



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Engenharia Industrial 4.0



CARLOS CAMARGO DE QUEIROZ

**ANALISE DO MONITORAMENTO COM SENSOR DE EMISSÃO
ACUSTICA DE VAZAMENTO EM CILINDRO HIDRAULICO**

**CURITIBA
2025**

CARLOS CAMARGO DE QUEIROZ

**ANALISE DO MONITORAMENTO COM SENSOR DE EMISSÃO
ACUSTICA DE VAZAMENTO EM CILINDRO HIDRAULICO**

Monografia apresentada como resultado parcial
à obtenção do grau de Especialista em
Engenharia da Manutenção 4.0. Curso de Pós-
graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia,
Departamento de Engenharia Mecânica,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Mariano Pacholok

**CURITIBA
2025**

RESUMO

Sistemas hidráulicos são em geral utilizados para movimentação de cargas, e que utilizam cilindros hidráulicos para executar esses movimentos. Em alguns casos necessita de precisão e torna-se essencial o controle do movimento para garantir a posição adequada que necessita. Todo o circuito deve estar isento de vazamento para garantir esse movimento. A identificação de vazamentos internos durante o funcionamento de cilindros, torna-se difícil, baseado no fato de que um circuito hidráulico trabalha com pressões altas, e não se pode desconectar nenhum ponto na intenção de perseguir um vazamento, como se pode fazer em circuito pneumáticos onde as pressões são extremamente baixas. Como normalmente na maioria dos casos esses cilindros trabalham de forma sincronizada e são acoplados por eixos de sincronismo, a identificação de um vazamento por mau funcionamento de dos cilindros que compõem o par torna ainda mais difícil. A movimentação do óleo dentro de um circuito hidráulico é dinâmica e pode ser possível identificar um fluxo dentro da camisa de um cilindro pela temperatura do óleo que está circulando. Isso é possível caso tenha uma passagem de óleo de uma câmara para outra onde a velocidade do óleo pode aumentar, forçando o óleo a passar por uma passagem mais restrita. É uma boa opção, mas não se tem uma boa resposta quando o vazamento está no início. Como ferramenta para identificar a atividade dentro de um cilindro, é possível utilizar sensores de emissão acústica, o qual capta ondas acústicas geradas pela pressurização e movimentação do óleo.

Palavras-chave: vazamentos, cilindro hidráulico, emissão acústica.

ABSTRACT

Hydraulic systems are generally used for moving loads and utilize hydraulic cylinders to perform these movements. In some cases, precision is required, and controlling the movement becomes essential to ensure the proper position needed. The entire circuit must be free of leaks to guarantee this movement. Identifying internal leaks during the operation of cylinders becomes difficult, based on the fact that a hydraulic circuit works with high pressures, and no point can be disconnected in an attempt to trace a leak, as can be done in pneumatic circuits where the pressures are extremely low.

As cylinders usually operate in a synchronized manner in most cases and are coupled by timing shafts, identifying a leak due to the malfunction of the cylinders that make up the pair becomes even more difficult. The movement of oil within a hydraulic circuit is dynamic, and it may be possible to detect a flow inside a cylinder sleeve by the temperature of the circulating oil. This is possible if there is an oil passage from one chamber to another where the oil speed can increase, forcing the oil through a more restricted passage. It is a good option, but there is not a reliable response when the leak is in its early stages. As a tool for identifying activity within a cylinder, it is possible to use acoustic emission sensors, which capture acoustic waves generated by the pressurization and movement of the oil.

Keywords: leaks, hydraulic cylinder, acoustic emission.

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Esquema hidráulico basico.....	7
FIGURA 2: Cilindro hidraulico.....	8
FIGURA 3: Cilindro de simples ação.....	9
FIGURA 4: Cilindro de dupla ação.....	9
FIGURA 5: Componentes de um cilindro hidráulico.....	10
FIGURA 6: Cilindro com chave de proximidade.....	11
FIGURA 7: Setores de uma máquina de papel.....	13
FIGURA 8: Enroladeira de uma máquina de papel.....	15
FIGURA 9: Circuito hidráulico	16
FIGURA 10: Típico de um sistema de medição.....	19
FIGURA 11: Sensor piezoeletrico.....	20
FIGURA 12: Cabo coaxial.....	20
FIGURA 13: Principio básico do método de emissão acústica.....	21
FIGURA 14: Cilindro hidraulico.....	21
FIGURA 15: Enroladeira de uma máquina de papel.....	22
FIGURA 16: Sensor localização.....	22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO.....	7
1.2.FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	11
1.3.JUSTIFICATIVA.....	15
1.4.HIPÓTESE	16
1.5.OBJETIVO	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	22
4. CONCLUSÕES	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

1. INTRODUÇÃO^[OBJ]

O mercado de embalagens de papel é entre outros, um dos termômetros que norteia a produção da indústria. O papel de embalagem é fundamental para entregar produtos aos clientes. Portanto, quando a demanda aumenta, significa que a produção de diversos segmentos também cresceu. De acordo com a Associação Brasileira de Embalagens em Papel (Empapel), a expedição de caixas e chapas de papelão ondulado subiu 3,7% na comparação entre os oito primeiros meses de 2019 e 2020. Apenas em novembro do ano de 2020, este mercado somou 337.515 toneladas, o que mostra um avanço de 4,2% em relação ao mesmo mês de 2019. Para atender essa demanda, é necessário que as máquinas de papel trabalhem em regime permanente sem interrupções de produção com equipamentos confiáveis o tempo todo.

Movimentar grandes e pequenas indústrias, levantar toneladas, fazer movimentos precisos e controlá-los. Humanizar o trabalho do homem suavizando operações repetitivas em máquinas de diferentes funções. Ser rígido como o aço e flexível como o elástico, quando preciso. Transformar-se nas mais diferentes formas. Suas leis, as mais simples, desde que, respeite-se sobre todos os aspectos o uso de fluido sob pressão na geração de energia.

Há diversos tipos de máquinas pesadas, que executam inúmeros serviços, as máquinas mais utilizadas são: Retroescavadeira, Escavadeira Hidráulica, Pá Carregadeira, Trator de Esteira, Motoniveladora, Caminhão Munck, Caminhão caçamba entre outras máquinas, inclusive do setor papeleiro, a qual possui uma diversidade de equipamentos de precisão para o manuseio do papel.

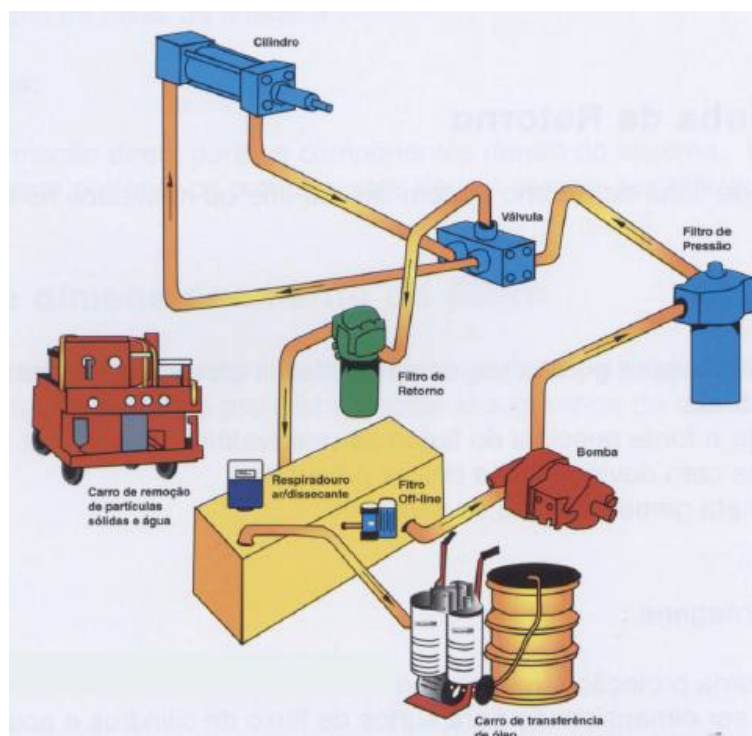
Devido aos esforços constantes, as máquinas nas obras acabam sofrendo muito desgaste, falhas mecânicas e quebras, fazendo com que a confiabilidade dos componentes seja baixa. Um dos sistemas que mais sofrem com esses esforços são o sistema hidráulico.

O funcionamento adequado do sistema hidráulico de uma máquina pesada é primordial para manter seu bom desempenho, pois ele responde por diversas funções, como articulação, elevação e inclinação da máquina.

Segundo Linsingen (2013) um sistema hidráulico é um conjunto de elementos físicos convenientemente associados, que com a utilização de um fluido como meio de transferir energia, permite a transmissão e controle de força e movimentos.

Qualquer sistema hidráulico, conforme mostrado na figura 1, é composto basicamente por um reservatório hidráulico, mangueiras hidráulicas, válvulas de controle, fluxo, pressão e retenção, filtro hidráulico, bomba hidráulica e cilindro hidráulico. Os componentes mais importantes do sistema hidráulico são a bomba hidráulica e o cilindro hidráulico.

Figura 1 – Esquema hidráulico básico



Fonte: Fluipress (2013)

Para Palmieri (1994) a bomba hidráulica é responsável pela geração da vazão dentro de um sistema hidráulico e pelo acionamento do cilindro hidráulico ou consumidores.

Segundo Teixeira (2015), “Os cilindros hidráulicos são atuadores que convertem a energia recebida por um fluido hidráulico pressurizado, geralmente óleo, num movimento linear ao qual está associado uma força também linear”.

Os cilindros hidráulicos são compostos normalmente de uma camisa com camisa interna polida, uma haste cromada, uma tampa e um embolo. Na tampa e no embolo existe vedações de tipos variados para evitar vazamentos e contaminação do conjunto.

Devido à falta de manutenção no sistema hidráulico, acaba ocorrendo diversos problemas, como vazamentos, desgaste dos seus componentes através da

contaminação do fluido, perda de rendimento, parada inesperada e podendo chegar até a perda total de alguns componentes.

De modo a evitar esses problemas a manutenção preventiva e preditiva e alguns indicadores são necessários, para contribuir com o aumento da confiabilidade dos componentes. Com o estudo da manutenção visando melhorar a eficiência do sistema hidráulico pode gerar grandes ganhos, com o aumento da confiabilidade e evitar falhas inesperadas.

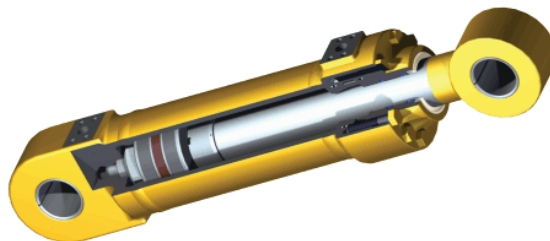
Como o cilindro é um atuador responsável para realizar o trabalho esperado em movimentações das mais diversas finalidades, é exigido pleno funcionamento em todas as etapas de um processo. Para garantir seu pleno funcionamento e evitar parada de plantas, é necessário monitorar seu funcionamento e garantir seu trabalho o tempo todo. Em caso de surgimento de algum defeito, o mesmo deverá ser substituído no momento certo sem causar parada inesperada.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO^[OBJ]

Segundo Teixeira (2015), “Os cilindros hidráulicos, conforme figura 2, são atuadores que convertem a energia recebida por um fluido hidráulico pressurizado, geralmente óleo, num movimento linear ao qual está associado uma força também linear”. Ou seja, os cilindros hidráulicos são responsáveis pela articulação da máquina.

Segundo Palmieri (1994), o maior interesse em cilindros hidráulicos é a força que ele pode fornecer juntamente com a velocidade de trabalho.

Figura 2 – Cilindro hidráulico.

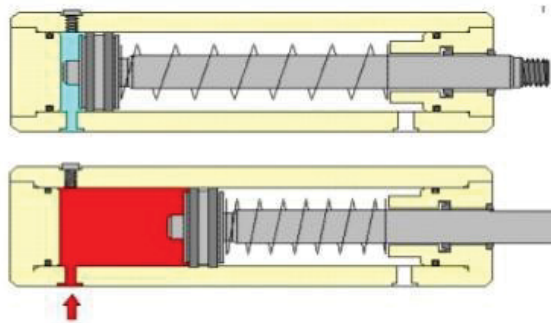


Fonte: Euromav, (2006)

Segundo Palmieri (1994), os cilindros hidráulicos se classificam de acordo com a sua função de ação, dividindo-os em dois grupos, os cilindros hidráulicos de simples ação e de dupla ação.

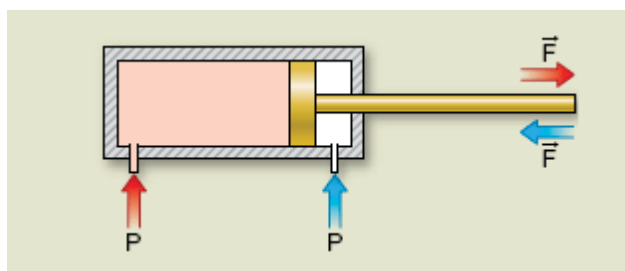
Os cilindros de simples ação, conforme figura 3, são denominados assim devido ao seu retorno ser pela gravidade ou por mola, ou seja, pode exercer sua força apenas em uma direção. Já os cilindros de dupla ação são denominados assim devido ao movimento do pistão ser realizado pelo fluido hidráulico em qualquer uma das tomadas de pressão. O cilindro de dupla ação, conforme figura 4, é mais utilizado em aplicações hidráulicas, por isso terá um foco maior nesse trabalho.

Figura 3 - Cilindro de simples ação.



Fonte: Festo, (2001)

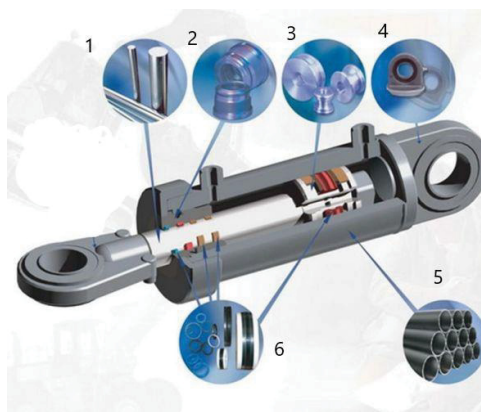
Figura 4 – Cilindro de dupla ação.



Fonte: Festo, (2001)

Os cilindros hidráulicos possuem diversos componentes, conforme figura 5, mas geralmente são formados pelos seguintes componentes: haste, tampa, embolo, fundo, camisa do cilindro e vedações.

Figura 5 – Componentes de um cilindro hidráulico.



Fonte: Euromav, (2006)

1- Haste: A haste é o elemento que transmite o movimento do êmbolo para o objeto a mover. Esta leva um revestimento superficial de cromo duro, que lhe garante uma maior dureza, reduzindo o desgaste provocado pelo funcionamento, condições atmosféricas e impactos. (TEIXEIRA, 2015). Para Parker (2006) a haste deve ser de um aço de alta resistência, retificado, cromado e polido para assegurar uma superfície lisa, aumentando a resistência contra riscos e sulcos para uma vedação efetiva e de longa vida.

2- Tampa: a tampa serve para manter o óleo no interior do corpo e resistir à pressão imposta por este e serve como guia para a haste. Na tampa é colocado algumas vedações como cintas de guiamento, vedantes e raspador. E apresenta também um dispositivo de entrada de óleo (conexão de óleo) (TEIXEIRA, 2015).

3- Êmbolo: O êmbolo é o componente que permite que a pressão do óleo se converta num movimento linear. Consiste em uma peça de aço com um diâmetro inferior ao interior da camisa do cilindro. E como a tampa o êmbolo também apresenta vedações como cintas de guiamento que fazem o contato com a camisa do cilindro e vedantes (TEIXEIRA, 2015).

4- Fundo: A sua principal função é resistir à pressão e manter o óleo dentro do corpo do cilindro. E como na tampa apresenta um dispositivo de entrada de óleo (TEIXEIRA, 2015).

5- Camisa do cilindro: Geralmente feito de tubos de parede espessa, onde normalmente é feita de aço SAE 1020 a SAE 1045, com acabamento interior polido feito por brunimento (LINSINGEN, 2013). Serve como guia e direcionando o fluido hidráulico pressurizado para o êmbolo.

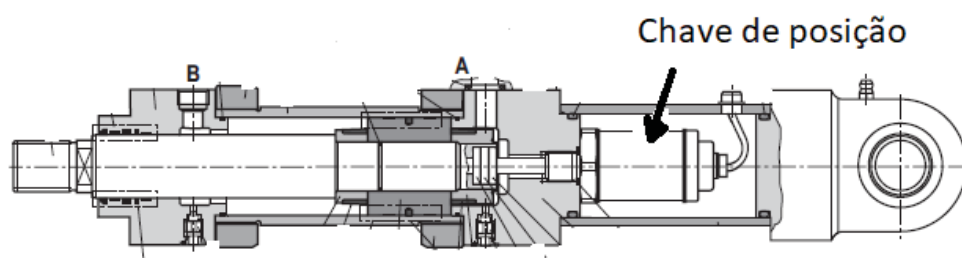
Segundo Parker (2006) O acabamento da superfície interna da camisa de aço minimiza o atrito interno e prolonga a vida das vedações.

6- Elementos de vedação: Estes são os componentes que contribuem para a longevidade, evita vazamento de fluido, evita a contaminação do sistema hidráulico, suporta altas pressões, temperaturas extremas e forças transversais mantendo o funcionamento correto do cilindro hidráulico (TEIXEIRA, 2015). Existe diversos tipos de vedações, iremos citar nesse trabalho os mais importantes para os cilindros hidráulicos. Vedações do êmbolo e da tampa utilizados em cilindros hidráulicos são utilizados para vedar os fluidos. Elas são alojadas no êmbolo e na tampa do cilindro e vedam a haste junto a camisa, evitando que o fluido vaze atravessando a “tampa” do cilindro. Isto permite o acúmulo de pressão em um lado do pistão, fazendo com que o cilindro estenda e retorne a sua posição original (TRELLEBORG, 2009). As vedações de haste são utilizadas em cilindros hidráulicos para vedação de fluidos. Elas estão externas à “tampa” do cilindro e vedam contra a haste, evitando o vazamento de fluido de dentro do cilindro para o meio externo (TRELLEBORG, 2009).

Os cilindros podem ser construídos com alguns acessórios que tem como função, indicar qual é a posição em que se encontra a haste. Para isso é instalado na parte traseira do cilindro uma chave de proximidade indutiva, que indica com exatidão, qual é a posição que se encontra a haste do cilindro em qualquer posição de seu curso total.

Segundo Rexroth (2017). Chaves de proximidade indutivas, conforme figura 6, são usadas como posição confiável de posição dos cilindros hidráulicos. Elas são um elemento importante para o monitoramento seguro e preciso de equipamentos de segurança, fechamento e outras funções da máquina em sua posição final, por meio da saída de sinais padrões. O interruptor de proximidade que é resistente a alta pressão até 500bar funciona sem contato. Consequentemente, é livre de desgaste. O interruptor de proximidade é ajustado de fábrica.

Figura 6 – Cilindro com chave de proximidade.



Fonte: Rexroth, (2017)

Os cilindros movimentam cargas pesadas, e máquinas que não devem parar, somente em condições de paradas programadas. Sua função em uma máquina na maioria das vezes, representa uma perda enorme, na ordem de milhões, quando os mesmos chegam a falhar. A identificação de uma performance não satisfatória em seu funcionamento, só é possível identificar quando a falha é catastrófica, ou seja, um vazamento enorme possível de visualizar, ou quando o mesmo vem a quebrar. Dá-se a necessidade do objeto desse estudo, evitar ou minimizar que isso ocorra. Com auxílio de sensores de emissão acústica será capaz de monitorar a parte interna de trabalho do cilindro, através da movimentação do óleo.

1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA^[OBJ]

O presente estudo está focado em uma parte de uma máquina de papel, chamado de enroladeira. Uma máquina de papel é composta por várias seções que será descrito logo abaixo de forma sucinta.

Uma máquina de papel é a principal etapa para recomposição do produto final, proveniente da madeira de pinus e eucalipto, que se deseja obter que é a folha de papel.

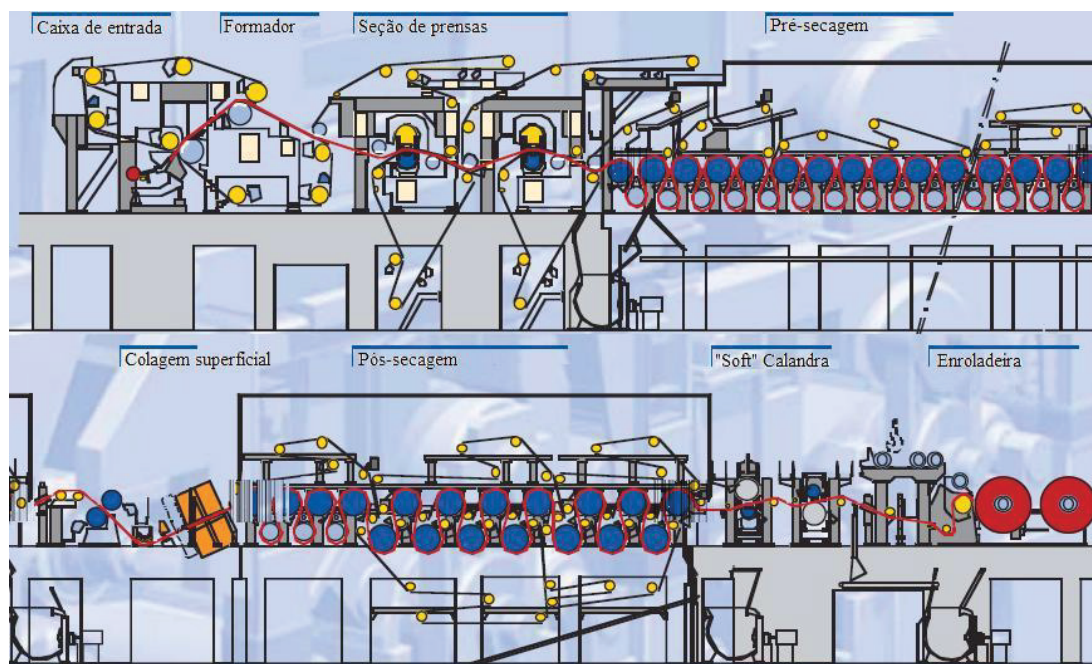
A máquina de papel recebe de um processo anterior (pátio de madeira e cozimento de cavacos), o insumo que já passou para várias etapas desde a floresta, onde se extrai a madeira, até chegar na etapa da formação da folha na máquina, a qual dará origem ao produto final.

1.2.1 ETAPAS DOS PROCESSOS DE UMA MÁQUINA DE PAPEL.

As etapas estão divididas em, conforme mostrado na figura 7:

1. Preparo de massa;
2. Caixa de entrada;
3. Mesa plana;
4. Prensa úmida;
5. Secaria;
- 6. Enroladeira;**
7. Rebobinadeira;
8. Embaladeira;
9. Depósito.

Figura 7 – Setores de uma máquina de papel.



Fonte: Revista Twogether nº 8.

1.2.1.2 ENROLADEIRA

A seção de enrolamento ou de corte é a última seção da máquina de papel. Do rolo-cabeceira até a entrada na seção de enrolamento ou corte, o processo de fabricação da folha é contínuo. Neste ponto, torna-se necessário transformar a folha contínua em unidades finitas e independentes, a fim de facilitar a sua manipulação e utilização posterior.

O enrolamento tem por função a formação de rolos Jumbo, os quais, posteriormente, seguem para as seções de acabamento. A uniformidade, brilho e a dureza do papel são fatores decisivos para o bom andamento da seção de acabamento, principalmente nas rebobinadeiras.

1.2.1.3. ELEMENTOS DA ENROLADEIRA E SEUS PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

Basicamente, o sistema mais usual para o enrolamento do papel, é o enrolamento por acionamento na face o que compõem a maioria das enroladeiras.

No enrolamento por acionamento na face, não há necessidade de regulação da velocidade de enrolamento, à medida que aumenta o diâmetro da bobina, pois a velocidade periférica continua constante. As enroladeiras que trabalham com este sistema são conhecidas como *pope* (figura 8) ou de superfície. São compostas de um

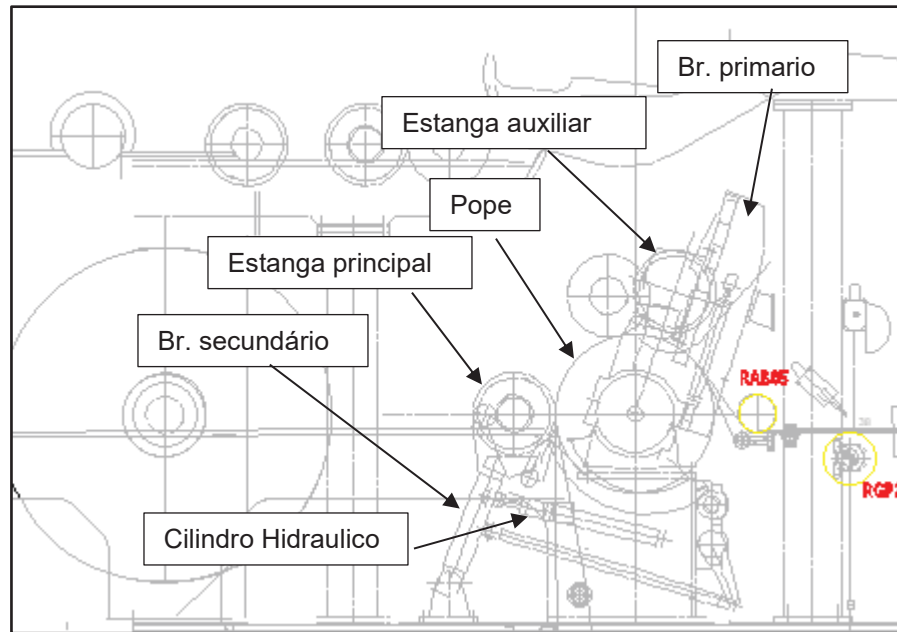
cilindro de ferro fundido, parecido com um cilindro secador, cujo eixo é oco, e de um par de braços móveis, nos quais se apoia a estanga principal onde será enrolado o papel.

Em cima do cilindro de ferro fundido, está colocado uma estanga auxiliar, apoiada em braços primários, e a folha passa entre os dois antes de ser enrolada na estanga principal. A movimentação dos braços primários é efetuada através de dois cilindros hidráulicos acoplados nas extremidades desses braços, com apoio de um pino para articulação. O enrolamento se faz forçando a estanga contra o cilindro de ferro fundido.

Quando a bobina atinge seu diâmetro máximo, rasga-se a folha por meio de um sistema automático de troca de estanga, obrigando-a enrolar-se sobre o estanga auxiliar, sem que haja interferência com a bobina já pronta. Em seguida, a estanga auxiliar é depositada no trilho logo à frente da enroladeira *pope*, onde um segundo braço móvel irá assumir a estanga e pressionar contra a enroladeira *pope* para manter a tensão da folha e garantir um bom enrolamento. Esse segundo braço móvel, também chamado de braço secundário é exatamente onde estão instalados os cilindros hidráulicos, objeto do estudo desse trabalho.

O braço secundário, cujo movimento se dá através do acionamento dos pares de cilindros acoplados ao mesmo, tem a função de garantir um bom enrolamento do início ao fim da formação da bobina, com auxílio dos cilindros hidráulicos que manterão uma pressão constante pressionando a estanga principal contra a *pope*. Conforme a folha vai enrolando na estanga seu peso também irá aumentando. Para manter uma pressão constante entre a *pope* e a estanga, a qual leva o nome de *nip*, que nada mais é do que o contato do papel enrolando com a *pope*. Essa pressão constante é obtida controlando a pressão interna no cilindro hidráulico. Um controle preciso é feito injetando pressão em ambos os lados do cilindro.

Figura 8 – Enroladeira máquina de papel.



Fonte: autor (2023)

As pressões nos braços secundários, tem como fonte de energia uma unidade hidráulica, com pressão controlada, e fornece óleo através das tubulações com auxílio de uma bomba hidráulica até o óleo alcançar os cilindros, onde a pressão interna nos cilindros, tem no lado haste pressão constante em torno de 60bar e lado embolo pressão variável, conforme a formação da bobina para que o *nip* seja mantido constante do início ao final do enrolamento. Esse controle é feito com válvulas proporcionais que recebem um sinal elétrico referente ao diâmetro da bobina em formação e a posição em que se encontra o braço secundário. Uma equação matemática com essas informações, vai indicar qual o valor da pressão do lado embolo, que é necessário para um bom enrolamento da folha. A figura 9, mostra um circuito básico de movimento dos braços secundários.

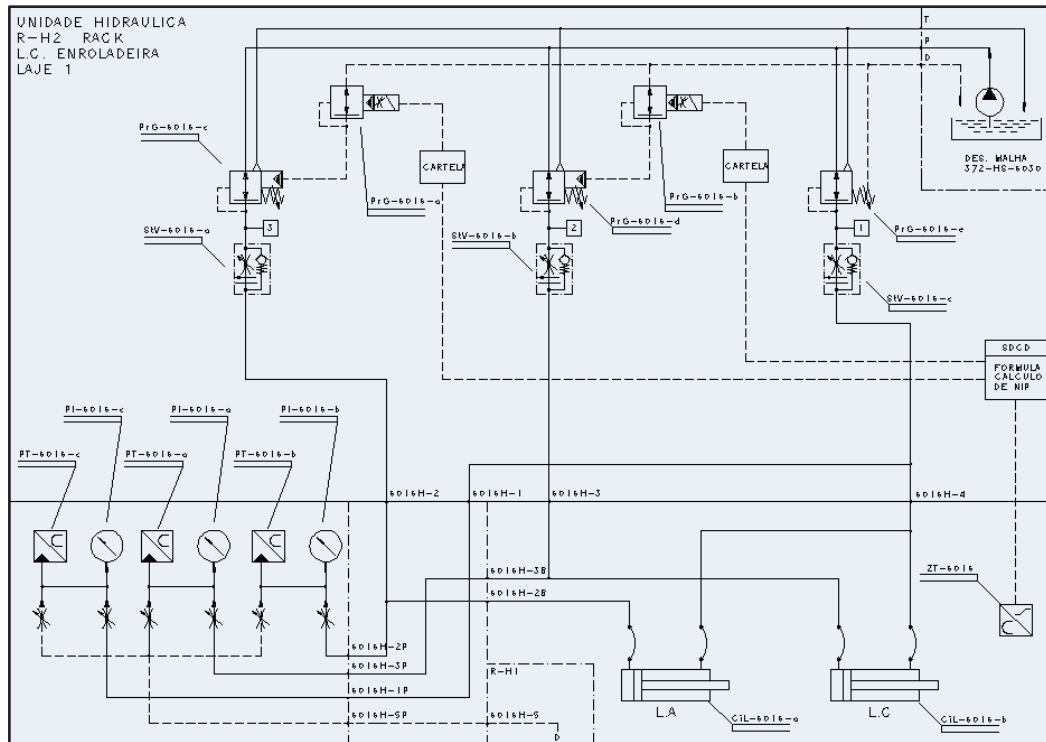


Figura 9 – Circuito hidráulico.

Fonte: autor (2023)

As pressões dentro do cilindro hidráulico devem ser isentas de vazamentos entre as câmaras do cilindro, para que não interfira na formação da bobina na enroladeira. Qualquer diferença nas pressões entre os cilindros por um possível vazamento, interfere direto na formação da folha, podendo até romper a folha na enroladeira.

Devido a essa necessidade de vazamento zero nos cilindros, para que o sistema funcione perfeitamente, é prudente monitorá-lo, para garantir um enrolamento da folha sem qualquer imperfeição na formação do rolo jumbo. O que acarretará defeito na superfície da folha de papel em formação e um mau andamento no processo posterior que será a rebobinadeira. Processo que entregará o produto final ao cliente. Esse monitoramento interno do funcionamento do cilindro é que atestará uma manutenção em tempo proficiente para que seja programado a troca do cilindro.

1.3. JUSTIFICATIVA^[OBJ]

O compromisso em monitorar vazamentos em cilindros hidráulicos, parte do princípio que, não se pode observar internamente toda a movimentação que ocorre dentro do equipamento, por estar hermético. Com o uso de sensores de emissão

acústica isso torna-se um pouco mais fácil, podendo-se observar toda atividade do óleo nas câmaras do cilindro, tanto do lado embolo como do lado haste. Visto que esses sensores emitem ondas mecânicas proveniente de movimentações do próprio óleo.

Um cilindro sendo monitorado constantemente sem interrupções pode indicar um possível vazamento, quando se apresenta no início, com isso possibilita ação imediata da manutenção e até mesmo a contenção instantânea do fluido, evitando que vaze para atmosfera e venha prejudicar o meio ambiente.

Com o monitoramento das funções do cilindro é possível um diagnóstico preciso de seu funcionamento, mesmo porque todo um sistema hidráulico é composto por vários componentes, dificultando entender onde está realmente o problema.

O aprendizado sobre como monitorar todo o funcionamento de um cilindro e como o mesmo se comporta diante de movimentações que ocorrem durante sua atividade, auxilia para termos mais assertividade em solicitar por exemplo uma parada de uma planta no momento exato da real necessidade.

Pesquisas elaboradas, junto a fornecedores, fabricantes e montadoras desse equipamento, apontaram a deficiência e até mesmo o desconhecimento sobre o tema.

1.4. HIPÓTESE^[OBJ]

O cilindro hidráulico, com seu movimento de avançar e recuar a haste, depende diretamente do óleo fornecido pela bomba do circuito. Esse movimento é possível quando o óleo chega ao cilindro, encontra restrição ao movimento, e a pressão é aumentada, fazendo com que o cilindro se mova. Uma possibilidade de monitorar essas pressões com sensores, pode se chegar a um histórico de como essas pressões se comportam ao longo do trabalho do cilindro. Usando sensores de pressão, pode-se encontrar o valor ideal da pressão para o funcionamento do cilindro. Se esses valores se distanciarem do histórico é uma possibilidade de problema. Uma outra forma de se monitorar esse movimento de avanço e recuo, e perceber como o cilindro se comporta é monitorando a vazão de avanço e recuo do cilindro afim de se criar um histórico do funcionamento para posterior comparação, quando esses valores se distanciarem do histórico. Portanto, com essas duas variáveis sendo monitoradas e observadas em conjunto, aumentaria as chances de entender como o circuito funciona e de se detectar um posterior defeito.

1.5. OBJETIVO

Analisar o comportamento do vazamento de óleo em cilindros hidráulicos, através de ondas mecânicas, que ocorrem dentro do cilindro, quando existe uma movimentação do óleo em seu interior. As ondas mecânicas produzidas, são captadas por sensores de emissão acústica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA^[OBJ]

2.1 Emissão acústica.

2.1.1 Introdução.

Segundo a ABENDE, emissão acústica é o fenômeno onde ondas elásticas transientes são geradas por rápida liberação de energia a partir de fontes localizadas em um material ensaiado. Embora emissão acústica seja a denominação mais comum, o fenômeno também é denominado por emissão de ondas de tensão, atividade microsísmica, ou emissão acústica com outros qualificativos. Embora não seja possível afirmar com precisão a partir de quando, o homem vem procurando relacionar emissões sonoras e transformações dos materiais. Os artesãos de cerâmicas utilizavam os sons de trincamento dos vasos de barro durante o resfriamento para determinar a qualidade dos seus produtos. Em 1545 foram feitos os primeiros relatos de emissões acústicas em metais, quando o alquimista árabe Jabir ibn Hayyan, em seu livro *Summa Perfectionis Magisterii*¹², descreve o fenômeno do choro do estanho, bem como os sons emitidos pelo ferro durante o processo de forja. Desde o tempo dos alquimistas o homem vem observando esses fenômenos nos mais variados metais, assim como buscando explicar a origem dos sons. No entanto, somente no início do século XX, com o desenvolvimento da metalurgia, foi possível desvendar os mecanismos que resultam em emissões acústicas.

Com a descoberta do processo de deformação por maclagem, conseguiu-se detalhar a origem do choro do estanho, assim como o do zinco, metal que se deforma da mesma maneira. Em 1923 Albert M. Portevi e François Le Chatelier¹² noticiaram que pequenos ruídos podiam ser ouvidos à distância de vários metros durante escoamentos descontínuos e formação de bandas de Lüders em ligas alumínio-cobre-manganês. A descrição de que a formação de martensita durante o resfriamento de aços era acompanhada por sons parecidos com o choro do estanho foi feita por Erich Scheil no ano de 1929¹². Em 1936, Scheil e Friedrich Föster procederam ao primeiro experimento específico para detecção de emissões acústicas, ao estudarem a formação de martensita no aço níquel 29%¹². Vários mecanismos são identificados como fontes de emissão acústica. Em metais, são identificados mecanismos como: crescimento de trinca, movimentos de discordâncias, deslizamento, maclagem, deslizamento dos contornos de grão, fratura e decoesão de inclusões. Outras fontes, chamadas freqüentemente de secundárias ou pseudofontes, são: vazamentos,

cavitações, fricções, realinhamento ou crescimento de domínios magnéticos, liquefação e solidificação, e transformações de fase sólido-sólido. Não há ainda uma explicação única para as fontes de emissão acústica, nem uma descrição analítica completa da energia da onda de tensão na vizinhança de uma fonte de emissão acústica.

2.2 Sistemas de medição de emissão acústica

O sistema de medição é composto por um sensor, seguido por um pré amplificador, um amplificador principal, um filtro e um conversor A/D, sendo que todos vem com um sistema integrado em um unico equipamento. A figura 10 ilustra o esquema geral de um tipico sistema de medição de sinais acusticos.

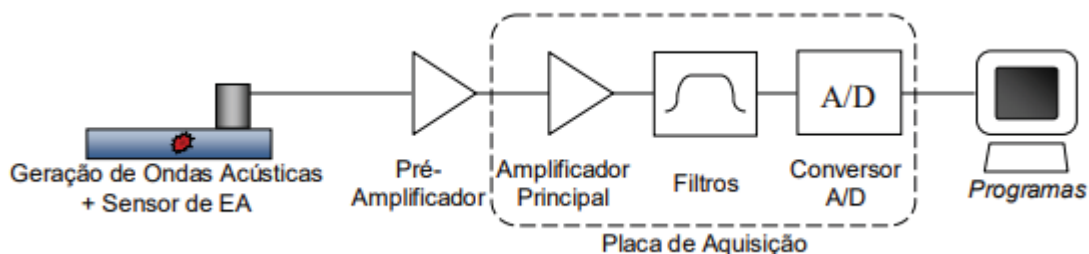


Figura 10 – Típico sistema de medição.

Fonte: autor (2023)

2.2 Sensores piezoeletricos

Existem vários tipos de sensoresw como laser, capacitivos, indutivos, os mais usados são os piezoeletricos devido sua combinação de baixo custo, alta sensibilidade, fácil instalação e manuseio. O sensor piezoeletrico é basicamente composto por uma elemento encapsulado, formado de materila cerâmico chamado PZT (Piezoelectric Transducer, geralmente de pequenas dimensões (GROSSE; OHTSU,2008).

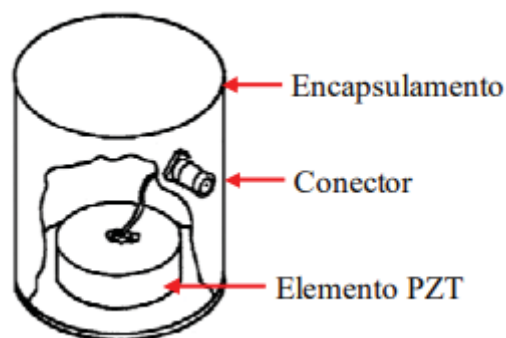


Figura 11– Sensor piezoeletrico.

2.3 Cabos de transmissão entre sensores e pre amplificadores

Os cabos utilizados para transmissão dos sinais EA , é do tipo coaxial e possui função de alimentar os sensores EA com tensão de 28volts.

A figura abaixo mostra a construção de um cabo coaxial.

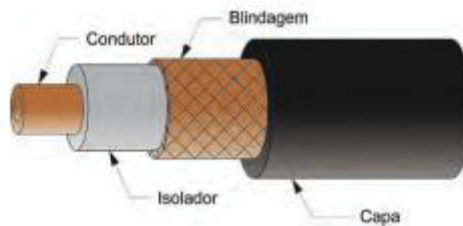


Figura 12– Cabo coaxial

O princípio básico do ensaio de emissão acústica é mostrado na Figura 13.

Aplica-se um estímulo estrutural em um material ou estrutura, de forma que movimentos repentinos da fonte produzem ondas de tensão mecânica. Essas ondas se propagam elasticamente pelo material, chegando a alguns pontos da superfície e estimulando os sensores piezelétricos. Os sensores transformam a energia mecânica em elétrica, sendo que os sinais gerados podem ser ou não amplificados antes de serem processados e armazenados. [13, 19, 29, 33].

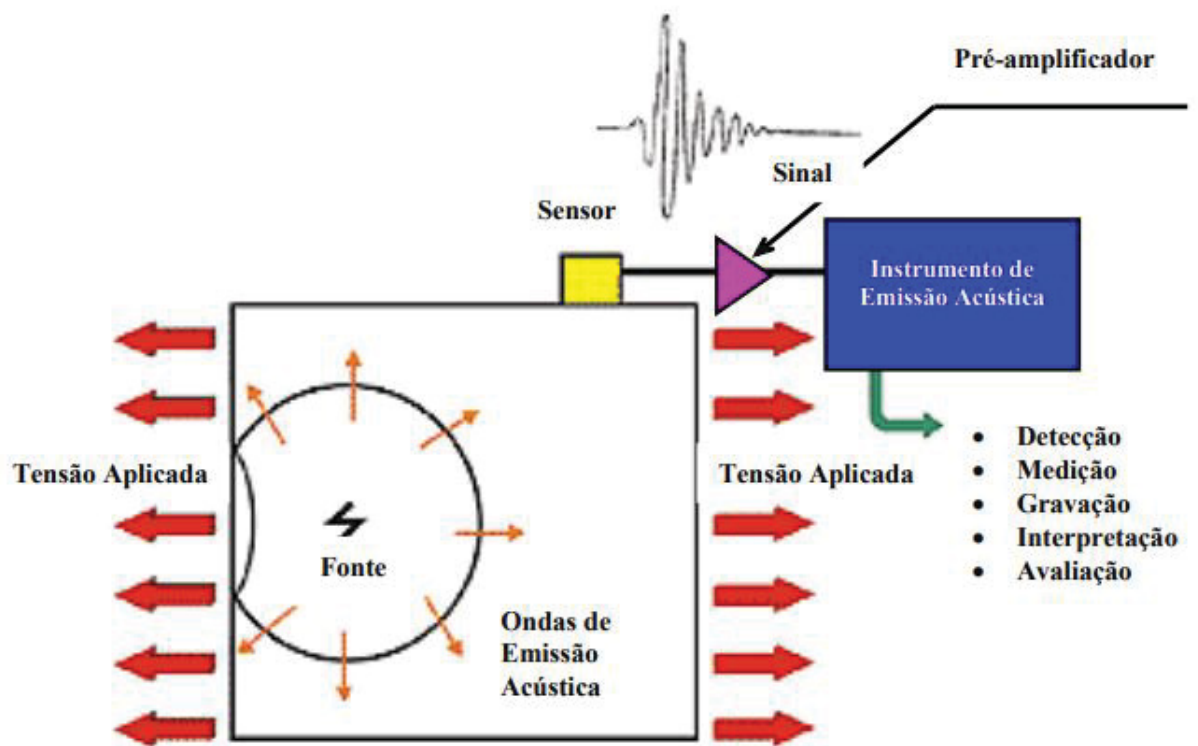


Figura 13 – Princípio básico do método de emissão acústica

3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Diagnóstico de vazamento em cilindro hidráulico em regime de trabalho permanente, sem interrupção do processo para avaliação de possíveis danos internos. O intuito disso é, realizar a troca do cilindro em manutenção pela condição do equipamento. Com isso evitando a exposição dos manutentores, em áreas de movimentação de carga, dentro do processo produtivo; apenas em situações de emergência. Segurança e tranquilidade na atividade, por diagnóstico preciso, sustentando um única troca do equipamento evitando retrabalho.

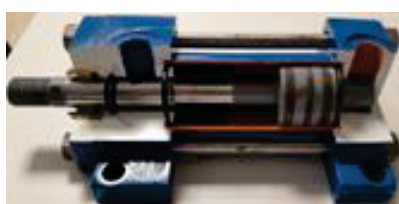


Figura 14 – Cilindro hidráulico

Será testado a técnica de emissão acústica (EA) em cilindro hidráulico da enroladeira de máquina de papel. A validação da técnica, se dará com instalação do cilindro em bancada, aplicando uma carga conhecida na haste, através de uma mola. Nos lados embolo e haste do cilindro, uma pressão que mantenha o cilindro em equilíbrio com sua posição central. Com auxílio de um relógio comparador instalado na haste verificar por um tempo de uma hora se haverá deslocamento da haste do cilindro, para ambos os lados. Indicando assim que o cilindro apresenta vazamento interno.



Cilindro de
movimentação
do br. da
enroladeira

Figura 14 – Enroladeira de máquina de papel

Predição quanto ao vazamento interno em cilindro hidráulico, principalmente em pares sincronizados. Trata-se de uma solução, para viabilizar custo de manutenção, através da coleta dos dados gerados pelo movimento do cilindro, indicando quando esse deverá ser substituído por não apresentar a mesma performance, e não

comprometer o custo e qualidade de produção. Dados serão coletados e armazenados para análise preditiva pela condição do equipamento, viabilizando investimento para substituição quando se fizer necessário. A solução pode ser empregada na indústria de um modo geral e para os fabricantes de cilindros hidráulicos como alternativa segura para seus clientes, com excelente performance de seus equipamentos com movimentos lineares.

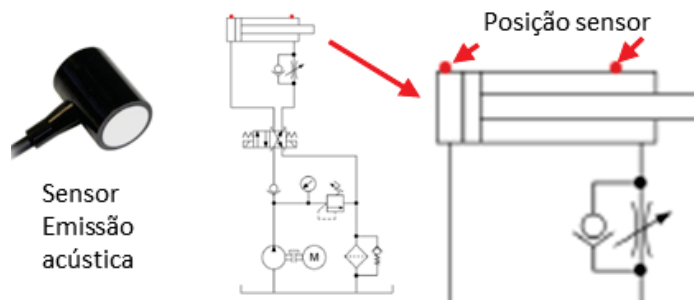


Figura 15 – Sensor localização

Atualmente o diagnostico de problema em cilindros hidráulicos é normalmente quando o equipamento para de funcionar. Hoje não é possível a identificação do vazamento quando o mesmo está no início. Foi pesquisado com vários fabricantes de cilindros, a viabilidade de se ter esse sistema para detecção de vazamento. Inclusive fora do país. As empresas contatadas, propuseram por tentativa uma solução, observando pressão e vazão, que até o momento não foi implementada nem para testes. A solução é identificar o problema quando estiver no início, sem gerar desgastes das modalidades envolvidas, de forma rápida, sem a substituição de peças por tentativa e erro, e evitar a retirada do cilindro da maquina para testar em bancada hidráulica, para poder identificar um possível problema, ocasionando horas de máquina parada.

4. CONCLUSÕES^[OBJ]

O estudo desenvolvido sobre o sistema hidráulico para detecção de vazamentos em cilindros demonstrou a relevância da aplicação de tecnologias de monitoramento avançadas para aumentar a confiabilidade e eficiência de sistemas industriais. A proposta de utilizar a emissão acústica como método de detecção mostrou-se promissora, uma vez que essa técnica permite identificar vazamentos internos em estágios iniciais, antes que se tornem perceptíveis por métodos convencionais.

Os resultados e análises indicam que a emissão acústica pode ser integrada ao sistema hidráulico como uma ferramenta de manutenção preditiva, possibilitando o diagnóstico precoce de falhas, redução de paradas não programadas e economia de recursos. Além disso, o uso dessa tecnologia contribui para a segurança operacional, evitando a perda de desempenho dos atuadores e possíveis falhas em processos críticos.

Portanto, conclui-se que a implementação de um sistema de medição por emissão acústica para detecção de vazamentos internos em cilindros hidráulicos representa uma solução tecnicamente viável e inovadora. Estudos futuros podem aprofundar a calibração dos sensores, o tratamento dos sinais acústicos e a integração com sistemas automatizados de supervisão, aprimorando ainda mais a capacidade de diagnóstico e a aplicabilidade industrial da proposta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. PR-005: Ensaio não destrutivo por emissão acústica – Terminologia. São Paulo, (2003).

PALMIERI, A. C. **MANUAL DE HIDRÁULICA BÁSICA**. 9. ed. Porto Alegre: Albarus Sistemas Hidráulicos Ltda, 1994.

TEIXEIRA, J. M. M. **EFEITO DO ESFORÇO TRANSVERSO EM CILINDROS HIDRÁULICOS USADOS EM APLICAÇÕES ESTRUTURAIS**. Porto. 2015. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/79734/2/35967.pdf>>. Acesso em: 23/01/2023.

LINSINGEN, I. V. **FUNDAMENTOS DE SISTEMAS HIDRÁULICOS**. 4.ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2013.

PARKER, **FLUIDOS E FILTROS HIDRÁULICOS**. São Paulo. 2006. Disponível em: <https://www.parker.com/literature/Brazil/M2001_2_P_06.pdf>. Acesso em: 23/01/2023.

TRELLEBORG, **LINHA DE PRODUÇÃO VEDAÇÕES INDUSTRIAIS**. Catálogo. 2009. Disponível em: <<https://www.tss.trelleborg.com/pt-pt/resources/catalogs-and-brochures>>. Acesso em: 23/01/2023.

REXROTH, **CILINDRO HIDRAULICO**. Catálogo 2017. Disponível em:<<https://store.boschrexroth.com/Hydraulics/Cylinder/Mill-type-cylinder>>. Acesso em 23/01/2023

CAMPOS, E.D. (2008). **CURSO BASICO DE FABRICAÇÃO DE CELULOSE E PAPEL**. *Twogether*, 50.