lidar com grandes quantidades de dados, fornece um ambiente gráfico orientado para o processo. Possibilita ao usuário criar um fluxo de trabalho de análise de blocos de construção. Esta é uma ferramenta que também permite fornecer previsões de vida em fadiga de análise de elementos finitos para análise de durabilidade (HBM,2013).

2.2.3 Extensometria

De acordo com Fialho (2002), é muito recente o desenvolvimento dos métodos utilizados para a medida de forças. O surgimento se dá em função da necessidade de desenvolver máquinas confiáveis estruturalmente para atender a produção em massa. A questão era tornar possível o dimensionamento dos esforços

de forma precisa em tempo hábil, sem necessitar recorrer a complexos formalismos que muitas vezes apenas possibilitavam respostas aproximadas.

O autor acima citado afirma também que com a união entre a Física, a Eletrônica e a Mecânica Aplicada, ocorreu o surgimento da extensometria, a qual tornou capaz a determinação mais precisa dos esforços aos quais os mecanismos estavam sendo submetidos em condições reais de trabalho.

Fialho (2002) define Extensometria como o método que tem por objetivo a medida das deformações superficiais dos corpos. Para isso, o autor usa o princípio que foi estabelecido por Robert Hooke em 1678, de que há relação existente entre as tensões de deformação e as solicitações mecânicas dos materiais. Se um material isotrópico e homogêneo for submetido à solicitações mecânicas e seu limite elástico não for ultrapassado a relação entre tensão e a deformação será linear.

O uso de Strain Gages ou simplesmente células extensiométricas são a maneira mais conhecida de se converter uma deformação mecânica em um sinal elétrico. Estes elementos são constituídos de uma resistência elétrica que é colada sobre a superfície em que se deseja medir a deformação (HOFFMANN, 1989).

Existem vários modelos construtivos de Strain Gages dependendo da aplicação. Os extensômetros são fabricados com uma ou mais malhas de medição. Os Strain Gages do tipo espinha de peixe, da marca Micro-Measurements, modelo CEA-06-187UV-350, possuem duas malhas de medição (VISHAY, 2013).

De acordo com Fialho (2002), a medida da deformação se dá devido a uma variação da resistência do Strain Gage sendo consequência da variação da área da seção transversal.

Para que seja feita a leitura do sinal do Strain Gages é necessário o encaminhamento de um sinal elétrico para um equipamento de aquisição de dados que irá enviar um sinal elétrico para o computador, para posterior visualização dos dados coletados através de gráficos (HOFFMANN, 1989).

Sinais analógicos são todos aqueles que podem assumir qualquer valor dentro de determinados limites e levam a informação na sua amplitude. Podem ser variáveis, sendo representados por uma soma de um conjunto de senóides. Também podem ser contínuos, onde o sinal tem certo nível fixo durante um tempo indefinido (FIALHO, 2002).

Os sinais digitais possuem um número de estados entre seus valores de mínimo e máximo. Estes sinais assumem valores “discretos”, possuem

descontinuidades ou “saltos” e “degraus”. O sinal digital mais utilizado na comunicação de dados é o código binário, o qual, para representar uma dada informação, precisa de um certo número de variáveis binárias que depende da variável e da precisão pretendida. As variáveis binárias podem ser representadas de duas formas: em série e em paralelo. Em série, a sequência de níveis é de zero e um. Em paralelo, são usadas sequências simultâneas de outros tantos sinais binários independentes num único instante de tempo (FIALHO, 2002).

2.3 A HIDRÁULICA

O termo Hidráulica é definido por Palmieri (1994) como a ciência que estuda os fluidos em escoamento e sob pressão. Tomando referência à Blaise Pascal, que enunciou vários princípios aplicados a hidráulica, entre eles, o que se destaca é o princípio Fundamental da Hidráulica onde: “Toda a pressão aplicada sobre um fluido confinado em um recipiente fechado age igualmente em todas as direções perpendiculares às paredes do recipiente”.

Recebem destaque no desenvolvimento da hidráulica os trabalhos executados por Pascal que, na década de 1640 enunciou o princípio da prensa hidráulica. A aplicação industrial só se efetivou em 1795 quando Bramah construiu uma prensa hidrostática utilizando água como meio de transferência de energia. Somente no século XX que os sistemas de transmissão hidráulica tiveram sua importância significativamente afetada, em função da simplicidade oferecida pelos acionamentos elétricos decorrentes do desenvolvimento das revolucionárias técnicas de transmissão de energia elétrica (LINSINGEN, 2003).

Atualmente, em função dos esforços de desenvolvimento tecnológico, os sistemas hidráulicos encontram aplicação em praticamente todos os ramos de atividade (LINSINGEN, 2003).

Palmieri (1994) menciona as seguintes vantagens para os sistemas hidráulicos: Fácil instalação dos diversos elementos, oferecendo grande flexibilidade, inclusive em espaços reduzidos; permitem uma rápida e suave inversão de movimento, devido à sua baixa inércia; possibilidade de variações micrométricas na velocidade; são sistemas autolubrificadas; têm pequeno peso e tamanho em relação a potência fornecida;

Também, são citadas as seguintes desvantagens: Seu custo inicial é mais alto em comparação aos sistemas Mecânicos e elétricos; baixo rendimento; perigo de incêndio, pois o óleo, normalmente, é inflamável;

2.3.1 Fluido

Brunnetti (2005) define fluido como uma substância que não tem uma forma própria, assume o formato do recipiente que o contém.

Fluido é uma substância que se deforma continuamente, quando submetida a uma força tangencial constante qualquer ou, em outras palavras, fluido é uma substância que se submetida a uma força tangencial constante, não atinge uma nova configuração de equilíbrio estático.

O deslocamento entre as camadas do fluido, origina tensões de cisalhamento, que, multiplicadas pela área da placa, originam uma força tangencial interna ao fluido, responsável pelo equilíbrio da força externa (BRUNETTI, 2005).

Quando estão em equilíbrio, os fluidos não suportam forças tangenciais ou de cisalhamento. Todos os fluidos possuem um certo grau de compressibilidade e oferecem pouca resistência à mudança de forma. Os fluidos podem ser classificados em líquidos ou gases. As principais diferenças entre líquidos e gases são: os líquidos são praticamente incompressíveis enquanto os gases são compressíveis e normalmente devem ser tratados assim. Os líquidos ocupam volumes definidos e têm superfícies livres enquanto uma dada massa de gás se expande até ocupar todas as partes do recipiente (GILES ET AL, 1997).

Conforme o autor anteriormente citado, é de fundamental importância o conhecimento das seguintes características dos fluidos e seu significado.

- **Peso Específico:** é o peso de uma unidade de volume da substância. Para líquidos, o peso específico pode ser considerado uma constante para mudanças normais de pressão.
- **Massa Específica de um Corpo:** é a relação entre massa e unidade de volume.
- **Densidade de um Corpo:** é a relação adimensional entre o peso do corpo e o peso de um volume igual ao de uma substância tomada como padrão.

- Viscosidade de um Fluido: é a propriedade que determina o grau de sua resistência a uma força de cisalhamento. É decorrente basicamente da interação entre as moléculas do fluido.

2.3.2 Propriedades dos Fluidos

A vazão de um fluido é determinada pela razão do volume escoado do fluido por unidade de tempo ou ainda pelo produto da velocidade do fluído versos a área da secção transversal na qual o mesmo está escoando. A vazão pode ser determinada por duas formas distintas. Como ela é dada por l/min (litros por minuto) ou g.p.m. (galões por minuto) ou no sistema internacional em m³/seg., etc. (PALMIERI, 1994).

Para medição de vazões, os medidores de turbinas são recomendados quando quer se fazer medições contínuas. A velocidade de rotação do rotâmetro está relacionada com o fluxo do fluido que o faz girar, indicando assim informações sobre o valor da vazão. Velocidade e vazão se comportam proporcionalmente (FESTO, 2001).

De acordo com Brunetti (2005), existem dois tipos de escoamentos: escoamento laminar, e escoamento turbulento. Já para definir esses tipos de escoamento, utiliza-se a experiência de Reynolds demonstrou.

Linsingen (2003) complementa a ideia, mencionando que a influência relativa das forças de inércia e das forças viscosas para uma dada situação de escoamento é percebida através do número de Reynolds.

O Escoamento Laminar é aquele em que as partículas se deslocam em lâminas individualizadas, sem trocas de massa entre elas. O numero de Reynolds é menor do que 2000 (BRUNETTI, 2005).

Afirma ainda o autor, que o Escoamento Turbulento ocorre quando as partículas apresentam um movimento aleatório macroscópico, isto é, a velocidade apresenta componentes transversais ao movimento geral do conjunto do fluido. O numero de Reynolds é maior que 2400. Existe ainda um tipo de escoamento chamado de regime de transição, onde o numero de Reynolds fica entre 2000 e 2400.

Pode-se definir força, como qualquer causa capaz de realizar trabalho. Por exemplo: para movimentar um corpo qualquer, deve-se aplicar uma força sobre ele. O mesmo ocorre quando se deseja pará-lo (PALMIERI, 1994).

Junior G.B. (2013) define pressão como a resistência oferecida pelo recipiente ao escoamento de um fluido. Disso decorrem duas situações, as observações estática e dinâmica. Nas observações estáticas diz-se que “em um fluido confinado sobre áreas iguais atuam forças iguais”. Já nas observações dinâmicas, a pressão corresponde à energia necessária para vencer as resistências de escoamento decorrentes do atrito e choque dentro das tubulações.

De acordo com Palmieri (1994), na óleo-hidráulica, somente existe pressão em determinada parte de um circuito hidráulico quando existir resistência ao fluxo de óleo gerado pela bomba. A bomba nunca gera pressão, somente vazão de óleo. As resistências encontradas pelo óleo no seu percurso são responsáveis pela geração de pressão no circuito. A Potência é definida como trabalho ou uma mudança na energia por unidade de tempo. Nos circuitos hidráulicos, é feita uma distinção entre potencia mecânica e hidráulica. A energia mecânica é convertida em energia hidráulica, transportada, controlada e então é convertida novamente em energia mecânica (FESTO, 2001).

Linsingen (2003), afirma que a potência útil, no caso de uma bomba, é a potência entregue ao fluido hidráulico, ou potência hidráulica. No caso de um motor, é a potencia entregue ao eixo, ou seja, para ambos os casos, a potência na saída da máquina.

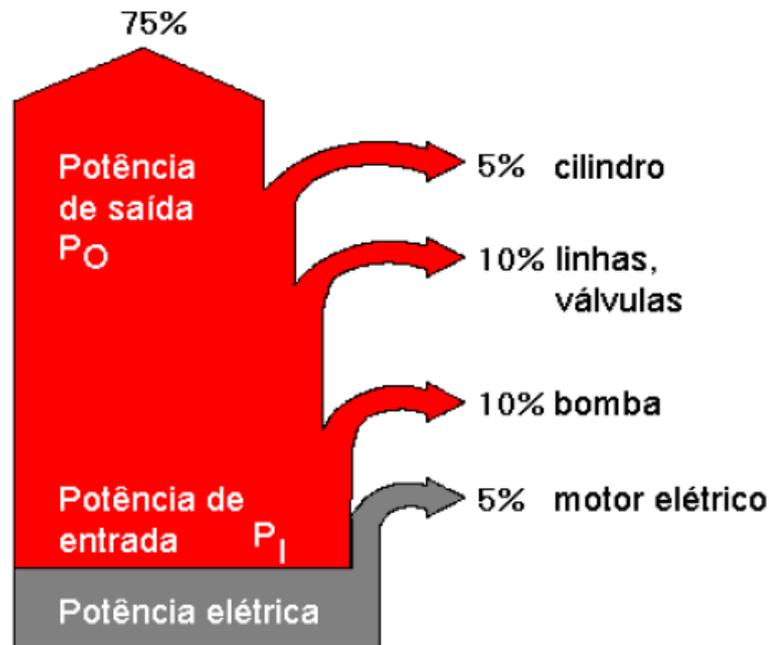
Em sistemas hidráulicos, devido às perdas de cargas geradas pelos próprios elementos do circuito Figura 3, como por exemplo: bombas, válvulas, curvas, cilindros, instrumentos de medida e, a própria tubulação, o aproveitamento final da energia fornecida ao circuito é cerca de 75% (GOMES, ANDRADE E FERRAZ, 2008).

Ferreira (2013) afirma que a perda de carga é a diminuição de energia que o fluido sofre ao longo do percurso até se destino final. Ela é fruto do atrito entre as camadas de fluido quando o escoamento é laminar, e fruto das singularidades como estrangulamentos (orifícios de válvulas) e curvas.

Quando o escoamento é turbulento, essa energia se perde pelo movimento desordenado do fluido na tubulação. Esta última razão nem sempre se verifica porque as tubulações já são dimensionadas para evitar o escoamento turbulento, a

menos que o sistema hidráulico esteja operando fora dos requisitos estabelecidos no projeto. A perda de carga se manifesta pelo aquecimento do fluido, que é a forma pela qual a energia se dissipa. Portanto, o reservatório hidráulico, além de alimentar o sistema com fluido, ainda tem a função de refrigerá-lo (FERREIRA,2013).

Figura 3 - Perdas de carga em um circuito hidráulico

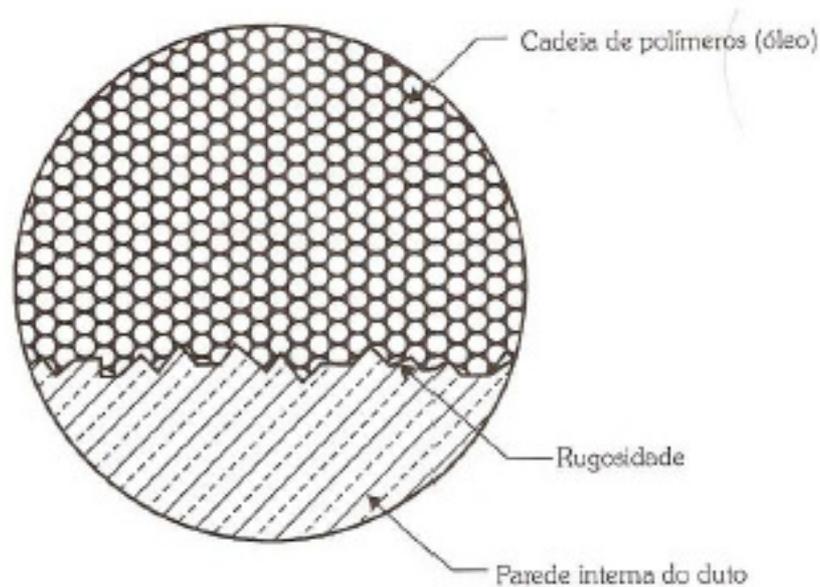


Fonte: Gomes et Al (2008).

Sempre que um fluido se desloca no interior de uma tubulação ocorre atrito deste fluido com as paredes internas desta tubulação, ocorre também uma turbulência do fluido com ele mesmo, este fenômeno faz com que a pressão que existe no interior da tubulação vá diminuindo gradativamente à medida que o fluido se desloque, esta diminuição da pressão é conhecida como Perda de Carga.

O fator de atrito existe devido a temperatura do fluido e rugosidade interna do tubo. Quanto mais rugoso for internamente o duto, maior dificuldade terá o óleo para escoar. A Figura 4 mostra um detalhe ampliado microscopicamente da parede interna de um duto de cobre. Os picos (rugosidade) na superfície interna da parede do tubo geram uma dificuldade (atrito) ao deslizamento do fluido. A velocidade nessa interface é quase nula. O atrito gerado nessa interface e na interface das várias camadas concêntricas de fluido durante o deslizamento irá produzir a perda de carga distribuída (BRUNO, 2013).

Figura 4 - Rugosidade interna de um tubo



Fonte: Bruno (2013).

2.3.3 Sistema Hidráulico

Um sistema hidráulico é um conjunto de elementos fisicamente convenientemente associados que, utilizando um fluido como meio de transferência de energia, permite a transmissão e controle de forças e movimentos. É o meio através do qual uma forma de energia de entrada é convertida e condicionada, de modo a se ter como saída energia mecânica útil (LINSINGEN, 2003).

A bomba é responsável pela geração de vazão dentro de um sistema hidráulico, sendo portanto também responsável pelo acionamento dos atuadores. Elas são divididas em dois grupos principais, bombas de deslocamento não-positivo e as de deslocamento positivo (PALMIERI, 1994).

Junior G.B. (2013) complementa a ideia mencionando que a bomba hidráulica é provavelmente o componente mais importante e menos compreendido no circuito hidráulico. Sua função é a de converter a energia mecânica em energia hidráulica, empurrando o fluido hidráulico no circuito. As bombas são feitas de vários tamanhos e formas, mecânicas e manuais, com diversos mecanismos de bombeamento e para diversas aplicações. Todas as bombas, entretanto, são classificadas em uma de duas categorias básicas: Turbobombas (bombas

centrífugas ou deslocamento dinâmico) ou bombas volumétricas (deslocamento positivo).

Palmieri (1994) comenta que as bombas dos sistemas hidráulicos são divididos e vazão fixa ou variável.

Tipos de bombas de vazão fixa:

Manuais

Engrenagens

Parafusos

Palhetas:

- Radiais
- Axiais

Tipos de bombas de vazão variável:

Manuais

Palhetas

Pistões:

- Radiais
- Axiais

De acordo com Palmieri(1994), o reservatório Hidráulico possui varias funções. A mais importante delas é como depósito do fluído a ser utilizado no sistema. Outras funções importantes são, a ajuda que ele fornece ao sistema no resfriamento do fluído e a precipitação das impurezas.

O fluído utilizado em um sistema hidráulico deve ser armazenado de tal forma que ele nunca seja insuficiente ou excessivo. O reservatório deve suprir as necessidades mínimas como as máximas do sistema. Uma regra pratica de dimensionamento de reservatório é fazer-se com que o seu volume seja igual ou maior a três vezes a vazão da bomba que alimenta o sistema (PALMIERI, 1994).

Palmieri(1994) afirma que algumas normas recomendam que a cota mínima de altura do fluído acima do filtro de sucção seja 76,2mm(3 polegada).

Segundo o mesmo autor, ainda afirma que grandes quantidades de calor são geradas pelo sistema e são levadas para o reservatório através do próprio fluxo de fluído. De acordo com a complexidade do circuito hidráulico esse calor pode ser dissipado apenas através das paredes dos cilindros e das tubulações e principalmente no reservatório. Em contato com as paredes do tanque o calor é

trocado através da condução e radiação uma vez que o calor é transmitido de um corpo mais quente para outro mais frio.

A maioria dos circuitos hidráulicos necessitam de meios para se controlar a direção e o sentido do fluxo de fluido. Através desse controle pode-se efetuar o trabalho exigido, quando obtêm-se movimentos desejados dos atuadores (cilindros, motores e osciladores hidráulicos, etc (JUNIOR G. B, 2013).

O autor afirma ainda que o processo mais utilizado para se controlar a direção e sentido do fluxo de fluido em um circuito é a utilização de válvulas de controle direcional, comumente denominadas apenas de válvulas direcionais. Essas válvulas podem ser de múltiplas vias que, com o movimento rápido de um só elemento, controla a direção ou sentido de um ou mais fluxos diversos de fluido que vão ter à válvula.

Os atuadores hidráulicos convertem a energia de trabalho em energia mecânica. Eles constituem os pontos onde toda a atividade visível ocorre, e são um dos principais componentes a serem considerados no projeto da máquina. Os atuadores hidráulicos podem ser divididos basicamente em dois tipos: lineares e rotativos (GOMES ET AL, 2008).

No grupo dos atuadores lineares encontram-se os cilindros hidráulicos cuja função básica é transformar força, potência ou energia hidráulica em força, potência ou energia mecânica.

Os atuadores rotativos tem como função básica transformar a força, potência ou energia hidráulica, em força, potência ou energia mecânica rotativa (PALMIERI, 1994).

Ainda, de acordo com Palmieri (1994), este grupo compreende os motores hidráulicos, onde a energia hidráulica é convertida em energia mecânica sob a forma de torque e rotação. Construtivamente, o motor hidráulico assemelha-se a uma bomba hidráulica excetuando, evidentemente, a aplicação, que é inversa uma da outra. Existem casos em que o equipamento pode trabalhar ora como bomba, ora como motor hidráulico. A energia hidráulica fornecida para um motor hidráulico é convertida em mecânica sob a forma de torque e rotação.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

De acordo com Gil (2002), a pesquisa exploratória tem o objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, com o propósito de oferecer maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Compreende levantamento bibliográfico e entrevista com pessoas que tiveram experiência prática com assuntos relacionados ao problema. Quanto ao procedimento, a pesquisa é do tipo experimental, onde segundo Gil (2002), representa o melhor exemplo de pesquisa científica. Esta pesquisa consiste na determinação do objeto de estudo, a definição das variáveis, as formas de estudo e observação. Para a obtenção dos resultados desejados utilizam-se técnicas de pesquisa como: revisão bibliográfica, aplicação de procedimentos práticos, avaliação da funcionalidade e análise dos dados.

A ideia da construção de uma bancada para a simulação do torque sobre o eixo do sistema dosador de adubo da plantadeira surgiu na unidade da John Deere Brasil – Horizontina, com o propósito de conseguir fazer um levantamento de dados dos torques existentes em campo e aplicá-los nos testes em bancada de durabilidade e performance.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para o desenvolvimento da pesquisa fez-se necessária a utilização dos seguintes materiais:

- Eixo de acionamento dos dosadores de adubo da plantadeira;
- Ácido e Base para tratamento de superfície;
- 02 Strain Gages;
- Equipamento registrador de dados modelo SOMAT E-daq;
- Softwares Somat TCE e Somat Infield para aquisição e análise de dados;
- Bancada estrutural de calibração com célula de carga;
- Plantadeira com sistema de deposição de adubo;

- Bancada de Teste;
- Software para modelamento das peças (SOLIDWORKS ou PRO-E)
- Sistema Hidráulico;

3.3 AQUISIÇÃO DE DADOS

Primeiramente foi definida como prioridade a investigação dos níveis de torque que são encontrados no campo em operações de plantio. Para isso, fez-se necessário à realização de aquisições de dados referentes ao regime de trabalho de uma plantadeira, levantando os níveis de esforços de torção que são aplicados sobre um eixo de acionamento dos dosadores de adubo da plantadeira em condições reais de plantio. Para tal verificação, foi necessária a instrumentação do eixo que aciona o sistema dosador de fertilizante da plantadeira, Figura 5.

A primeira fase do processo de instrumentação de um eixo deste tipo consiste em determinar a melhor localização para a instalação dos Strain Gages. Após isso, determina-se o melhor ponto de usinagem para fragilizar a secção transversal do eixo, isto torna mais fácil a instalação dos Strain Gages, e faz com que o material deforme-se consideravelmente para uma melhor leitura dos sinais vindos dos Strain Gages. Contudo, busca-se uma fragilização ideal para que o material não venha a romper.

Na sequência, o eixo tem a sua superfície preparada para a colagem dos sensores. Essa preparação consiste em deixar a superfície onde serão colados os Strain Gages, sem nenhum tipo de imperfeição. A preparação é feita primeiramente com o uso de lixa número 120 para utilização geral, após, é passado uma lixa fina de número 400, e posteriormente uma lixa número 600 para polimento.

Figura 5 - Eixo de acionamento dos dosadores de fertilizante da plantadeira



Outra etapa do processo de tratamento de superfície é a esterilização que deve ser feita com o uso de produtos indicados pelo fornecedor de sensores, os quais são um ácido fosfórico e um neutralizador. O ácido fosfórico é responsável pela remoção das oleosidades e demais substâncias depositadas na superfície que podem vir a interferir durante a colagem do Strain Gage. O neutralizador trata-se de uma base de amônia capaz de neutralizar o local onde foi aplicado o ácido, deixando o local em condições ideais para colar os sensores.

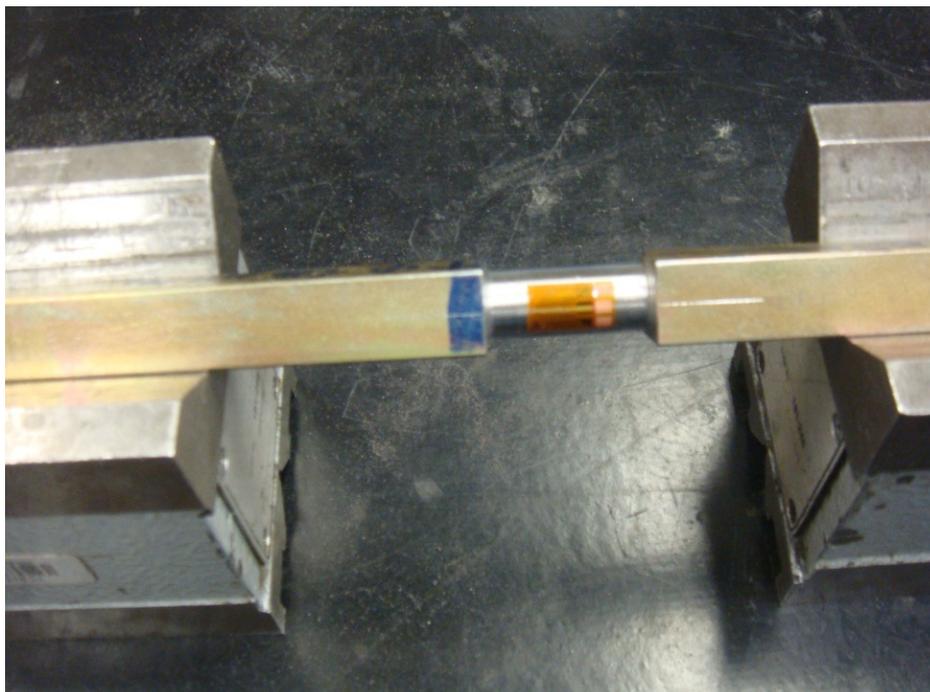
Posteriormente, é efetuada a marcação dos pontos de colagem dos sensores que é realizada com o auxílio de uma placa divisora e um traçador digital para minimizar erros e garantir o posicionamento dos dois Strain Gages, de modo que fiquem paralelos ao centro do eixo, Figura 6.

Figura 6 - Marcação dos pontos de colagem dos Strain Gages



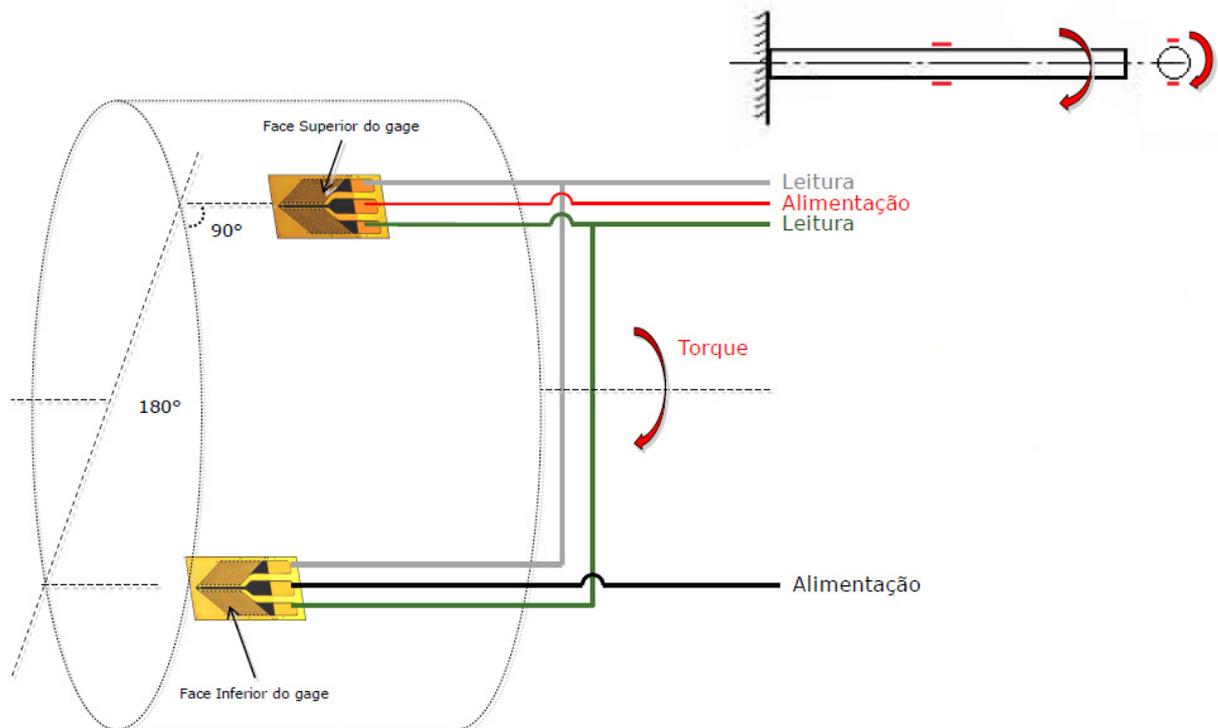
A partir daí, faz-se a colagem dos Strain Gages com a aplicação da cola Loctite 496. A Figura 7 mostra o tipo de Strain Gages utilizado e sua localização no eixo instrumentado.

Figura 7 - Strain Gages colado no eixo



Após, são conectados os condutores que fazem a transmissão do sinal elétrico. A ligação é feita através de quatro fios de coloração distinta para diferenciar no momento da conexão com o equipamento de aquisição de dados. Na Figura 8 é possível ver a representação do esquema de ligação dos fios em sistema de ponte completa, onde tem-se colado dois Strain Gages dispostos em 180 graus um do outro sobre a superfície do eixo.

Figura 8 - Esquema de ligação dos fios nos Strain Gages no sistema de ponte completa



A etapa seguinte é a proteção dos Strain Gages contra as intempéries como oxidação e umidade, e contra choques mecânicos que podem danificar e comprometer o funcionamento dos sensores. É aplicada uma camada de silicone neutro sobre os Strain Gages e sobre os fios.

Para a calibração, Figura 9, fixa-se o eixo em um dispositivo e com o uso de uma talha com uma célula de carga e um braço de alavanca aplica-se força mecânica que deforma o eixo. O equipamento faz a leitura da célula de carga e da deformação do eixo, transformando em sinal elétrico.

Figura 9 - Calibração do eixo



Para a leitura dos sinais foi utilizado o equipamento de aquisição de dados Somat E-daq, e para a leitura e interpretação dos dados foi utilizado os softwares Somat TCE e Somat Infield.

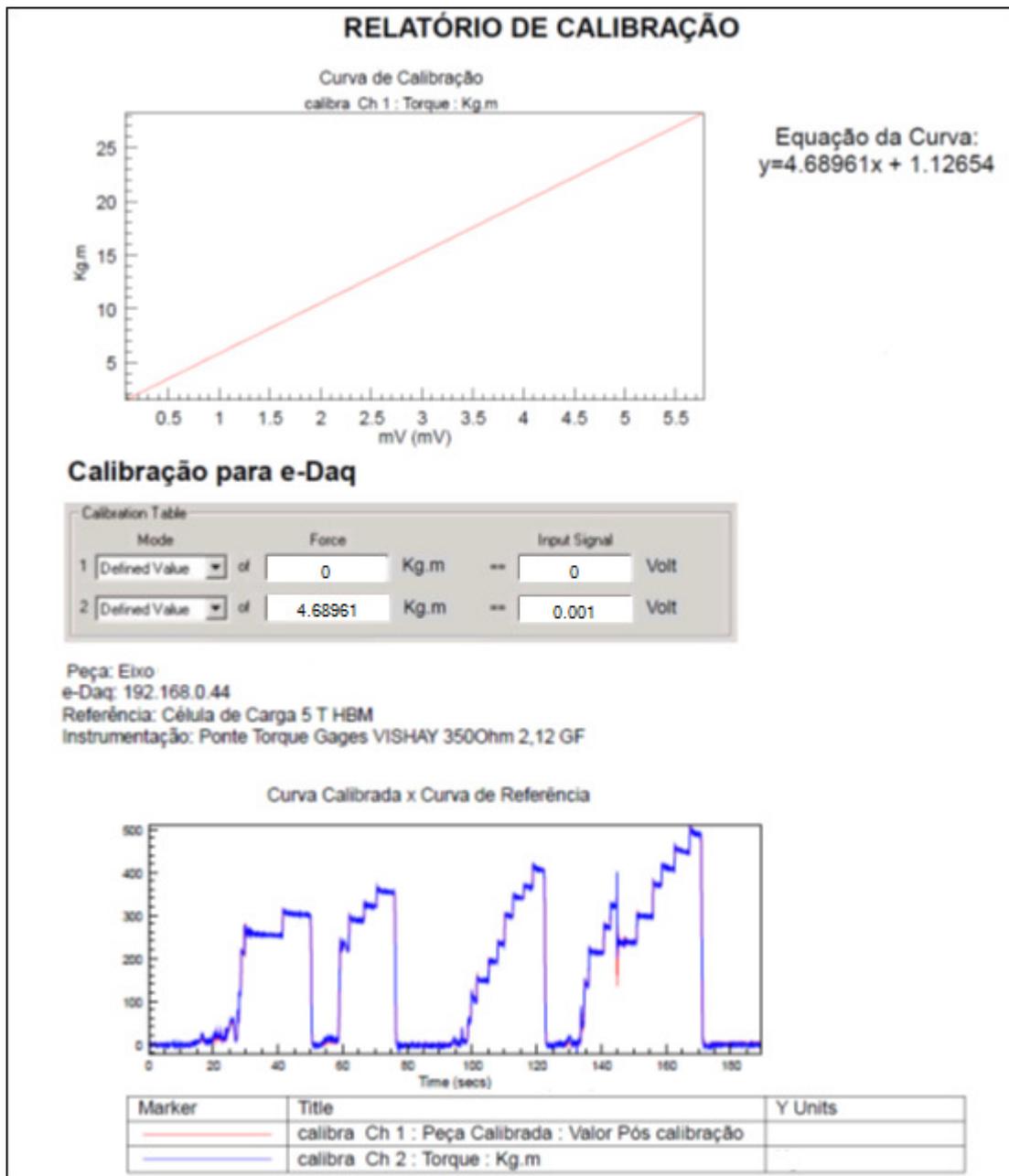
A calibração é feita com o propósito de verificar a sensibilidade do eixo. Com isso, verifica-se qual é a resposta em milivolt para cada kgf aplicado. Estes valores são importados ao software N-Code Glyph Works para que seja criada uma relação de valores, Figura 10. A partir daí obtêm-se um valor de sensibilidade dado em kgf/mV.

Na análise realizada no software N-Code Glyph Works obteve-se um relatório de calibração o qual forneceu um valor de de 4,68961kgf/mV. Este valor foi inserido nas configurações do software Somat TCE para que no momento da aquisição de dados os valores coletados sejam mostrados em kgf.

Estando o eixo instrumentado e calibrado, a próxima etapa é a instalação do mesmo na plantadeira para a realização das aquisições de dados em diferentes condições de plantio.

Para a verificação dos esforços existentes durante as operações de plantio o eixo instrumentado foi instalado em uma plantadeira com 17 dosadores de adubo. Para as aquisições de dados fez-se uso dos mesmos equipamentos e softwares utilizados durante a calibração.

Figura 10 - Relatório de resultados da calibração do eixo

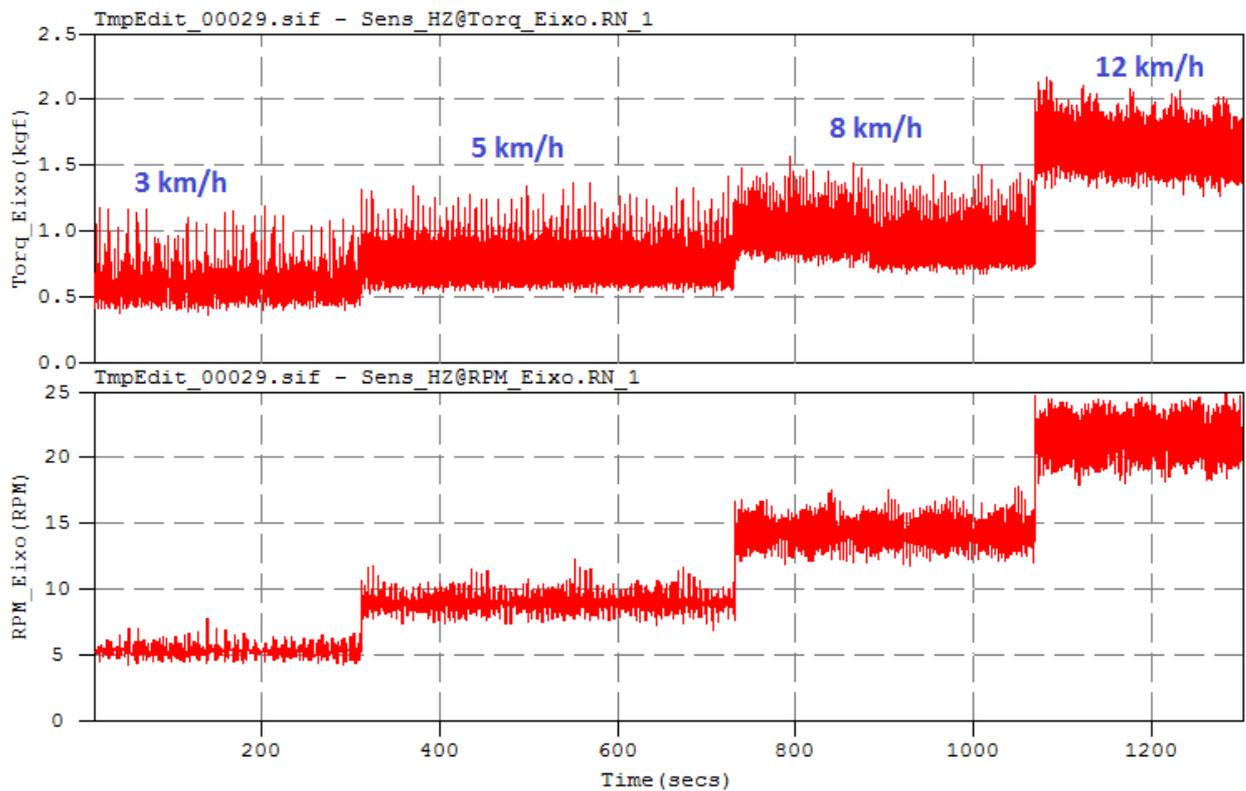


Durante as operações de plantio buscou-se analisar diferentes condições de plantio para encontrar os níveis de torque existentes no eixo de acionamento dos dosadores de adubo comparando as variáveis de velocidade de plantio e taxas de

deposição de adubo, considerando que as taxas de adubo selecionada influenciam diretamente na rotação do eixo do dosador de adubo.

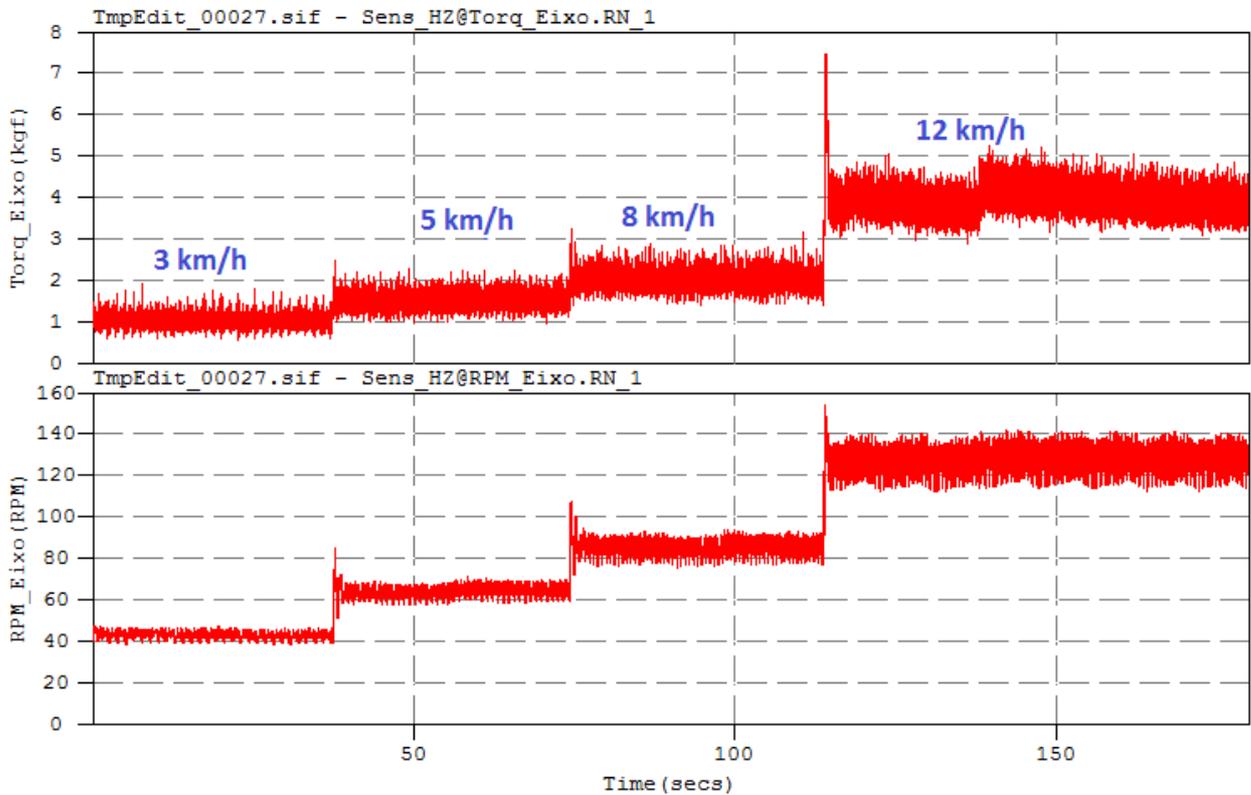
Em uma primeira aquisição de dados, Figura 11, focou-se em compreender o regime de trabalho da plantadeira em uma condição onde a taxa de fertilizante selecionada foi de 300kg/ha, plantando com espaçamento de 45 centímetros entre as linhas de plantio, e com diferentes níveis de velocidade.

Figura 11 - Torque e RPM do eixo durante o plantio com taxa de adubo de 300kg/ha



Após a primeira análise, a plantadeira foi configurada para trabalhar com a máxima taxa de deposição de fertilizante que esta tem de capacidade, Figura 12, que é de 500kg/ha. Manteve-se o mesmo espaçamento entre linhas, e com diferentes velocidades de plantio.

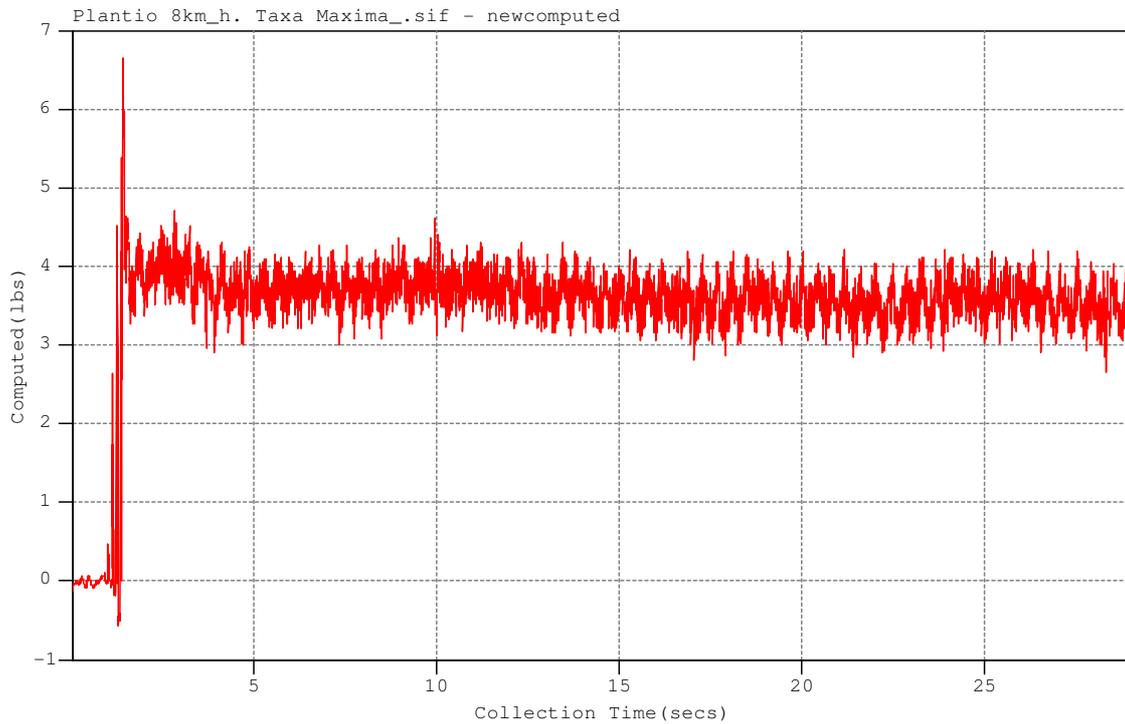
Figura 12 - Torque e RPM do eixo durante o plantio com taxa de adubo de 500kg/há



De todas as configurações analisadas, a pior condição foi encontrada quando a taxa de aplicação de adubo era 500kg/ha e a velocidade de plantio de 12km/h, sendo estes os valores máximos destas variáveis atualmente encontradas no plantio.

Analisando separadamente o gráfico dos dados da Figura 13 com a condição anteriormente descrita fez-se uma análise com o Software Somat Infield, encontrou-se um valor médio de torque de 3,7 Kgf e, portanto, este foi o valor definido para a realização do teste em bancada.

Figura 13 - Torque durante o plantio à 12km/h com taxa de adubo de 500kg/há. (Kgf)

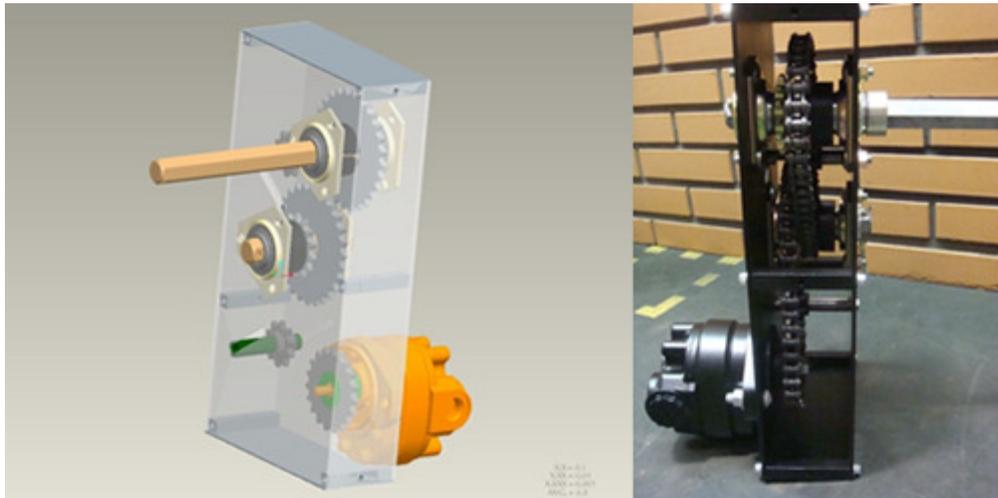


3.4 APLICADOR DE TORQUE

Para que o torque encontrado durante o plantio fosse reproduzido em bancada de teste foi analisado um conjunto aplicador de torque, Figura 14, composto por uma estrutura metálica contendo uma transmissão e uma bomba hidráulica de engrenagens acoplada no eixo final da transmissão. Na linha de saída da bomba há uma válvula reguladora de fluxo e uma válvula controladora de pressão.

Pelos parâmetros definidos para o teste a rotação de trabalho do eixo do dosador não ultrapassa 140RPM. De acordo com os dados do fabricante da bomba hidráulica, a rotação mínima de trabalho para essa bomba é de 320 RPM. Visto isso, optou-se por utilizar uma relação de transmissão composta por correntes e engrenagens para amplificar a rotação no eixo da bomba. Tal relação de transmissão é do tipo 3:1, onde a cada revolução no eixo do dosador irá gerar três rotações no eixo da bomba.

Figura 14 - Aplicador de torque

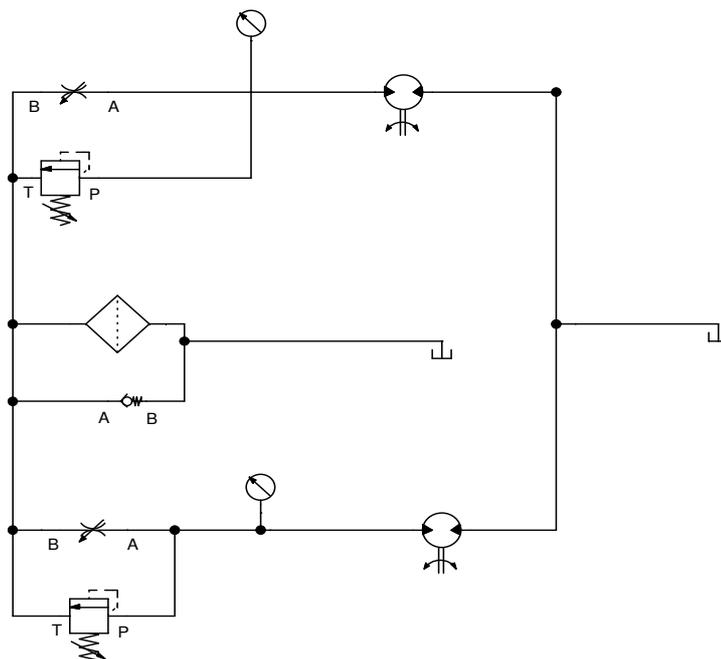


Os componentes mecânicos utilizados na montagem da transmissão tais como eixos, rolamentos, correntes e engrenagens, foram escolhidos levando em consideração que os mesmos estavam disponíveis na empresa pois são os mesmos itens de produção de máquinas agrícolas.

A bomba hidráulica utilizada é da marca Eaton Hydraulic, modelo A – 349-014, é uma bomba de engrenagens com vazão de 22,4cm³/revolução.

Através da linha de sucção, o óleo contido no reservatório escoa até a bomba hidráulica. Esta bomba, por sua vez, promove a vazão do óleo para o restante do sistema, Figura 15.

Figura 15 - Esquema hidráulico da bancada



Na linha de saída da bomba, foi instalada uma válvula reguladora de vazão e uma válvula controladora de pressão, para restringir o fluxo de óleo, gerando um aumento na pressão hidráulica. Esta pressão cria um momento torçor no eixo da bomba, e esse torque é transmitido aos demais eixos do aplicador de torque e do sistema dosador de adubo na bancada de testes, Figura 16.

Figura 16 - Bancada de testes



3.5 INSTRUMENTAÇÃO DA BANCADA

Para a aquisição de dados no sistema aplicador de torque fez-se necessário a instrumentação da bancada para coletar dados de pressão, rotação e temperatura para serem posteriormente analisados

As medições de pressão no sistema hidráulico do aplicador de torque foram efetuadas por meio de transdutores de pressão do tipo Gefran TPSA.

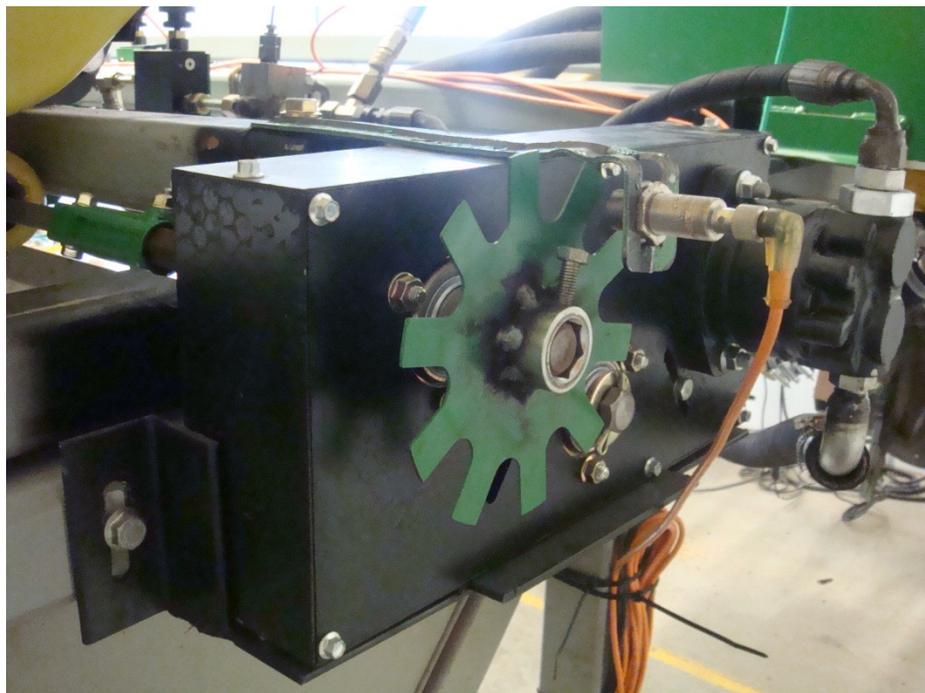
A rotação do eixo do dosador foi coletada a partir do uso de um sensor de rotação do tipo indutivo da marca Sick, Figura 17. Os sensores indutivos são

sensores que detectam a presença de materiais condutores de energia elétrica de natureza metálica.

Essa detecção é feita através da incidência de um campo eletromagnético oscilante sobre o espaço. Quando um metal entra nesse campo, ele absorve parte do campo tornando-o mais fraco. Essa “perda de força” do campo é detectada pelo circuito eletrônico do sensor que o transforma em um sinal de saída que, dependendo do tipo, pode ser a atuação de um contato NA ou NF para corrente alternada ou contínua, um transistor ou ainda um sinal variável de tensão ou de corrente.

Junto com o sensor indutivo, foi instalado um disco metálico com divisões a fim de proporcionar ao sensor a detecção do metal. Ambos foram posicionados de forma a coletar dados de rotação do eixo dos dosadores de adubo que na forma como está montado na bancada e do eixo principal do aplicador de torque.

Figura 17 - Sistema para coleta de dados de rotação com sensor indutivo



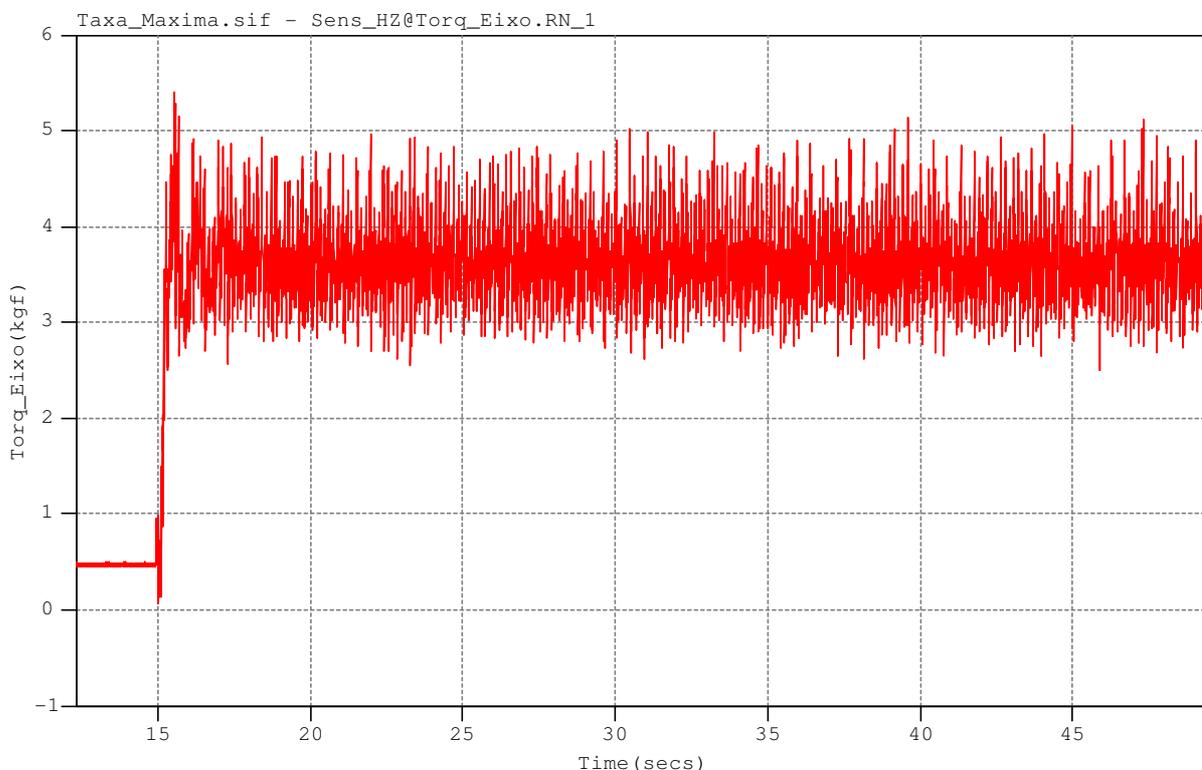
Outro ponto analisado foi à temperatura do óleo hidráulico da bancada. Para isso, foi utilizado um sensor termopar que funciona efetuando a medida da diferença de potencial causada por fios diferentes, sendo utilizado para medir diretamente a diferença de temperaturas ou temperatura absoluta.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após serem determinados os torques a serem aplicados no teste, o mesmo eixo foi instalado na bancada.

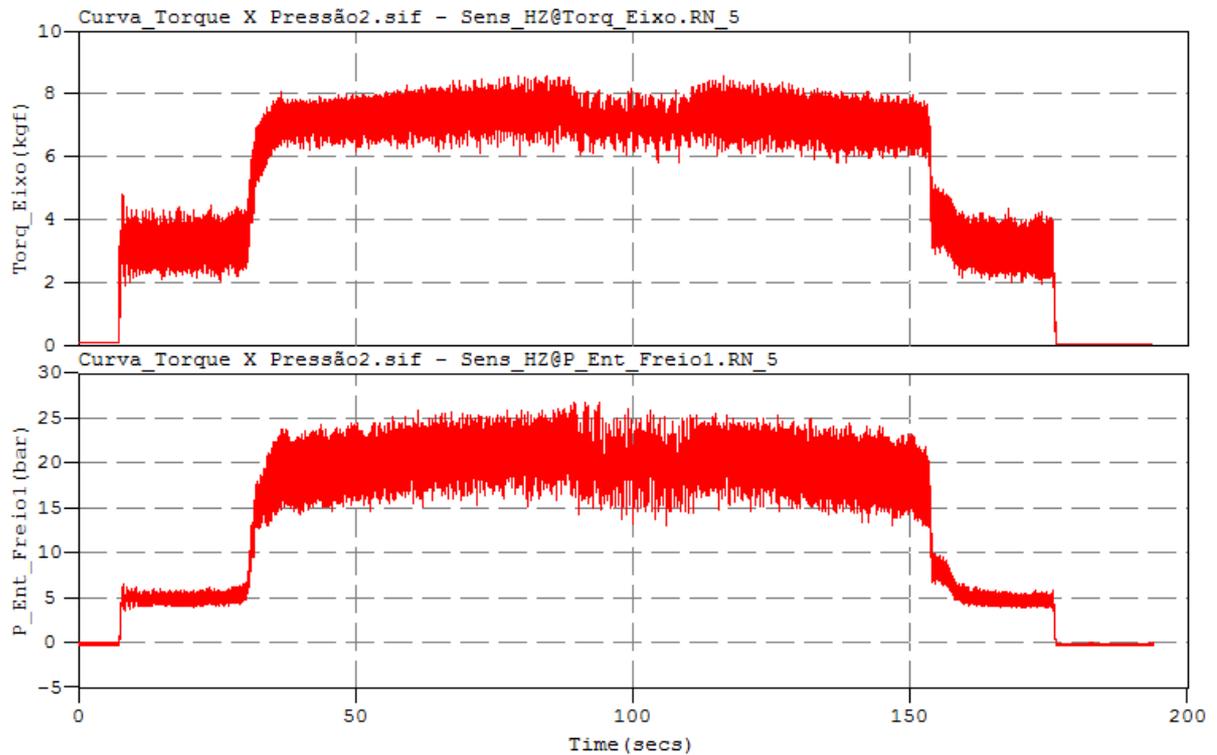
Com os dados coletados percebeu-se que o aplicador impõe esforço contrário ao sentido de giro do eixo, promovendo esforço no sistema, podendo este ser ajustado através da variação da restrição do óleo do sistema hidráulico do aplicador, e regulado conforme o determinado, Figura 18.

Figura 18 - Torque gerado pelo aplicador (Kgf), na bancada de testes



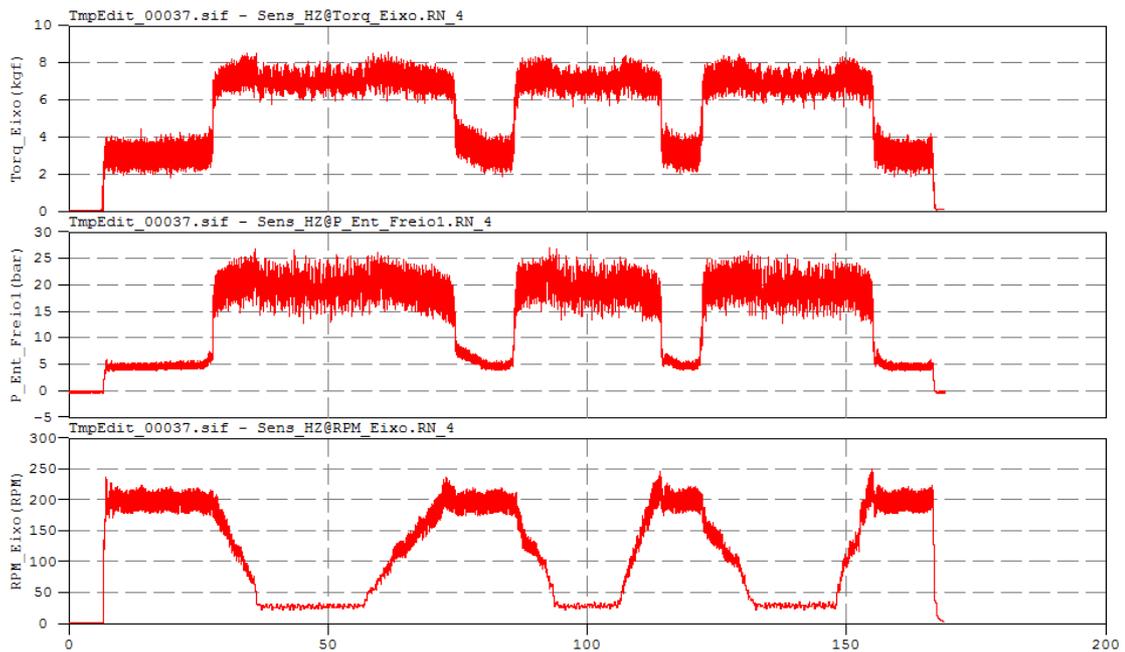
A partir daí o torque na bancada pode ser regulado e controlado a partir da regulagem da pressão hidráulica do sistema. E com o aumento da pressão ocorre o aumento do torque, Fig 19.

Figura 19 - Torque gerado pelo aplicador (Kgf) X pressão hidráulica do sistema do freio



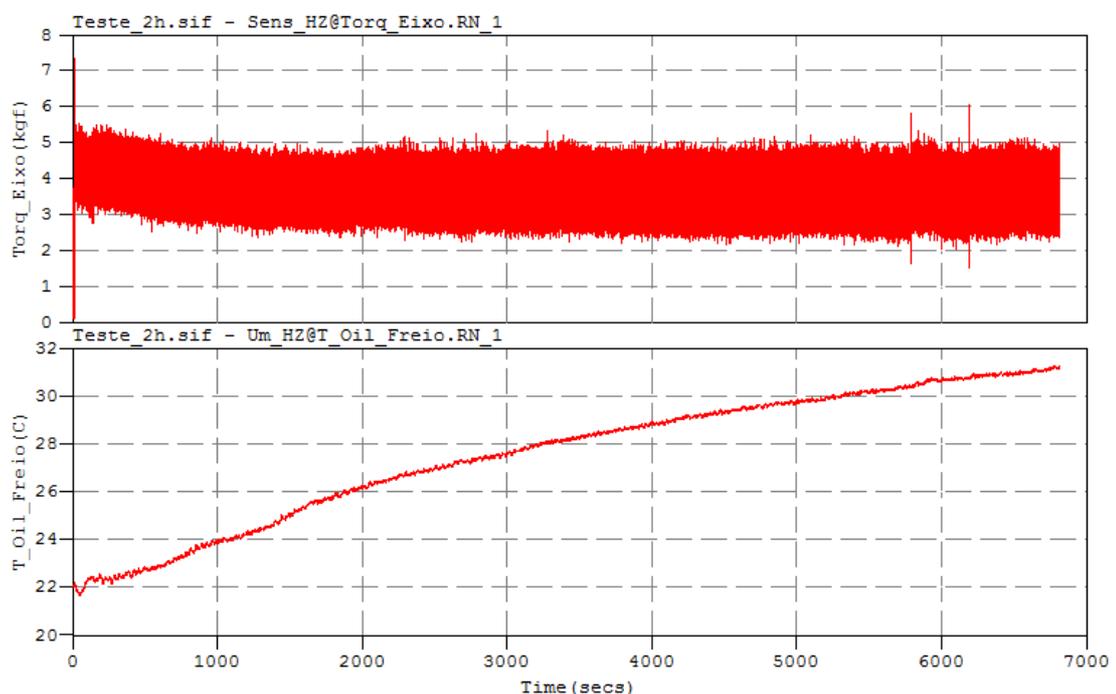
Para exemplificar o desempenho a Figura 20 demonstra os gráficos de torque no eixo, pressão hidráulica do sistema, e RPM do eixo, respectivamente. Pode-se observar que no momento em que aumenta a pressão hidráulica, também ocorre o aumento do torque no eixo, e esse torque faz com que diminua a RPM do eixo e do sistema motriz da bancada.

Figura 20 - Influência da pressão hidráulica do sistema no torque e no RPM do eixo



Na análise da temperatura do óleo hidráulico a bancada foi ligada por um tempo de aproximadamente duas horas mantendo-se o nível máximo de torque para o teste. Percebe-se na Figura 21, que a temperatura se elevou até 31 °C, sendo este um valor dentro do aceitável para um circuito hidráulico. Também foi possível perceber que com o aumento da temperatura o torque não teve alteração significativa, mantendo-se dentro da faixa estabelecida.

Figura 21 - Torque no eixo e temperatura do óleo hidráulico da bancada



5 CONCLUSÕES

O embasamento teórico obtido através da pesquisa bibliográfica tornou possível a busca de informações sobre os componentes a serem utilizados na construção do freio para aplicação de torque. Conseguiu-se otimizar itens disponíveis na empresa e arranjá-los no protótipo de modo a pôr em prática a instalação do sistema. As aquisições de dados na bancada foram realizadas com êxito, através do mesmo sistema de instrumentação que havia sido utilizado em campo. Os dados obtidos puderam ser analisados e estudados para a verificação do aplicador de torque.

Quanto à investigação dos níveis de torque na plantadeira durante o plantio, pode-se afirmar que o sistema de instrumentação instalado na plantadeira foi capaz de fornecer dados precisos do comportamento do sistema. Após ter os dados coletados, foi possível a visualização dos mesmos para que pudessem ser realizadas as análises. O torque médio encontrado em campo durante o plantio, nas condições mais severas, foi de 3,7Kgf. Estes dados coletados foram de fundamental importância para o desenvolvimento do aplicador de torque e para a condução dos testes em bancada.

Quanto a eficiência do sistema de freio hidráulico, foi comprovado que atende as necessidades para reproduzir o torque na bancada durante os testes de performance e durabilidade. O sistema permitiu ser ajustado e controlado, de forma precisa e sem oscilações. A temperatura do óleo hidráulico manteve-se dentro da faixa admitida para os componentes hidráulicos utilizados.

Em termos gerais, o trabalho desenvolvido atendeu todos os objetivos propostos no início do trabalho, onde se conceituou torque, instrumentação, e sistema hidráulico. Criou-se uma metodologia para o desenvolvimento do estudo, onde procedeu-se a investigação do torque submetido no eixo dosador de adubo da plantadeira, e posteriormente este torque foi reproduzido em bancada para otimizar tempo, espaço, e recursos. A partir daí, este aplicador de torque surge como alternativa para demais testes que venham necessitar de torque aplicado sobre eixos e componentes de sistemas de transmissão de máquinas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUNETTI, FRANCO. **Mecânica dos Fluidos**—São Paulo . Editora: Prentice Hall, 2005

BRUNO, RAFAEL. **Dimensionamento, Bombas, Motores Hidráulicos e Tubulações**. 2013. Disponível em: < <http://pt.scribd.com/doc/133856553/Microsoft-PowerPoint-Dimensionando-Bombas-Motores-Hidr-341ulicos-e-Tubula-347-365es>>. Acesso em: 20 abr 2013

EATON. **Eaton Powering Business Worldwide**. Disponível em: < <http://www.eaton.com.br/EatonBR/ProductsSolutions/Vehicle/ProductsServices/Cat%C3%A1logoelet%C3%B4nico/index.htm> >. Acesso em 10 nov 2013.

FERREIRA, D. M. B. **Noções de hidráulica**. Cefet – ES. Disponível em: < <ftp://ftp.cefetes.br/cursos/Mecanica/Dario%20-%20IEE7/Apostila%20de%20No%E7%F5es%20de%20Hidr%E1ulica.pdf> > Acesso em 15 de abril 2013.

FESTO. **Hidráulica industrial**. 2001. Festo Didactic- Brasil. São Paulo, 2001.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Instrumentação Industrial: Conceitos, Aplicações e Análises**. São Paulo: Érica, 2002.

GEFRAN. **Produtos – Sensores de Pressão**. Disponível em: < [http://www.gefran.com/pt/br/product_categories/11-sensores-de-pressao\(rc1\)?selected_menu=produtos](http://www.gefran.com/pt/br/product_categories/11-sensores-de-pressao(rc1)?selected_menu=produtos) >. Acesso em: 09 nov 2013.

GIL A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo. Editora Atlas S. A., 2002

GILES, R. V.; EVETT, J.B.; LIU, C. **Mecânica de Fluidos e Hidráulica**. 2 edição. 1997. Editora Afiliada.

GOMES, M. R; ANDRADE. M; FERRAZ. F. **Apostila de Hidráulica**. 2008. CEFET-BA – Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia. Santo Amaro. 2008.

HBM. **HBM Products**. Disponível em: < http://www.hbm.com/en/?geoip_cn=2 >. Acesso em 09 nov 2013.

HOFFMANN, Karl. **An Introduction to Measurement Using Strain Gages**. Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtenchnik, 1989.

JUNIOR, G. B. **Hidráulica**. Sandretto do Brasil. Disponível em: < <http://www.sandretto.com.br/site/estudos/ApostilaBasicadeHidraulica.pdf>>. Acesso em: 10 mar 2013.

LINSINGEN, Irlan Von. **Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**. 2. ed. revisada – Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003.

OLIVEIRA, S.L. **Torção**. Faculdade Pio Décimo. Disponível em: < http://linux.alfamaweb.com.br/sgw/downloads/38_104254_Torca-Notasdeaula.pdf>. Acesso em: 18 mar 2013.

PALMIERI, A.C. **Manual de Hidráulica Básica**. Albarus Sistemas Hidráulicos LTDA. Porto Alegre, 1994.

RODRIGUES, L. E. M. J. **Resistência dos Materiais**. Instituição Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. 2006. Disponível em: < <http://www.engbrasil.eng.br/pp/res/aula6.pdf>>. Acesso em: 30 mar 2013.

VISHAY – **Vishay Precision Group**. Disponível em: < <http://www.vishaypg.com/micro-measurements/>>. Acesso em: 09 nov 2013.