

**FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE ITUVERAVA
FACULDADE DE FILOSOFIA CIÊNCIAS E LETRAS**

**Geison Silva Pietrini
Regivan Dutra Miranda**

**MODIFICAÇÃO E APLICAÇÃO DE BLINDAGEM NO
MANCAL DE UM SISTEMA MECÂNICO**

**ITUVERAVA
2018**

**GEISON SILVA PIETRINI
REGIVAN DUTRA MIRANDA**

**MODIFICAÇÃO E APLICAÇÃO DE BLINDAGEM NO
MANCAL DE UM SISTEMA MECÂNICO**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Filosofia Ciências e Letras.
Fundação Educacional de Ituverava para
obtenção de Bacharel em Engenharia Mecânica.**

**Orientador: Prof.^a Dr.^a Maria Madalena
Gracioli**

**ITUVERAVA
2018**

**GEISON SILVA PIETRINI
REGIVAN DUTRA MIRANDA**

**MODIFICAÇÃO E APLICAÇÃO DE BLINDAGEM NO
MANCAL DE UM SISTEMA MECÂNICO**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Filosofia Ciências e Letras.
Fundação Educacional de Ituverava para
obtenção de Bacharel em Engenharia Mecânica.**

Ituverava, _____ de _____ 2018

**Orientadora: _____
Prof.Dr. Raul Sebastião Figueiredo**

**Examinadora: _____
Prof.Me. Rodrigo Ricardo**

**Examinadora: _____
Prof.Me. Ciro Sérgio Abe**

DEDICATÓRIA

Dedico em primeiro lugar ao Autor da Existência, aquele que permite que todas as coisas se concretizem, nosso único e verdadeiro Deus altíssimo, a todos os que sempre me apoiaram em especial aos meus pais Air Pietrini e Sandreli Gonçalves da Silva e demais familiares, à minha namorada Gabriele de Brito Prata, ao professor Raul Sebastião, ao meu amigo em especial Regivan, aos companheiros que contribuíram direta ou indiretamente neste trabalho, em especial aos amigos da primeira turma do curso de Engenharia Mecânica. É sempre bom aplicar um pouco dos conhecimentos adquiridos na construção de uma sociedade melhor, que zela os reais valores.

GEISON

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a Deus que nos deu sabedoria e forças, aos meus pais Reginaldo e Vilma, que sempre me apoiaram, a minha esposa Ana Julia, que estava sempre ao meu lado, meus irmãos Bruno e Vivian, meu amigo em especial Geison, aos meus professores em especial meu orientador Raul, que contribuíram diariamente com seu conhecimento para que concluísse minha jornada acadêmica. Sem vocês essa conquista seria impossível, gratidão eterna a todos.

REGIVAN

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou, sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

Máquinas e motores são sistemas mecânicos que possuem diversos mecanismos e componentes que necessitam suportar grandes esforços, altas temperaturas devido o atrito e condições de trabalho insalubres. O presente trabalho trata de um componente que é utilizado em condições extremas de esforços e insalubre, neste caso mancais de rolamento são constituídos de um anel e entre esse é colocado elementos rolantes, tais como, rolamentos de esferas, agulhas ou roletes. Esta configuração permite um melhor desempenho do sistema dinâmico que exige maior velocidade de trabalho e menor atrito. O desenvolvimento de um mancal de rolamento que possibilite uma maior produtividade do equipamento que o utilize, como item de fixação ou apoio e que o mancal realize trabalho em lugares contendo contaminação por poeira, terra ou quaisquer impurezas que possam interferir no seu desempenho. De uma maneira geral o mancal tem uma vasta utilização, pois é fixado juntamente com os rolamentos, que praticamente é utilizado na maioria dos eixos que exige uma rotação. Neste caso, foram utilizados como testes o mancal de Colhedoras de Cana-de-açúcar, e o sistema escolhido foi do rolo transportador de bagaço de cana, onde se tem vários mancais e um deles tem sua vida útil afetada por conta da maior exposição as impurezas. O mancal blindado foi modificado utilizando peças que seriam descartadas de um dos motores hidráulicos danificado e não mais seria utilizado. Neste caso o mancal blindado pode ser utilizado em diversos equipamentos que o necessitam, garantindo o aumento da vida útil do mecanismo e diminuindo assim o tempo de manutenção de máquinas que utilizam o mancal.

Palavras-chave: Mancal

SUMMARY

Machines and mechanisms are mechanical systems that have mechanisms and facilities that help in the expansion, high temperatures and unhealthy working conditions. The present work deals with a component that is used in extreme conditions of effort and insalubrity, in this case the ball bearings are constituted by a ring and among the elements of low weight, such as ball bearings, needles or rollers. What is most important for the job requires higher work speed and less friction. Developing an execution manual that enables greater productivity of equipment than the use of a support or labor support item may result in contamination from dust, dirt or any impurities that may interfere with its performance. In general the bearing has a long use since it is compatible with the bearings, which are used in most methods that require a rotation. Sugarcane Stain Testing, your cane bagasse picking system, your mangoes and your lives can be more easily affected by a greater exposure as impurity. The shielded bearing was modified using features that were discarded from one of the damaged hydraulics and would no longer be used. This case the managed blind should be used in the equipment that the longer, guaranteed the increase of the engine life and diminishing the maintenance time of use the bearing.

Keywords: Bearing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mancal original acoplado na máquina.....	19
Figura 2. Mancal original vista lateral esquerda explodida.....	20
Figura 3. Mancal vista lateral direita, explodida.....	20
Figura 4. Local que os mancais são utilizado.....	21
Figura 5. Bomba hidráulica modelo Char-lynn Disc Valve.....	22
Figura 6. Bomba e mancal sem blindagem	22
Figura 7. Mancal sem blindagem.....	23
Figura 8. Mancal com as modificações feitas, vista explodida	24
Figura 9. Mancal blindado finalizado	24
Figura 10. Motor Char-lynn explodid	26
Figura 11. Peças reaproveitadas para montagem do mancal.....	28
Figura 12. Tampa e visor de óleo	29
Figura 13. Visor de óleo.....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVO DO TRABALHO.....	18
3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	19
3.1 O Mancal	19
3.2 Funcionamento do Sistema	21
3.3 Problemática	23
3.4 Mancal Modificado.....	23
4 MATERIAL E MÉTODO	26
4.1 Montagem.....	30
4.2 Lubrificação	30
5 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	31
CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

A análise do comportamento dinâmico das máquinas agrícolas é um tema de muito interesse nos dias de hoje, sendo muito discutido pelas faculdades de engenharias. A apresentação da eficiência, confiabilidade, precisão e operação em condições mais severas e variáveis devem ser consideradas e estudadas para uma adequação nas melhorias.

Nesse trabalho será abordada uma análise sobre o funcionamento de um mancal comum modificando-o para aumentar a quantidade de horas trabalhadas.

Isso implica em desafios tecnológicos e a adoção de novas filosofias e técnicas de projetos em diversas áreas, como materiais, fabricação e instrumentação de controle, de modo a proporcionar melhorias significativas das características de desempenho dos motores das máquinas agrícolas que são utilizados pelas empresas de açúcar e álcool. Para um melhor dimensionamento dos componentes de motores, estes necessitam de um acompanhamento na possibilidade de lubrificação. Sistemas dependentes da oferta de óleo lubrificantes são necessários estudos, sendo que a pressão e as forças atuantes nos mancais de deslizamento precisam ser conhecidas. Além disso, as características dinâmicas dos diferentes tipos de componentes devem ser estudadas, pois, o filme de fluido lubrificante, afeta sensivelmente o comportamento do sistema. Um melhor dimensionamento de componentes tem sido exigido pela tendência atual de projetos de motores de combustão interna cada vez maiores. O desafio é suportar as altas velocidades e cargas cada vez mais flexíveis, gerando condições dinâmicas mais severas, e por outro lado as dimensões dos componentes cada vez mais perfeitas.

O óleo lubrificante em motores à combustão interna é distribuído por diversas partes do mesmo utilizando uma bomba. Assim, os mancais hidrodinâmicos dos motores de combustão interna possuem um orifício para que sejam lubrificados e deste modo, preencher a folga radial do mancal formando uma fina camada de fluido lubrificante. Este lubrificante tem a função de separar duas superfícies diminuindo o atrito e aumentando a vida útil do sistema contra o desgaste. A lubrificação com filme de fluido é um dos inúmeros regimes de lubrificação existentes (HAMROCKET al., 2004). Destaca-se pela eliminação do contato entre componentes mecânicos através de uma fina película de fluido lubrificante que tem como vantagens a redução do atrito, desgaste e aquecimento e como consequência o aumento da vida útil dos componentes e do amortecimento nos suportes do rotor. O comportamento do contato entre superfícies separadas por um filme de fluido e governada pelas características de escoamento do fluido lubrificante e por suas propriedades físicas.

Existem basicamente dois mecanismos de lubrificação com filme de óleo em mancais de deslizamento, a hidrodinâmica e a hidrostática, sendo que o mais conhecido é a lubrificação hidrodinâmica ou auto atuante, que será abordado nesse trabalho. Os mancais hidrodinâmicos têm como característica suportar grandes forças e alta pressão que através do movimento radial entre as superfícies do mancal e do rotor. Assim, a capacidade de carga depende da velocidade angular do rotor. Quando as cargas são relativamente elevadas e/ou as velocidades entre o mancal e o rotor são baixas, não há eliminação total do contato entre as superfícies, diminuindo o efeito lubrificante, entretanto, se a lubrificação total com filme de fluido é desejada mesmo sob estas condições, é necessário o emprego de um mecanismo de lubrificação chamado lubrificação hidrostática ou externamente pressurizada.

Em mancais hidrostáticos a carga é suportada pela pressão do fluido injetado, o qual o fluido escoar sob pressão em rebaxos, poros ou canais no mancal facilitando a formação do filme entre as superfícies de contato do rotor e mancal. Um terceiro mecanismo de lubrificação é quando as duas formas de lubrificação, a hidrodinâmica e a hidrostática atuam simultaneamente em um mancal de deslizamento, sendo chamada de lubrificação híbrida ou mista. Diversos autores referem-se aos mancais hidrostáticos que atuam em rotações elevadas como mancais híbridos, uma vez que nas regiões planas ou nos ressaltos do mancal ocorre a lubrificação hidrodinâmica e a lubrificação hidrostática.

Mancais hidrodinâmicos, hidrostáticos e híbridos podem ser classificados de acordo com a direção da carga, como radial ou axial, ou de acordo com a construção, podendo ser planos, circulares, cilíndricos, cilíndricos parciais ou esféricos e ainda suas superfícies podem ser segmentadas, com ranhuras, pivotadas ou porosas (SOMEYA, 1988). Dentre estas configurações os mancais hidrodinâmicos têm recebido muita atenção em diversas aplicações, principalmente nas indústrias automobilísticas e agrícolas devido as exigências de serem cada vez mais leves e compactos; no entanto, as pressões de combustão e as cargas aplicadas tem aumentado, sendo necessário os estudos nos mancais. A teoria dos mancais radiais se torna complexa devido a não uniformidade da espessura do filme de fluido quando o eixo é deslocado ou inclinado pelo carregamento ou por desalinhamentos, apesar da simplicidade da geometria cilíndrica, e ainda o regime de lubrificação pode sair do laminar para o turbulento.

A influência dos tipos dos mancais no desempenho dos sistemas mancais-rotor vem sendo estudada por muitos anos. Segundo Watanabe (Watanabe, 2003) uma das primeiras tentativas de modelar mancais radiais foi relatada pela investigação do efeito da rigidez do filme de fluido lubrificante na rotação crítica de um eixo suportado em mancais hidrodinâmicos radiais (STODOLA, 1925). Posteriormente, realizaram-se trabalhos de modelagem e linearização de

mancais e como estes afetavam no comportamento dinâmico de um rotor (HAGG E SANKEY, 1956; STERNLICHT, 1959). Pinkus (1987) relatou que o mecanismo da lubrificação hidrodinâmica foi formulado na década de 1880 por três cientistas, um russo, N. P. Petrov (1836-1892), e dois britânicos, B. Tower (1845-1904) e O. Reynolds (1842-1912). Eles tinham em comum o conhecimento do processo de lubrificação como sendo devido não a interação mecânica de duas superfícies sólidas, mas a dinâmica de um filme de fluido separando as mesmas. No período de 1883-1886, seus fundamentos experimentais e teóricos foram firmemente estabelecidos. Em aplicações modernas, os mancais hidrodinâmicos são projetados de acordo com o limite de trabalho e com a necessidade de rotação. As condições de alimentação (pressão, temperatura de alimentação, dimensão dos canais ou furos de lubrificação e sua localização) influenciam na taxa de fluxo do fluido lubrificante, como consequência, a viscosidade do óleo e a capacidade de carga do mancal são afetadas. Segundo Booker (1985) as primeiras publicações de aplicação do Método de Elementos Finitos (MEF) explicitamente para mancais surgiram na década de 1960, fornecendo bases para a formulação variacional de elementos finitos (HAYS, 1959; Tao, 1964). Mais tarde o método foi aplicado para problemas de lubrificação incompressível. Concluiu-se que o MEF permite condições de contorno de fluxo e efeitos de esmagamento do filme, e a exatidão pode ser melhorada alterando o tamanho da malha (REDDI, 1969).

Uma formulação variacional incremental e direta foi apresentada para o estado estático da equação de Reynolds em problemas de lubrificação compressível. Constatou-se que a aplicação do MEF para a resolução de problemas de lubrificação estático é consistente e flexível (REDDI E CHU, 1970). Obteve-se também sucesso na aplicação do método para análise de problemas de lubrificação de mancais elásticos, através de uma aproximação por Galerkin e melhorando a convergência da solução (TAYLOR E O'CALLAGHAN, 1972). Uma metodologia similar foi apresentada em (OH E HUEBNER, 1973), assumindo constante a propriedade do lubrificante e material do mancal linearmente elástico. O MEF foi aplicado para estudar os efeitos da distorção elástica no desempenho dos mancais; os melhores resultados foram obtidos em baixas excentricidades e pequenas deformações elásticas. O método mostrou-se eficiente também na solução de problemas como a pressurização externa, cisalhamento e esmagamento do filme, forças de corpo, etc. Foi concluído que o MEF pode ser considerado uma ferramenta de análise numérica poderosa (BOOKER E HUEBNER, 1972).

Análises dinâmicas para verificação do esmagamento do filme foram estudados em mancais elásticos com lubrificação hidrodinâmica e obteve-se uma solução completa para o problema de transiente de tempo (ROHDE et al., 1976).

Posteriormente, Rohde (1979) apresentou um trabalho semelhante incluindo os efeitos de viscoelasticidade e carga flutuante. Goenka (1984) empregou uma formulação do MEF para solucionar mancais radiais carregados dinamicamente. Obteve-se uma análise computacional eficiente, ilustrando também a versatilidade do método em análises dependentes do tempo, e em diversas configurações de mancais. Oh (1984) também empregou o MEF e desenvolveu um trabalho para analisar efeitos de contato em mancais elaste hidrodinâmicos (EHD) carregados dinamicamente.

Trabalhando juntos Oh e Goenka (1985) empregaram o algoritmo de Newton-Raphson em conjunto com o algoritmo de Murty e o MEF para analisar o efeito da lubrificação elasto hidrodinâmica em mancais radiais de biela com carregamento dinâmico, gerando-se a pressão e a espessura do filme de fluido lubrificante em função do tempo. Embora o método seja robusto e de custo computacional elevado, pode-se utilizar o mesmo para solucionar problemas reais de mancais de motores. Posteriormente, uma redução significativa do tempo computacional foi alcançada novamente por Oh e Goenka (1986), utilizando-se a teoria de mancal curto e assumindo uma distribuição de pressão parabólica na direção axial. Embora reduzindo significativo o tempo computacional, observaram-se diferenças com a análise anterior, especialmente para prever a espessura do filme.

O trabalho de LaBouff e Booker (1985) mostrou um procedimento computacional baseado no MEF aplicado à mancais radiais com escorregamento dinâmico em superfícies rígidas ou flexíveis. Nos exemplos numéricos apresentados, os efeitos da elasticidade na espessura mínima do filme e na região de máxima pressão mostraram ser substanciais, dependendo da aplicação da carga. A técnica de elementos finitos empregada foi a mesma apresentada no trabalho de Booker e Huebner (1972). Posteriormente foi apresentado o método de Newton-Raphson na análise do comportamento de um mancal hidrodinâmico de biela carregado dinamicamente (MCLVOR E FENNER, 1989). Utilizaram-se elementos de alta ordem para modelar o filme de óleo e o mancal. O efeito combinado resultou em um tempo computacional reduzido, e ainda pode-se utilizar em análises mais completas de motores.

Um modelo semelhante ao de Goenka (1984) e LaBouff e Booker foi empregado por Kumar e Booker (1991). A diferença neste trabalho foi a importância na conservação da massa para análises da cavitação do filme de fluido lubrificante. Exemplos numéricos mostraram eficiência em diversas aplicações do modelo para problemas dinâmicos. Posteriormente, um trabalho para analisar o comportamento dinâmico de dois mancais elásticos de biela foi apresentado (BONNEAU et al., 1995), incluindo os efeitos de inércia e o modelo de conservação da massa. As forças de inércia devido à cinemática da estrutura e o efeito da pressão

hidrodinâmica nas deformações elásticas do mancal também foram consideradas. Foi empregado o método de Newton-Raphson com o algoritmo de Murty e uma discretização em elementos finitos.

Os resultados mostraram a necessidade de considerar as deformações elásticas tridimensionais e que o algoritmo pode ser aplicado em uma grande diversidade de geometrias e problemas dinâmicos. Pode-se adicionar um modelo de conservação de fluxo permitindo que os projetos de motores sejam otimizados na geometria de contato da lubrificação e na posição dos canais de lubrificação. Em 1997, foi apresentado um estudo mais avançado usando lubrificação hidrodinâmica (EHL) visando melhorar a eficiência dos mancais principais de motores (USHIJIMA et al., 1997). Descreveu-se um método para prever a quantidade do desgaste real em mancais de motores baseado em resultados de análises numéricas, levando em conta a pressão, a viscosidade do lubrificante e a deformação elástica da capa do mancal. O método fornece a forma de desgaste como um dado de entrada para análises em EHL.

Os resultados mostram que ocorrem variações no desempenho dos mancais devido ao desgaste e possibilitam examinar a durabilidade dos mancais sob condições próximas dos reais. Nos últimos anos, os mancais de motores de combustão interna têm recebido muita atenção. Estudos para mostrar o seu comportamento dinâmico, análises térmicas e elásticas, dentre outras, tem sido conduzida devido as severas condições de operação. Boneau e Grente (1999) apresentaram uma formulação para analisar e otimizar os mancais elasto-hidrodinâmicos principais de um motor automotivo de quatro cilindros. Consideram-se deformações elásticas nos mancais e no virabrequim em conjunto com o campo de pressão e o balanço das cargas cinéticas do sistema.

Foi utilizados o MEF para a resolução da equação de Reynolds e o método de Newton-Raphson para análise numérica. Os resultados mostraram que a nova geração de motores de pequeno porte com blocos de alumínio sofreu maiores deformações.

Cho, Han e Choi (1999) estudaram o efeito térmico na espessura do filme de óleo em mancal de biela de motores de combustão interna, comparando-se resultados teóricos e experimentais. Nas análises em processos adiabáticos e isotérmicos, concluiu-se que a viscosidade é um fator importante para os efeitos de variação da curva da espessura mínima do filme. Observaram-se algumas diferenças entre a teoria e o experimento na tendência total de sua curva, mas uma diferença mínima sobre o ciclo completo do motor. Análises termo hidrodinâmica em mancal de biela também foram apresentadas por Kim e Kim (2001), incluindo distorção térmica e deformações elásticas na superfície do mancal. Os resultados mostraram que

o nível de distorção térmica e tão grande quanto a deformação elástica do mancal, e que a distorção térmica tem efeitos notáveis no desempenho do mancal.

Um modelo para análise estrutural dinâmica de virabrequim acoplado com a presença da lubrificação hidrodinâmica nos mancais principais e um bloco de motor rígido, foi apresentado por Mourelatos (2001) para motores de ignição interna. Utilizou-se o MEF na análise estrutural do virabrequim e para a solução da equação de Reynolds para os mancais hidrodinâmicos. O modelo foi comparado com resultados experimentais e seus resultados mostraram capacidade e importância no projeto de virabrequim de motores. Zheng-Dong e Perkins em 2002 apresentaram uma modelagem de motor para otimizar projetos de sistemas.

O modelo emprega uma formulação envolvendo a dinâmica de múltiplos corpos com um número mínimo de equações de movimento para representar a dinâmica e vibração de motor. Para este caso, o modelo apresentou uma grande eficiência computacional. Utilizou-se um motor com seis cilindros em linha e um virabrequim rígido e empregou-se a equação de Reynolds para a resolução de diferentes tipos de mancais. O modelo foi comparado com estudos experimentais. A exigência de uma maior eficiência dos motores faz que o projeto dos virabrequins seja mais difícil. Makino e Koga (2002) mostraram um estudo da teoria da lubrificação elastohidrodinâmica em aplicações 3D para mancais de virabrequim para motores diesel de 4 tempos. Utilizou-se o método de Newton-Raphson para a resolução das equações não lineares e o MEF para análise numérica. Estudos em mancais de biela foram apresentados para otimizar formas de mancais de biela (SATO et al., 2002).

O objetivo do trabalho foi desenvolver um sensor com alta precisão para medir a distribuição de pressão no filme de óleo em mancais de bielas de veículos de passeio. Para analisar os resultados, utilizaram-se mancais rígidos e EHD nas mesmas condições. Foi concluído que o sensor mede diretamente a distribuição de pressão em motores a gasolina e constatou-se diferenças na pressão do filme de óleo para mancais de biela rígidos. Os mesmos resultados foram obtidos através de simulação computacional e técnicas experimentais para EHD, confirmando sua validação. Uma característica especial deste sensor é que ele permite medir múltiplos pontos na direção da largura do mancal, permitindo fazer estudos em terceira dimensão.

No mesmo ano de 2002, Stefani e Rebora (2002) desenvolveram um modelo melhorado do MEF para simular comportamentos de mancais EHD de biela. Para o estudo considerou-se um motor diesel marítimo sobre o processo da carga de combustão e cargas de inércia utilizando o método de Newton-Raphson juntamente com o algoritmo de Murty na resolução. Para a validação do programa foi utilizado um modelo estrutural muito semelhante ao de McIvor e

Fenner (1989), e obteve-se uma boa concordância nos resultados. Em 2003, foi apresentado um modelo para otimização estrutural de virabrequins utilizados em motores diesel de alta potência (Mendes et al., 2003). Utilizou-se um motor de quatro cilindros de quatro tempos, considerando cargas derivadas da força de explosão, de inércia do sistema e vibração torcional, mas desprezou-se os efeitos dos mancais hidrodinâmicos.

Foi apresentado um modelo dinâmico do mecanismo pistão-biela manivela calculados como um sistema integrado através das relações entre ângulos motor e movido e a segunda lei de Newton para obtenção das forças resultantes.

Um modelo de elementos finitos foi aplicado na análise do virabrequim considerando o bloco e os mancais principais como corpos rígidos. Os resultados mostraram que o virabrequim não apresentou problemas estruturais durante a operação e a otimização da pressão de combustão, ou seja, uma queima completa imediata gera uma amplitude de vibração baixa. Ma e Perkins (2003) apresentaram equações de movimentos para motores de combustão interna, considerando bloco do motor, pistão e biela como corpos rígidos e virabrequim e mancais principais flexíveis. Utilizaram-se diversos tipos de mancais hidrodinâmicos e motores com quatro cilindros em linha e seis cilindros em V. Os modelos de mancais hidrodinâmicos foram resolvidos através da integração da equação de Reynolds, teoria de mancais curtos, obtendo as componentes das forças.

Os resultados servem de suporte ao projeto de motores, permitindo também análises de ruídos e vibrações ao mesmo tempo, chegando-se a um melhor desempenho e eficiência. Análise de lubrificação em mancais de biela, rígido ou EHD, para motores de alta rotação foi desenvolvida levando em consideração as forças de inércia e a quantidade de força no pino do pistão, que são fatores importantes nas características de lubrificação do mancal de biela em um motor com alta rotação (WANG et al., 2004). A resolução da equação de Reynolds foi feita pelo Método das Diferenças Finitas. Baseado nos resultados numéricos, mostrou-se que a mínima espessura do filme é menor no mancal EHD do que no mancal rígido, a pressão máxima hidrodinâmica é maior no mancal EHD do que no mancal rígido e os efeitos da força de inércia e da pré- carga não podem ser desprezados em altas rotações.

2 OBJETIVO DO TRABALHO

Tendo em vista a limitada vida útil do mancal acoplado nas colheitadeiras John Deree (3520 ano 2016), com durabilidade de 800 horas trabalhadas, este trabalho propõe a blindagem do mancal favorecendo a vida útil do mecanismo, evitando materiais que envolvam internamente no mancal, sendo o principal causador de uma vida útil curta, com a blindagem também irá realizar a inserção de fluído lubrificante atacando diretamente a lubrificação e refrigeração do mancal a ser modificado.

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.1 O Mancal

Os mancais são componentes de uma máquina que servem para apoiar os eixos e transmitir movimentos radiais de um ponto a outro. Normalmente são compostos por uma estrutura de ferro fundido e bipartida (base- tampa). O mancal a ser modificado (figuras 01, 02, 03) é composto por uma base ou suporte que recebe um rolamento onde é acoplado num eixo do rolo que transporta a cana para sua linha industrial da colhedora.

Figura 1 – Mancal original acoplado na máquina



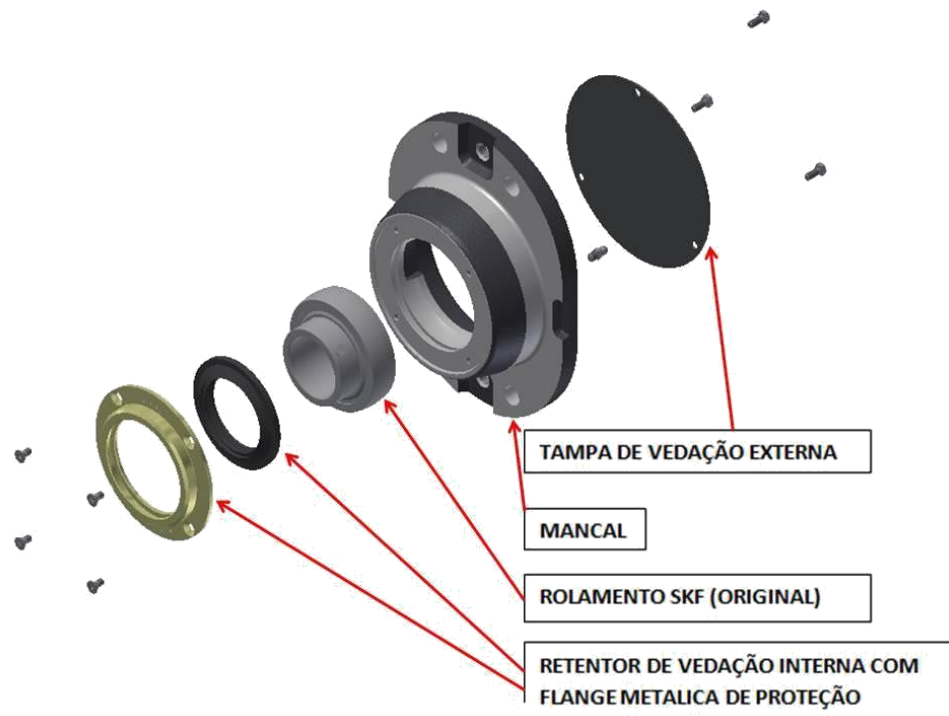
Mancal sem modificação acoplada na colhedora Jonh Deere, executando sua atividade, podendo assim visualizar o contato que a peça tem com impurezas, conforme citado, afetando diretamente sua vida útil.

Figura 2 - Mancal original vista lateral esquerda explodida



Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Figura 3 - Mancal vista lateral direita, explodida



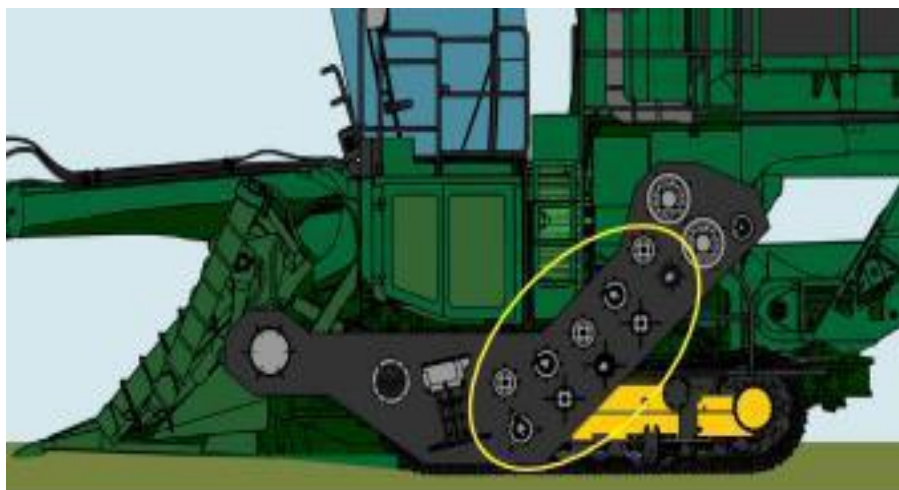
Fonte: elaborado pelo autor (2018)

3.2 Funcionamento do Sistema

Com a modernização das lavouras de cana de açúcar, máquinas pesadas são alternativas para garantir a produtividade da alta demanda de açúcar e etanol. Uma máquina muito presente nas lavouras de cana são as colhedoras John Deere 3520, que possui um sistema de rolos transportadores, contendo os mancais a ser estudado.

Na parte interna mais conhecida como “garganta da máquina” contém dez rolos, sendo cinco superiores e cinco inferiores que; coletam a cana que foi cortada e transporta toda essa matéria prima até os rolos picadores para posterior serem estocados e descarregados nos caminhões. A figura 4 apresenta de forma ilustrativa o local que os mancais são utilizados na colheitadeira (círculo amarelo) permitindo uma visão da exposição desses mancais em meios abrasivos.

Figura 4 - Local que os mancais são utilizados

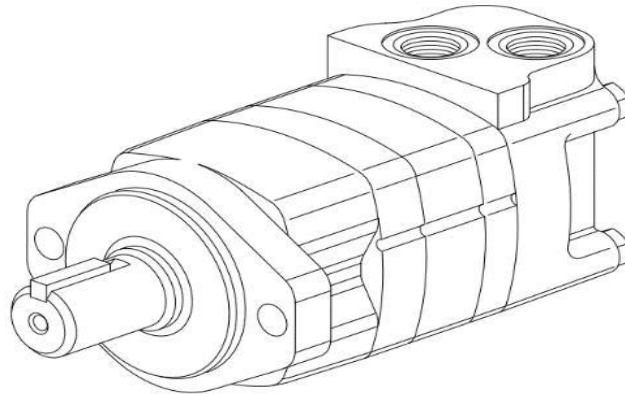


Fonte: Manual John Deere, Rolos alimentadores (2015)

Trabalhando de forma sistêmica e conjunta os mancais neste caso não podem falhar, pois, quando alguma falha ocorre, sobrecarrega e danifica todos os outros, como efeito cascata, aumenta assim o tempo de manutenção da colhedora.

Esses rolos funcionam por motores hidráulicos modelo Char-lynn Disc Valve, que são acionados por uma bomba de engrenagens de um lado e na outra extremidade do rolo um mancal de rolamento é apoiado. O motor hidráulico converte energia hidráulica em energia mecânica, através de um eixo rotativo. Ele utiliza a pressão hidráulica e fluxo para gerar torção e rotação, na ilustração abaixo retrata um motor hidráulico utilizado no sistema.

Figura 5 - Bomba hidráulica modelo Char-lynn Disc Valve



Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Bomba que transforma a energia mecânica em hidráulica, pode ser chamada de bomba de pistão, engrenagens, palheta, entre outros. Todas têm a mesma função, movimentar o óleo para que ele seja capaz de movimentar peças. Dessa forma, o motor hidráulico é apenas mais um item que trabalha em conjunto com bombas, válvulas e comandos hidráulicos para tornar atividades industriais mais rápidas e precisas.

Dentre as aplicações possíveis, o motor hidráulico está presente em equipamentos como máquinas de siderúrgica, mineração, construção, automação industrial, colheitadeiras de cana e de outros implementos agrícolas, tratores, entre outros.

A figura 6 apresenta as extremidades que suportam todo sistema de transporte de cana já cortada, de um lado encontra-se a bomba e na outra extremidade o mancal, formando dois pontos de apoio dos rolos.

Figura 6 - Bomba e mancal sem blindagem



Fonte: SITE DE PESQUISA INTERNET (2018)

3.3 Problemática

O mancal original, (figura 7) contém um rolamento de esfera que é acoplado ao eixo do rolo dando sustentação, sua vida útil é determinada por uma manutenção diária que se baseia em monitoramento e lubrificação periódica, mas mesmo com essa manutenção, as muitas horas de trabalho, constantes, junto as partículas provindas do meio ao qual utilizado este tipo de máquina, contaminam o interior do rolamento ocasionando desgastes e quebra do mancal de forma precoce e conseqüentemente reduzindo a vida útil. Com estas falhas, a produção é prejudicada por conta do equipamento danificado, impossibilitando na manutenção corretiva, necessitando da substituição do rolamento do mancal.

Segundo o Controle de Custos de Manutenção (CCM) da Usina Colorado Guáira SP, as horas em média de duração desse item no equipamento está em torno de 800 horas de trabalho.

Figura 7- Mancal sem blindagem



Fonte: elaborado pelo autor (2018)

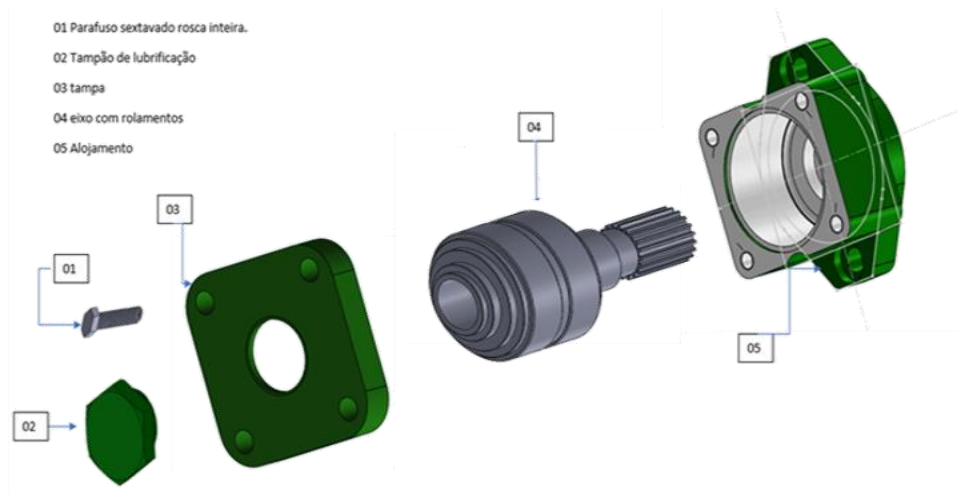
3.4 Mancal Modificado

O desempenho, durabilidade e confiança dos mancais de deslizamento podem ser melhorados sabendo das forças que atuarão nos componentes. A redução de vibrações e ruídos, e a diminuição de acesso de sujeira ao fluido lubrificante também tem se tornado altamente

importante para as indústrias automotivas e agrícolas. O enfoque deste trabalho está no desenvolvimento de um modelo dinâmico do sistema de mancais de rolamento.

Na figura apresentada abaixo mostra o mancal com vista explodida e já modificado para o aumento de horas trabalhadas influenciando no sistema de manutenção preventiva, desenho técnico realizado no Solidworks.

Figura 8 - Mancal com as modificações feitas, vista explodida



Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Na figura 9 mostra o mancal modificado já montado pronto para substituir o mancal danificado.

Figura 9 - Mancal blindado finalizado



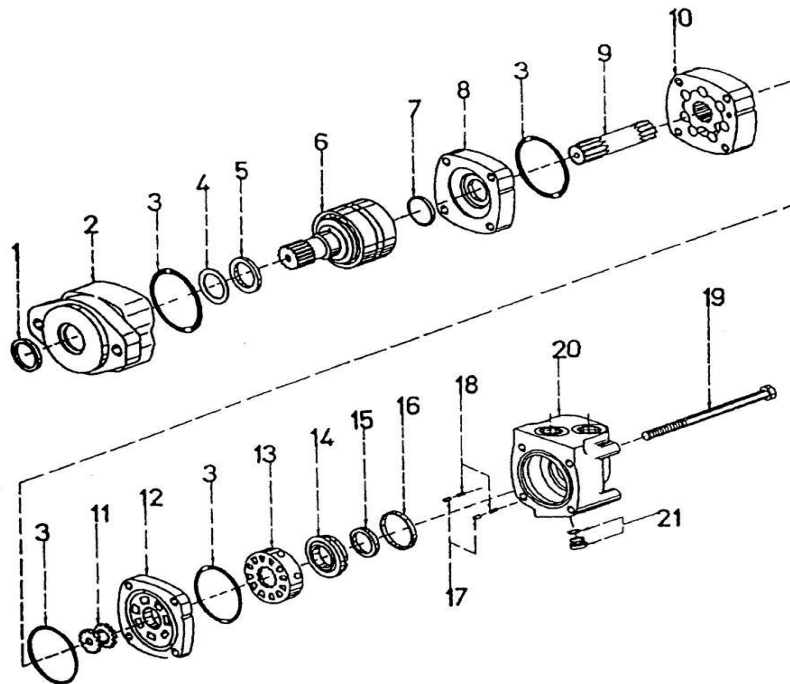
Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Mancal visto de maneira superior, já com a modificação para o melhor aproveitamento de horas trabalhadas, com essa adaptação é válido dizer que há menos contato com impurezas, tornando-o muito mais eficiente, pois reduzirá seu tempo de desgaste, semelhante ao que se descreveu anteriormente.

4 MATERIAL E MÉTODO

A ideia se deu durante uma revisão geral do equipamento (colhedora), onde são revisados todos seus componentes, elétrica, mecânica e estrutura. Durante a revisão da parte hidráulica, em especial os motores que atuam no funcionamento dos rolos alimentadores (ilustrado como são localizados os rolos no equipamento, figura 4 pag.20). Os motores ao terem partes de sua composição descartadas por desgastes foram reutilizadas para o projeto do mancal blindado. O motor em que foi reutilizado as peças foi um do tipo hidráulico, modelo Char-lynn Série 2000, onde será apresentado na figura 10:

Figura 10 - Motor Char-lynn explodido



Fonte: Manual de manutenção colhedora John Deere 3520 (2015)

Neste caso, enumeramos todas as peças, sendo elas:

- 1 - **Retentor de impurezas** – Este item é responsável por conter as impurezas que são submetidas ao contato direto no trabalho.
- 2 - **Alojamento do rolamento** – Tem a finalidade de receber os rolamentos
- 3 - **Anel de vedação** – Tem a finalidade de fazer a vedação entre os corpos montados do motor, das partes que serão encaixadas da carcaça.

4 - **Calço** – Tem sua usabilidade quando necessário para controlar a posição que o retentor do eixo fica para vedar, ele pode ser removido num segundo momento ou revisão do motor para alterar a região de trabalho do retentor já que este mesmo provocou desgaste no eixo onde pode ter ocasionado um vazamento.

5 - **Retentor** – Este retentor tem a função de vedar o óleo que é circulado dentro do motor para que não tenha fuga desse óleo no eixo.

6 - **Chaveta** – Esta chaveta tem a finalidade de travar o pinhão que por sua vez será acoplado no rolo transportador.

7 - **Rolamento e eixo** – Uma das partes mais importantes do motor, neste caso tem três peças sendo dois rolamentos e um eixo, esse rolamento será responsável por possibilitar a rotação que será efetuada pela bamba.

8 - **Selo** – Responsável por causar um amortecimento da placa de desgaste e o rolamento

9 - **Placa de desgaste** – Esta peça tem por finalidade receber a bomba e seu trabalho todos sobre ela, uma das peças que são substituídas com seu tempo de uso.

10 - **Anel de vedação** – Tem a finalidade de fazer a vedação entre os corpos montados do motor, das partes que serão encaixadas da carcaça.

11 - **Eixo** – Responsável por transmitir a rotação uma vez recebido do eixo primário para o eixo do rolamento.

12 - **Geroler ou Bomba** – Responsável por receber um óleo que uma vez foi direcionado e mover por compressão causando rotação, transferindo ao eixo primário.

13 - **Anel de vedação** – Tem a finalidade de fazer a vedação entre os corpos montados do motor, das partes que serão encaixadas da carcaça.

14 - **Placa válvula** – Esta placa tem como finalidade controlar o fluxo e direção do óleo uma vez recebido da linha de pressão do circuito.

15 - **Anel de vedação** – Tem a finalidade de fazer a vedação entre os corpos montados do motor, das partes que serão encaixadas da carcaça.

16 - **Válvula** – Válvula responsável por determinar qual sentido de rotação do motor, onde se deixar a esquerda do ponto de montagem o motor gira anti-horário e se deixado na linha de montagem ele gira sentido horário.

17 - **Base** – Responsável por dar firmeza a válvula anterior, e nela são encaixados dois reparos que se encaixam nas paredes do cabeçote do motor.

18 - **Selo** – Responsável por causar firmeza ao redor da válvula, ela é encaixada na parte externa da base.

19 - **Mola** – As molas são responsáveis por causar pressão nos pinos que por sua vez comprimem a base, dando uma firmeza em toda parte acima da válvula.

20 - **Válvula ou cabeçote** – Parte que finaliza a montagem do motor, nela são colocadas as conexões onde são vão receber e liberar o óleo do circuito hidráulico.

21 - **Parafuso** – Responsável por unir todas as partes do motor, também chamada na manutenção por “agulha do Char-lynn”.

22 - **Selo** – Selo interno da base, responsável por trazer firmeza.

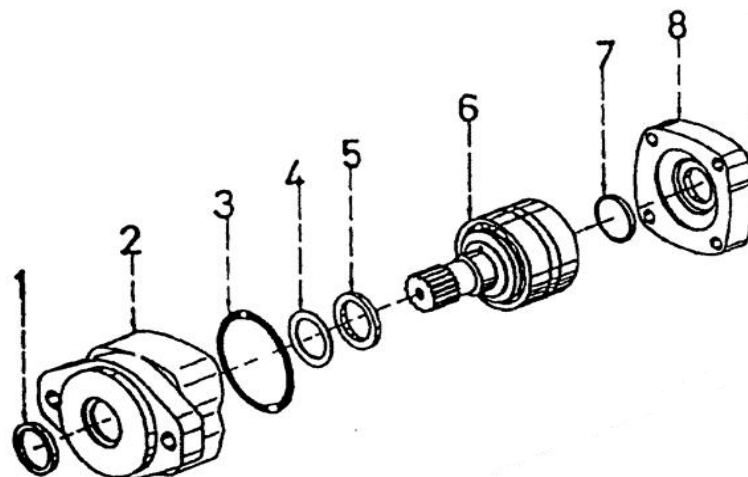
23 - **Pino** – Este que receberá uma carga da mola anterior, transferindo assim carga para a base da válvula, gerando firmeza na parte acima do motor.

24 - **Plug** – Chamado também de tampão, usado para tapar um furo onde pode ser instalado uma conexão.

A placa com especificação nº 8 irá mudar sua originalidade, pois em seu centro será feito um trabalho de usinagem, uma criação de rosca no furo que já é existente nela, que será usada para acesso a reposição e troca de óleo lubrificante do mancal.

Será feito um encurtamento de seu tamanho para atender as necessidades do momento, ficando assim com 30 mm em sua extensão. As peças reaproveitadas do motor hidráulico são vistas na figura 11.

Figura 11- Peças reaproveitadas para montagem do mancal

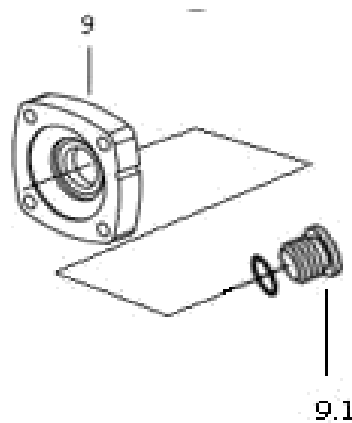


1. Retentor; 2. Alojamento de rolamento; 3. Anel de vedação; 4. Calço; 5. Retentor; 6. Chaveta; 7. Rolamento e Eixo; 8. Placa

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

A mudança na placa que anteriormente era usada pra servir como desgaste pra bomba, será usada como uma tampa para o novo mancal. Neste caso o trabalho de torneamento foi necessário devido a abertura de um orifício já existente no centro da placa e a preparo de uma rosca para receber um plug ou tampão que serviu para manter abastecimento do óleo lubrificante. Esta etapa é apresentada na figura 12.

Figura 12 - Tampa e visor de óleo



Fonte: elaborado pelo autor (2018)

4.1. Montagem

Em sua montagem, será utilizada uma bancada com suporte de fixação para apoio do alojamento (peça nº 2), onde serão acoplados os retentores (peça nº 1, 4 e 5), batidos com um tarugo de polietileno para não ferir as laterais do alojamento e nem as margens do retentor. Em seguida será necessário usar uma prensa mecânica para acoplar o eixo com os rolamentos (peça 6) dentro do alojamento.

4.2 Lubrificação

O fluido lubrificante que foi utilizado é o SAE 85W/140 óleo usado na maioria das peças com rotações excessivas, que necessitam de uma troca de calor repetidamente e o volume de trabalho foi de 200 mililitros.

Pelo fato de o mancal ser blindado e trabalhar com sistema fechado, são necessários utilizar um fluido para que suas partes internas, rolamentos se mantêm sua lubrificação e atrito controlado. (peça 6).

Sendo aplicado em sua parte superior, um furo pela tampa, que anteriormente era sua placa de desgaste da bomba (peça 8). Também é acrescentado o visor de óleo que é necessário nestes tipos de equipamentos para manter de forma fácil a visualização do fluido lubrificante este é mostrado na figura 13.

Figura 13 - Visor de óleo



Fonte: PESQUISA GOOGLE (2018)

Conforme a figura 13, esse visor foi adicionado juntamente com o equipamento após sua modificação que será encaixado na tampa do mancal, para se ter o controle do fluido e junto a isso a visão se o mancal mantém suas condições internas satisfatórias, com a realização do seu esforço.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

A alteração realizada gerou um aumento na vida útil da máquina em aproximadamente 400 horas, que gerava em média 800 horas de trabalho, resultando após modificação em 1200 horas, conforme testes realizados na “Tabela de vida útil do mancal blindado”:

Tabela 1. Vida útil do mancal blindado

Mancal	Ano	Média de horas trabalhadas com mancal blindado.
1	2018	1220
2	2016	1110
3	2017	1280
4	2017	1230
5	2018	1190
6	2017	1160
7	2018	1240
8	2017	1150
9	2018	1130
10	2018	1220
11	2018	1240
12	2018	1260
MÉDIA		1202,5

Fonte: elaborado pelo autor (2018)

Esses testes foram realizados com 12 mancais durante os anos 2016, 2017 e 2018, obtendo uma média de 1200 h trabalhadas aproximadamente, podemos notar a melhora

significativa nesse novo mancal blindado. Com dois rolamentos ligados a um eixo, trabalhando de forma vedada do seu interior, diminui-se quase em 0% contato com impurezas minerais e vegetais presentes no campo de operação, com isso a alteração notou-se uma melhor produtividade, conseqüentemente diminuindo manutenções corretivas, atacando diretamente na redução de custos com essa correção.

Porém notamos que com um estudo mais aprofundado pode-se concluir que existe várias outras teses para a melhoria, performance e a eficiência da mesma, ficando aberto uma evolução que poderá ser realizada futuramente, afinal sempre à uma melhoria contínua pois evolução sempre estará presente.

CONCLUSÃO

O presente trabalho sofreu, no decorrer de seu desenvolvimento, várias mudanças, perguntas e inquietações até que chegasse ao seu término. No entanto, teve seu prestígio pela oportunidade em realizar um trabalho que fosse possível união entre a teoria e a prática. Realizado grande esforço na busca de referencial teórico que contemplasse tal proposição. Um trabalho provocador que procurou abordar as alterações realizadas na peça a ser trabalhada e inseri-las na prática.

O mancal blindado teve sua aplicação bem aceitável em equipamentos que trabalham em lugares onde contém grandes quantidades de materiais particulados. Uma diminuição nas horas com menos manutenção corretiva e manutenções preventivas, principalmente na troca de seu fluído foi percebido, aumentando assim horas produtivas do equipamento em que for empregado.

A aplicação em equipamentos agrícolas foi satisfatória, gerando aumento de 55% na vida útil do mancal, até a primeira remoção para realizar a revisão e possíveis reparos, diminuindo assim as paradas para manutenção corretivas.

REFERÊNCIAS

BRAUNBECK, O. A. Redução de custos na colheita mecânica de cana-de-açúcar. **Jornal da Cana**. Seção técnica, Ribeirão Preto, p.54-56, set., 1999.

BRAUNBECK, O. A. Modelagem, simulação, otimização e construção de cortador basal, seguidor do perfil do solo em processos de colheita. **Relatório final de pesquisa. Processo FAPESP no 99/04745-1**, Campinas: UNICAMP, p.30, 2001.

CONTRERAS, G. A. M.; BRAUNBECK O. A. Otimização de mecanismos articulados para o seguimento do perfil do solo In: Encontro de usuários do Adams, 1. **Anais...**, São Paulo, 1996.

PRADO, M.; COSTA NETO, A. Protótipo virtual: um novo conceito no desenvolvimento de projetos mecanismos. In: Encontro de usuários do Adams, 1. **Anais...**, São Paulo, 1996.

SANTOS, I. F. **Dinâmica de sistemas mecânicos**: modelagem, simulação, visualização e verificação. São Paulo: Makrow Books, 2001.