



## **Análise de trincas internas em colunas-guia de injetoras para detecção antecipada através de ensaios de ultrassom**

**Maicon Stedile Leal<sup>1</sup>, Rhuan Carlos Fabichaki Lourenço<sup>1</sup>**

maicon.s.leal@hotmail.com, rhuan.carlos.fabichaki@gmail.com

Professora orientadora: Daniele da Silva

Coordenação de curso de Engenharia Mecânica: Márcio Senhorinha

### **Resumo**

Este trabalho tem por base analisar as falhas por trincas em coluna-guia de injetoras, utilizando do processo de inspeção por ultrassom consegue-se observar o tamanho da trinca e o local onde está localizada. Contando assim com os conceitos de manutenção preditiva, analisando a causa raiz do problema e antecipando a parada do equipamento de forma organizada. Com estes dados, busca-se o menor tempo possível de indisponibilidade da injetora, reduzir os custos de parada do equipamento e também da manutenção emergencial, quando ocorre a ruptura da coluna. A redução de custo efetuando um reparo previamente organizado da coluna-guia com base nas informações obtidas na verificação por ultrassom pode chegar a 15% do valor da compra de uma nova coluna, ainda, em uma parada inesperada, soma-se o valor do recurso estar indisponível para a produção, fazendo com que a entrega de produto para os clientes seja afetada, tendo por base que a manutenção seja feita de maneira previamente organizada, é imensurável o valor atribuído a marca da empresa junto aos clientes, com a qualidade na entrega dos pedidos, ganhando assim competitividade junto a concorrência.

Palavras-chave: Ultrassom, Coluna-guia, Manutenção preditiva, Competitividade.

---

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Mecânica – Centro Universitário Sociesc

## **1. INTRODUÇÃO**

Com o passar do tempo e com a evolução das máquinas e equipamentos, ainda há, no processo de fabricação e montagem dos componentes de uma máquina, problemas de desalinhamento e folgas, que não são perceptíveis aos olhos humanos, até por ser algo inerente do processo, a dilatação desequilibrada do molde, o tempo de uso do equipamento e por passar por diversos tipos de manutenção ao longo do tempo, montando e desmontando a máquina ao longo do seu uso. Essas imperfeições mecânicas causam tensionamento excessivo em alguns pontos, ocasionando assim as trincas em colunas de injetoras.

Tendo em vista que as colunas-guia são componentes vitais para o funcionamento de uma injetora para que seja evitada a sua ruptura, diagnosticar antecipadamente uma trinca é de grande importância para que a máquina mantenha-se em operação.

O ensaio por ultrassom caracteriza-se num método não destrutivo que tem por objetivo a detecção de defeitos ou descontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou forma de materiais ferrosos ou não ferrosos (ANDREUCCI,2011).

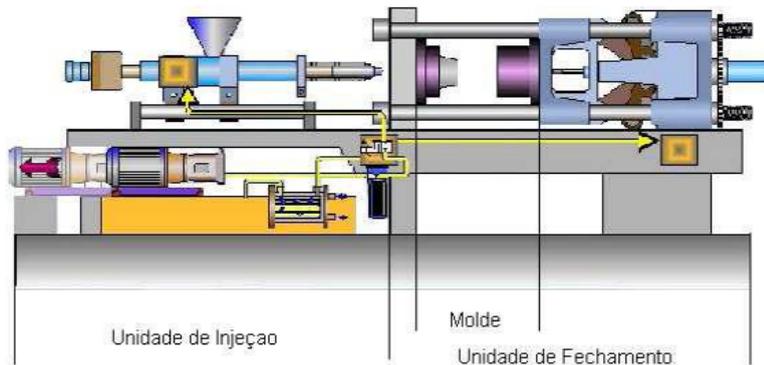
Diante desse contexto o trabalho mostrará o uso do ultrassom como manutenção preditiva, e como ele pode evitar com muita antecedência a ruptura desta coluna-guia, considerando o estado do equipamento, sabendo-se que as injetoras e seus componentes são levados a limites de carga operacional diariamente, estando suscetível a vibrações, folgas, desalinhamentos, entre outros.

## **2. INJETORAS**

A máquina injetora é o equipamento básico para o processo de injeção, pois é o responsável por fazer o trabalho de fundição do material, fechamento do molde e injeção da resina fundida e homogeneizada para dentro do molde. O molde, por sua vez, está fixado no sistema de fechamento da máquina, e todos os acionamentos são comandados pela injetora (JOHANNABER, 1994).

A máquina injetora pode ser dividida em duas partes básicas, a unidade de injeção e a unidade de fechamento. A unidade de injeção também é conhecida como unidade plastificadora, é onde através de cisalhamento, atrito e calor plastifica e homogeneiza o material termoplástico e através da unidade de injeção ocorre à transferência deste material para o interior do molde que fica alojado entre as placas fixa e móvel da máquina na unidade de fechamento. A unidade de fechamento garante o travamento do molde no momento da injeção e também faz a abertura do molde após a solidificação da peça para ser extraída. (ROSATO, 2000)

Figura 1. Esquema de uma máquina injetora.

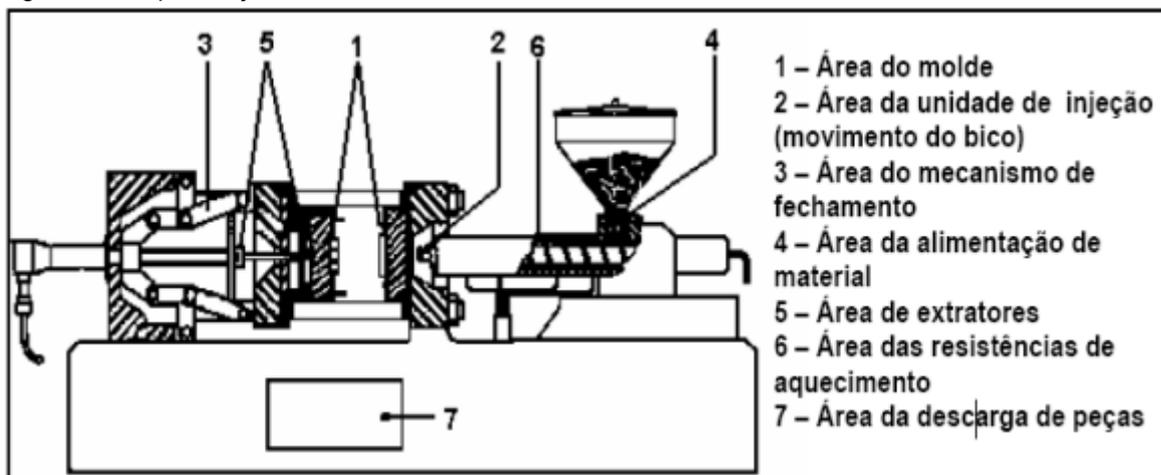


Fonte:(SANDRETTO, 2012)

## 2.1 INJETORAS HORIZONTAIS

São máquinas nas quais o sistema de fechamento, os movimentos do molde ocorrem no eixo horizontal. A seguir, temos na figura 2 uma máquina injetora horizontal dividida nas suas principais áreas.(TORRES,2007)

Figura 2. Máquina injetora horizontal.

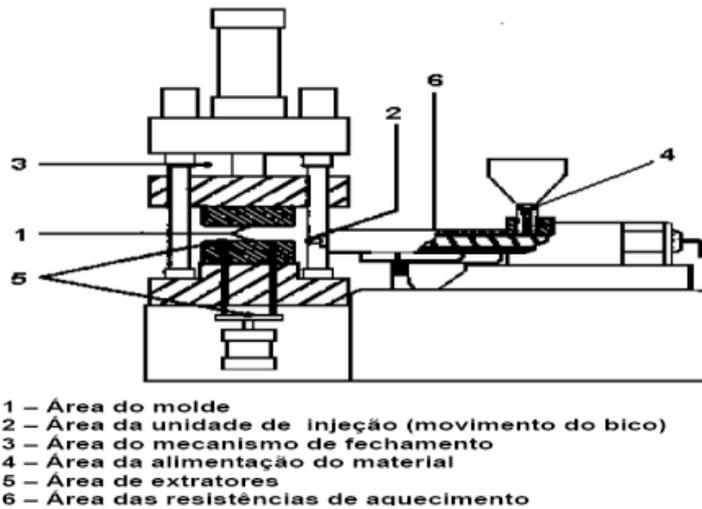


Fonte: (TORRES, 2007)

## 2.2 INJETORAS VERTICAIS

São máquinas nas quais o sistema de fechamento e os movimentos do molde ocorrem no eixo vertical. A seguir temos a figura 3 de uma máquina injetora vertical dividida nas suas principais áreas. (TORRES, 2007)

Figura 3. Máquina injetora vertical.

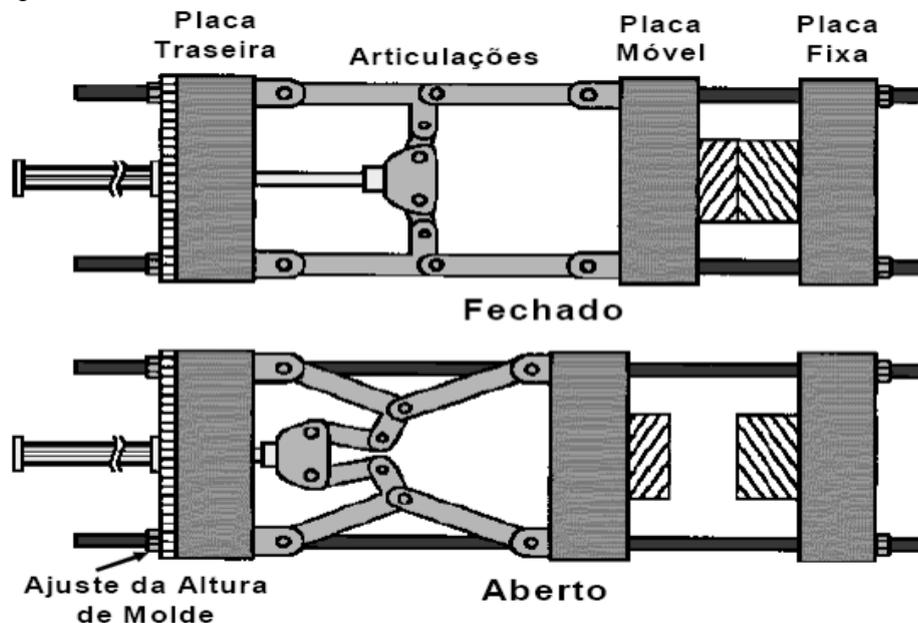


Fonte: (TORRES, 2007)

## 2.2.1 UNIDADE DE FECHAMENTO

A unidade de fechamento é responsável pelo movimento do molde móvel, nos sentidos de avanço e recuo, e deve ser projetada de forma a suportar a pressão exercida pelo material, dentro da cavidade, mantendo o avanço máximo. Os tipos de fechamento mais usuais são o mecânico, o hidráulico de pistão e o hidráulico mecânico (ver figura 4). Grande parte das máquinas injetoras, fornecidas no mercado, utilizam o sistema de fechamento hidráulico mecânico, no qual um cilindro hidráulico transmite movimento para um mecanismo de articulações, denominadas tesouras ou braçagens que executam o movimento da placa móvel. Quando há necessidade de uso de moldes com espessuras diferentes, o conjunto todo pode ser avançado, por meio do acionamento de motor elétrico ou hidráulico, de modo a garantir o ajuste e o fechamento entre os moldes (TORRES, 2007).

Figura 4. Sistema hidráulico mecânico.



Fonte: (TORRES, 2007)

### 2.2.2 PLACA FIXA

Segundo Reis (2012) placa fixa onde é fixada a parte do molde por onde será injetado o material plástico, suporta as colunas guias e proporciona o movimento da placa móvel. A figura 5 mostra a placa fixa do molde.

Figura 5. Placa Fixa de uma injetora



Fonte: (OS AUTORES, 2022)

### 2.2.3 PLACA MÓVEL

Para Battenfeld (2010) a placa móvel é para fixar o móvel do molde onde se encontra o sistema de extração, é guiado através das colunas guias deslocando-se em direção da placa fixa assim executando o fechamento e travamento do molde. A figura 6 mostra a placa móvel do molde.

Figura 6. Placa Móvel de uma injetora



Fonte: (OS AUTORES, 2022)

## 2.2.4 COLUNAS DE INJEÇÃO

Conforme Blass (1998) a coluna de guia tem a função de suportar a força de travamento do molde que é gerada pelo seu estiramento e mantém o paralelismo entre a placa fixa e a placa móvel.

Nos moldes, as buchas e colunas têm uma grande importância que é de garantir a centralização exata do conjunto fixo no móvel. De forma cilíndrica contendo uma cabeça para fixação no porta cavidade, e na outra extremidade um convite facilitando o acoplamento entre elas (DIAS, 2008).

Segundo Battenfeld (2010) a coluna guia é um conjunto de quatro colunas e tem a função de guiar a placa móvel para que haja uma precisão ao fechar o molde. A figura 7 mostra as colunas guia de um molde de injeção.

Figura 7. Colunas-guia de uma injetora



Fonte: (OS AUTORES, 2022)

## 2.3 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A manutenção industrial, de uma forma simplificada, é um conjunto de métodos para conservação dos ativos (moldes, equipamentos, máquinas,...).

No ponto de vista atual, a manutenção tem como principal objetivo evitar manutenções corretivas não planejadas, isto é, cada vez mais os profissionais da manutenção precisam estar mais qualificados e equipados para evitar panes e não para corrigi-las (KARDEC, 2019).

### 2.3.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

Manutenção executada assim que um bem fica incapaz de executar sua função estabelecida devido uma pane ou mal funcionamento, e tem como propósito, retornar o ativo para seu estado normal, em pleno funcionamento (KARDEC, 2019).

A manutenção corretiva é composta por duas partes, a manutenção corretiva não planejada, essa que por sua vez, se refere a um reparo de uma falha que ocorreu de forma aleatória. E a manutenção corretiva planejada, que é o reparo de alguma falha que cause a diminuição do desempenho do equipamento, com base

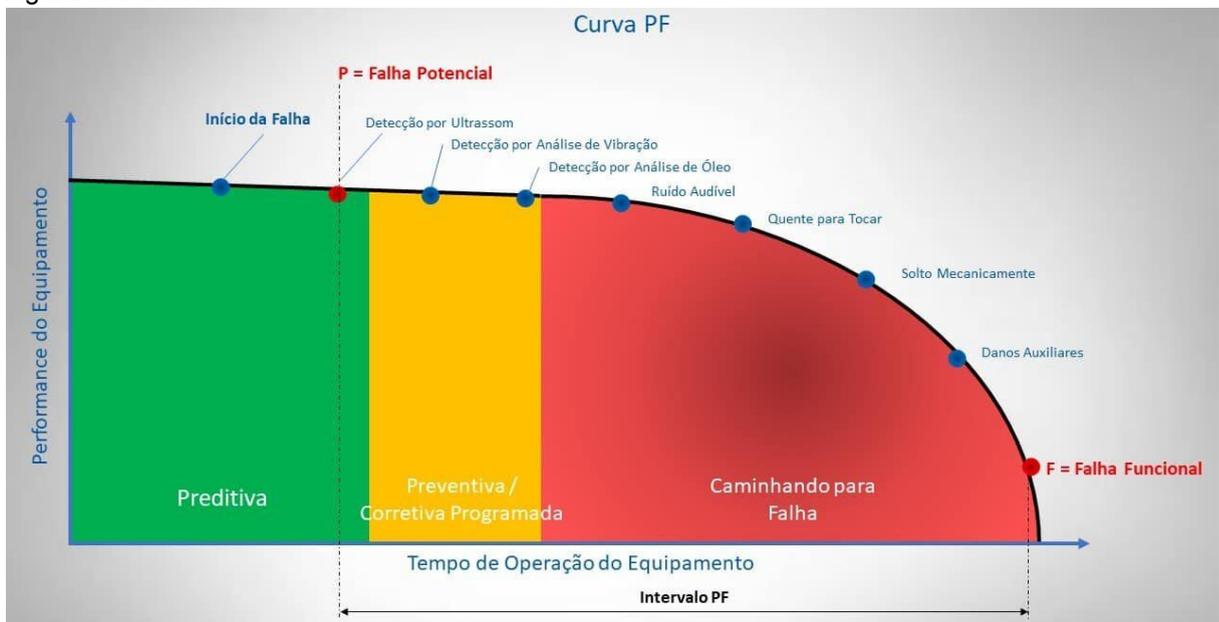
em dados levantados de maneira prescritiva, detectiva, ou através da manutenção preditiva (KARDEC, 2019)

### 2.3.2 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva consiste em inspeções periódicas, com instrumentos específicos, para analisar aspectos como ruídos excessivos, temperaturas extremas, desgastes e vibrações, juntando estes dados, é possível programar paradas para corretivas planejadas, ou juntar informações para as intervenções preventivas planejadas serem mais eficientes (TELES, 2017).

Por meio da manutenção preditiva, é possível gerar uma Curva PF (Figura 8), que é um gráfico que conflita em um plano cartesiano simples a performance do equipamento sobre o seu tempo de funcionamento. Com o objetivo principal de identificar o intervalo PF, que seria o tempo entre a falha potencial e falha funcional. (TELES, 2019).

Figura 8. Curva PF



Fonte: (TELES, 2017)

### 2.3.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Manutenção executada em períodos predeterminados, ou de critérios prescritos, afim de reduzir a possibilidade de falhas ou o desgaste do ativo. Indo na contramão da manutenção corretiva, a manutenção preventiva, tem a finalidade de prevenir o equipamento de falhas. (KARDEC, 2019).

### 2.4 ULTRASSOM

Detecção por Ultrassom: Tratando-se de equipamentos rotativos, a detecção por ultrassom é a mais sensível. Sendo capaz de identificar uma falha antes mesmo da análise de vibrações, o ultrassom é uma ferramenta de monitoramento útil, capaz de detectar falhas praticamente no momento em que elas nascem (TELES, 2017)

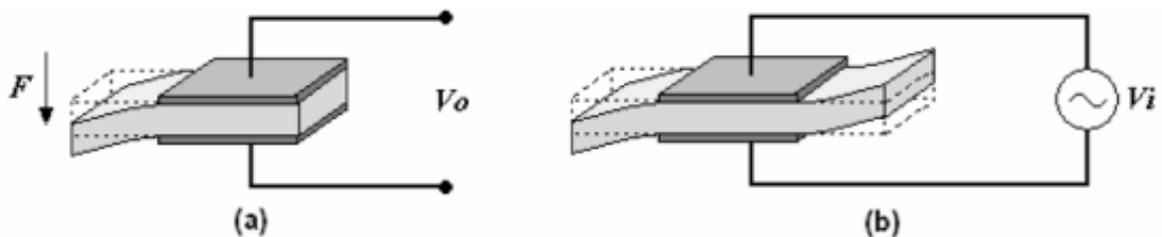
O ensaio por ultrassom é muito utilizado em materiais compósitos, pois dispõe de diversas técnicas de inspeção, como A-scan, B-Scan, C-Scan e P-Scan. (OLYMPUS,2014).

É um método de ensaio não destrutivo, utiliza-se ondas mecânicas que se propagam por um meio físico de uma fonte emissora até a fonte receptora, a velocidade de propagação depende do meio de do tipo de onda utilizado (longitudinal ou transversal). As ondas viajam pelo meio, até encontrarem o anteparo que é refletido onde será captado pelo receptor enviando um sinal que corresponde à distância entre anteparo e emissor.

### 2.4.1 Transdutores

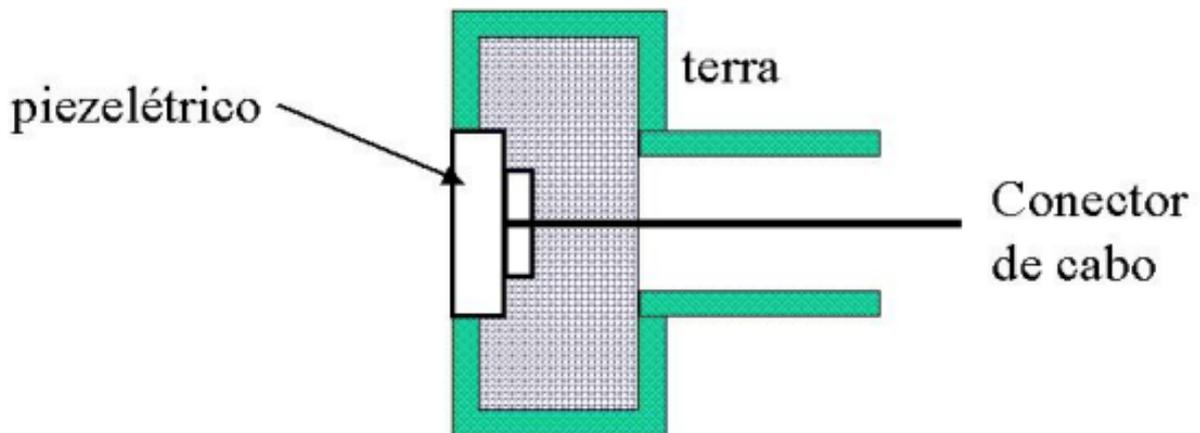
A execução de ensaios ultrassônicos se dá por meio de transdutores, que vem a ser um dispositivo que recebe um sinal e o retransmite, independentemente de conversão de energia. O principal elemento de um transdutor ultrassônico é um cristal piezelétrico, que caracteriza-se pela propriedade de transformar energia elétrica em mecânica ou vice-versa, ou seja, o cristal quando submetido a uma pressão gera um campo elétrico que pode ser coletado como tensão elétrica. Então, quando aplicado a uma tensão elétrica, o cristal vibra. Materiais Piezelétricos comuns são o Quartzo, Sulfato de Lítio, o Titanato de Bário, o Metaniobato de Chumbo e o Titanato Zirconato de Chumbo (Figuras 9 e 10). (ABATI, 2016)

Figura 9. Princípio de um cristal piezelétrico



Fonte: (ABATI, 2016)

Figura 10. Esquema de um transdutor ultrassônico



Fonte: (BITTENCOURT, 1999)

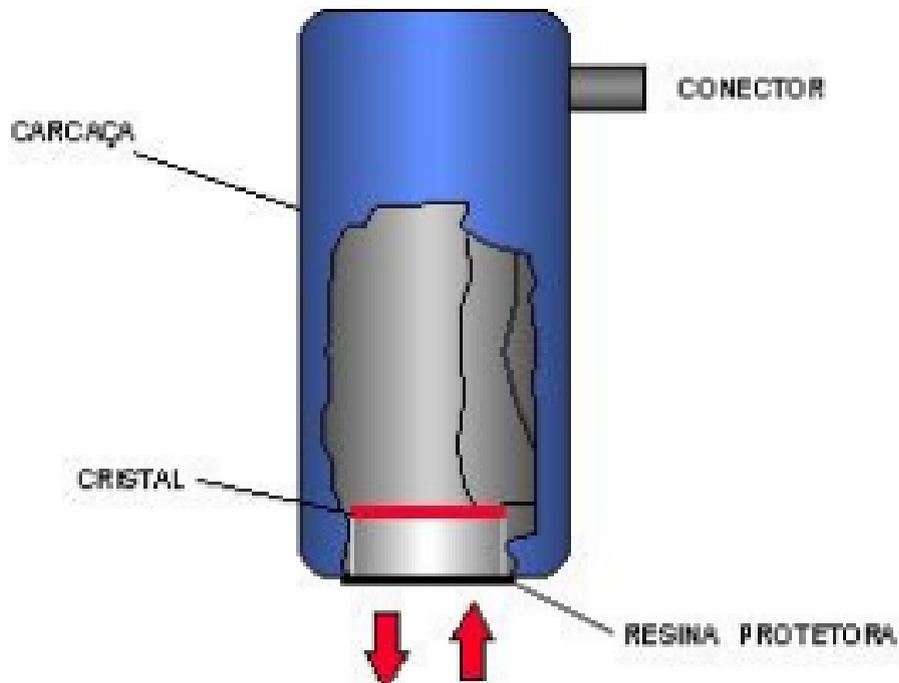
Segundo ABATI (2016), os transdutores ultrassônicos são classificados por quatro características:

- **Função**  
Emissor, Receptor e Emissor receptor
- **Tipo de Incidência**  
Normal ou Angular
- **Número de cristais**  
Monocristal ou Policristal
- **Tipo de Contato**  
Direto ou Imersão

#### 2.4.2 Transdutor de tipo de incidência normal

São assim chamados os cabeçotes monocristal geradores de ondas longitudinais normais a superfície de acoplamento. Os transdutores normais são construídos a partir de um cristal piezelétrico colado num bloco rígido denominado de amortecedor e sua parte livre protegida ou uma membrana de borracha ou uma resina especial. O bloco amortecedor tem a função de servir de apoio para o cristal e absorver as ondas emitidas pela face colada a ele. O transdutor emite um impulso ultrassônico que atravessa o material a inspecionar e reflete nas interfaces, originando o que chamamos ecos. Estes ecos retornam ao transdutor e geram, no mesmo, o sinal elétrico correspondente.(ABENDI, 2018)

Figura 11. Transdutor normal reto



Fonte: (ABENDI, 2018)

### 2.4.3 Líquidos acoplantes

Como o ar é um péssimo meio de propagação do ultrassom, os transdutores acima apresentados são utilizados em conjunto com líquidos acoplantes, que permitem a passagem do sinal ultra sônico do transdutor para a superfície do material a ser inspecionado. Tais líquidos são escolhidos em função do acabamento superficial da peça, tipo do material, da área de varredura, geometria e posição para a inspeção. (ABATI, 2016)

A tabela 1 abaixo indica a impedância de alguns materiais junto a velocidade de onda emitida.

Tabela 1. Impedância Acústica de Alguns Materiais e Acoplantes

Acoplante	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Velocidade da onda long. (m/s)	Impedância Acústica (g/cm <sup>2</sup> .s)
Óleo ( SAE 30)	0,9	1700	1,5 x 10 <sup>5</sup>
Água	1,0	1480	1,48 x 10 <sup>5</sup>
Glicerina	1,26	1920	2,4 x 10 <sup>5</sup>
Carbox Metil Celulose (15g/l)	1,20	2300	2,76 x 10 <sup>5</sup>
Aço	7,8	5.900	46 x 10 <sup>5</sup>
Ar ou gas	0,0013	330	0,00043 x 10 <sup>5</sup>
Aço inoxidável	7,8	5.800	45,4 x 10 <sup>5</sup>
Alumínio	2,7	6.300	17,1 x 10 <sup>5</sup>
Acrílico	1,18	2.700	3,1 x 10 <sup>5</sup>
Cobre	8,9	4.700	41,6 x 10 <sup>5</sup>
Borracha	1,1	1.800	2 x 10 <sup>5</sup>
Titanio	4,5	6.100	27,3 x 10 <sup>5</sup>
Magnésio	1,74	5.800	10 x 10 <sup>5</sup>
Vidro	2,5	5.700	14,2 x 10 <sup>5</sup>

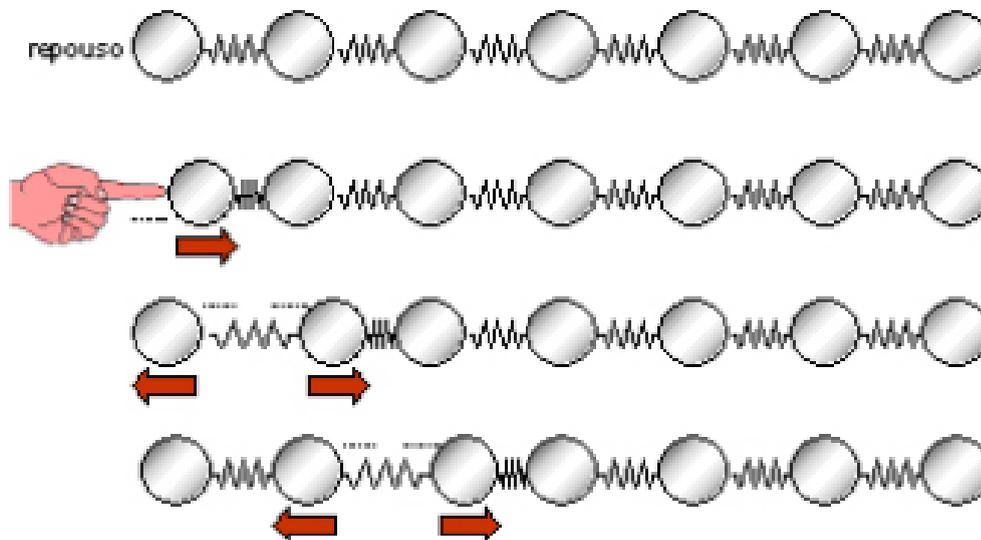
Fonte: SONIC instrumento - catálogo de fórmulas e dados.

### 2.4.4 ONDAS LONGITUDINAIS

São ondas cujas partículas oscilam na direção de propagação da onda, podendo ser transmitidas a sólidos, líquidos e gases.

No desenho a seguir (Figura 12) nota-se que o primeiro plano de partículas vibra e transfere sua energia cinética para os próximos planos de partículas, e passam a oscilar. Desta maneira, todo o meio elástico vibra na mesma direção de propagação da onda (longitudinal), e aparecerá “zonas de compressão” e “zonas diluídas”. As distâncias entre duas zonas de compressão determinam o comprimento de onda ( $\lambda$ ). (ABENDI, 2018)

Figura 12. Representação de uma onda longitudinal.



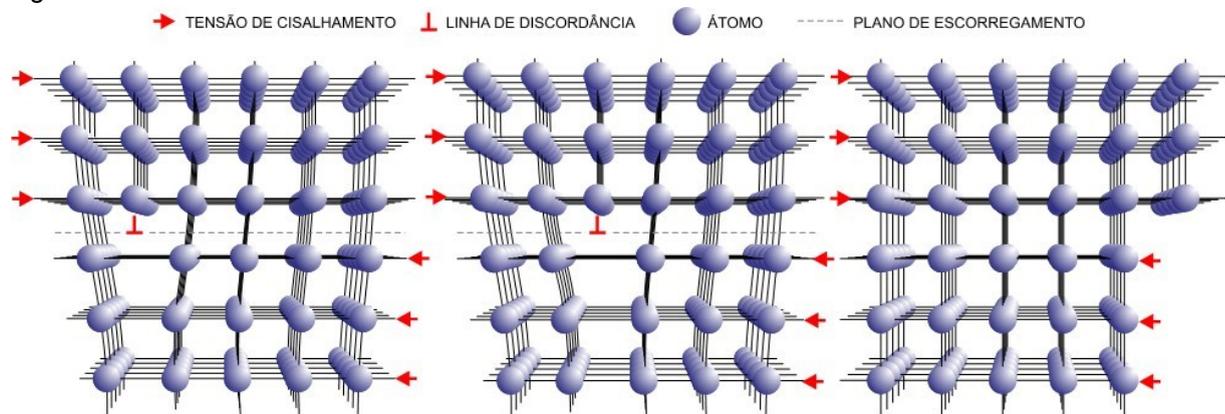
Fonte: (TELES,2018)

## 2.5 TRINCAS

Partes de máquinas, quando em funcionamento são submetidos a diversos tipos de esforços, seja em tração, compressão, flexão, cisalhamento ou a combinações destes, o comportamento mecânico do material reflete a forma como ele reage à aplicação desses esforços. No caso de materiais metálicos os esforços podem gerar deformações reversíveis (elásticas), ou permanentes (plásticas), dependendo do nível de esforço ao qual foi submetido. Mesmo em regimes elásticos, esforços cíclicos podem ativar e potencializar micro defeitos e impurezas pré-existentes na matriz do material, levando à nucleação e propagação de microtrincas em sua estrutura. A nucleação de trincas em materiais metálicos ocorre devido ao andamento de discordâncias em consequência de carregamentos cíclicos atuantes no material (Figura 13). A medida que o carregamento cíclico segue mais linhas de discordâncias são formadas gerando bandas de escorregamento, ou do idioma inglês, slip bands (CAVALCANTE, 2019).

Segundo (STEPHENS, FATEMI, STEPHENS, FUCHS, 2001, p47), cada linha de discordâncias está primariamente contida em um grão e devido a orientação cristalográfica singular dos grão adjacentes, as bandas de escorregamento tendem a se acumular nos respectivos contornos de grãos.

Figura 13 - Andamento de discordâncias.



Fonte: (HERTZBERG, 1996)

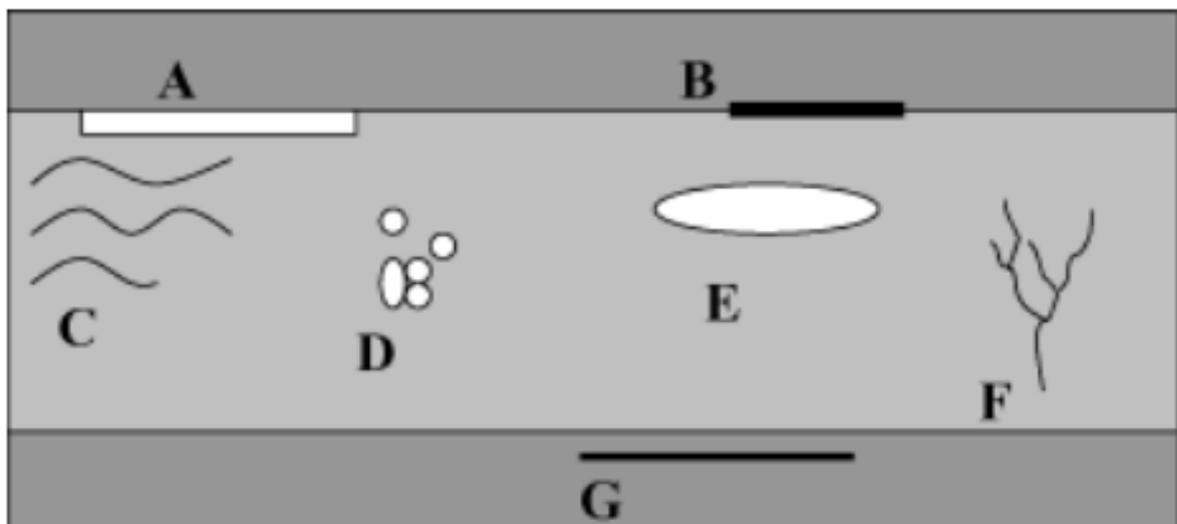
### 2.5.1 INSPEÇÃO DE TRINCAS

Como a trinca geralmente ocorre na superfície do componente, exame visual, ensaio por partículas magnéticas e por líquidos penetrantes são métodos efetivos de inspeção. (PELLICIONE,2012)

Inspeção externa por ultrassom com ondas transversais pode ser usada para inspeção não intrusiva de trincas internas. (PELLICIONE,2012)

Na figura a seguir (Figura 14), pode ser observado alguns tipos de discontinuidades encontradas, no caso deste trabalho, será focado na verificação de trincas, indicados pela letra "F" na imagem.

Figura 14. Tipos de discontinuidades em metais.



Fonte: (PETROBRAS, 2011)

## 3. METODOLOGIA

Esta análise foi feita com base nas técnicas de manufatura preditiva, que visam antecipar falhas através de equipamentos e ensaios específicos. Buscando

uma melhor disponibilidade do equipamento para aumentar ainda mais o seu aproveitamento, sobretudo os resultados econômicos da fábrica.

Para a efetuar este projeto, foi selecionada uma injetora de Battenfeld modelo TM 2100/1000, com colunas de 2700mm. Conforme a figura 15.

Figura 15. Injetora

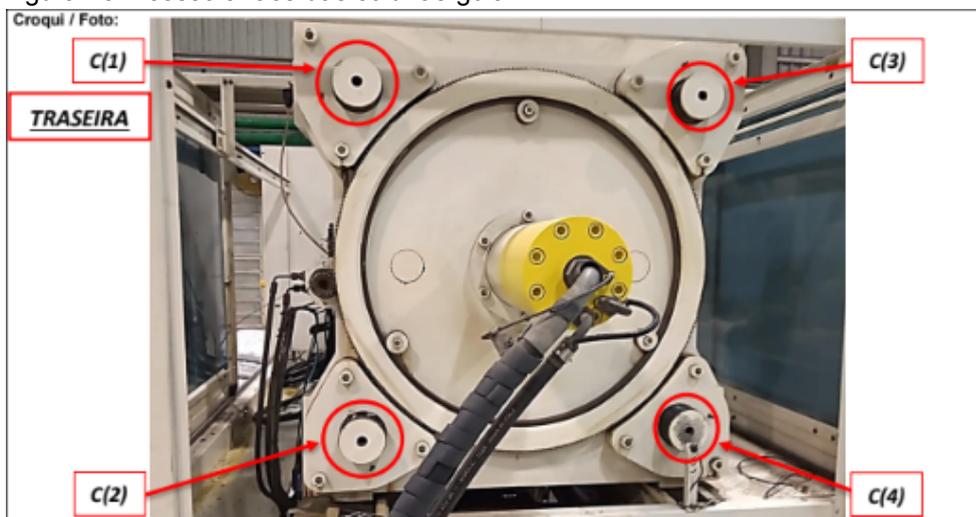


Fonte: (OS AUTORES, 2022)

### 3.1 LIBERAÇÃO DO ACESSO

Para a realização da inspeção é necessário parar a máquina, desmontar as carenagens do equipamento para se ter acesso a face cilíndrica das colunas-guia da injetora. Conforme a figura 16 ilustra o acesso a essa região.

Figura 16. Acesso a face das colunas-guia



Fonte: (OS AUTORES, 2022)

### 3.2 LIMPEZA

Com o acesso liberado às faces cilíndricas da coluna inicia-se a limpeza das faces para poder executar o próximo passo, que é a execução da inspeção por ultrassom, é de extrema importância essa limpeza para se obter resultados coerentes no equipamento de Ultrassom.

### 3.3 O EQUIPAMENTO DE ULTRASSOM

O equipamento utilizado nos ensaios foi o detector de falhas ultrassônico USM Go+ da Baker Hughes (Figura 17), que é um equipamento de extrema simplicidade na operação, podendo ser operado com apenas uma mão.

Figura 17. Detector de falhas ultrassônico USM Go Baker Hughes.



Fonte: (JN REPRESENTAÇÃO, 2021)

### 3.4 REALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO

Aplica-se a face da coluna-guia o líquido acoplante, para se ter melhor aderência quando feito o deslize com o transdutor. Para este ensaio, o produto mais recomendado é a graxa EP2 de consistência NLGI 2, que é uma graxa de multiplicação, composta principalmente por lítio, que tem como principais propriedades anti-atrito, resistência à água, estabilidade mecânica, anti oxidação e contra corrosão, recomendada principalmente para eixos estriados, pinos de articulações, e outras peças submetidas a movimentos oscilantes ou deslizantes. A seguir na tabela 2, mostra as especificações do material:

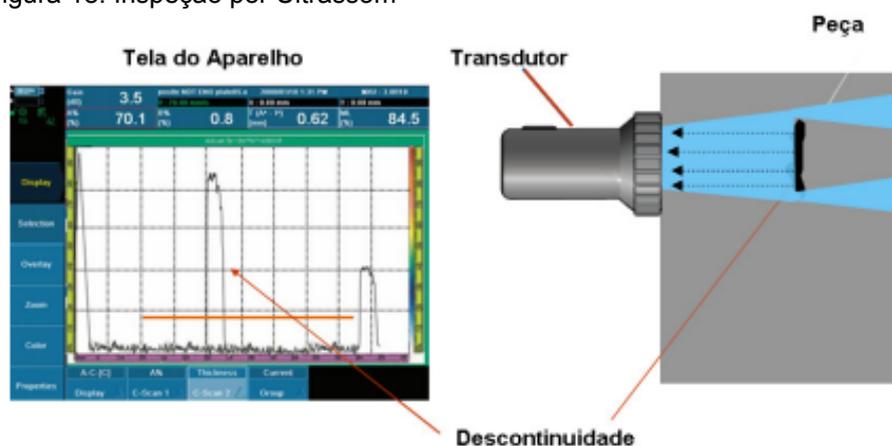
Tabela 2. (Propriedades e Especificações)

Grau	NLGI 2
Tipo de Espessante	Lítio
Viscosidade do Óleo Básico a 40°C, mm <sup>2</sup> /s, AMS 1697	150
Propriedades de Prevenção à Ferrugem, Classificação, ASTM D1743	Passa
Ponto de gota, °C, ASTM D2265	175
Separação de Óleo, % massa, ASTM D1742	3
Penetração, 60 vezes, 0,1 mm, ASTM D217	280
Carga Timken OK, kg, ASTM D2509	18
Lavagem por água, perda a 79°C, % de peso, ASTM D1264	6
Teste de Rolamento de Roda (Wheel Bearing Test), Perda, 6 h a 104 oC, %, ASTM D1263	0

Fonte: (MOBIL, 2022)

Utilizando a técnica de contato direto, uma das mais usadas atualmente, podem ser detectados as reflexões provindas do interior da peça examinada, obtendo assim a localização e dimensão da imperfeição encontrada. Na figura 18, o feixe sônico do transdutor incidiu na falha, ocorrendo uma reflexão captada pelo mesmo transdutor, enviando o sinal ao aparelho, mostrado na tela em forma de um pulso ou eco.

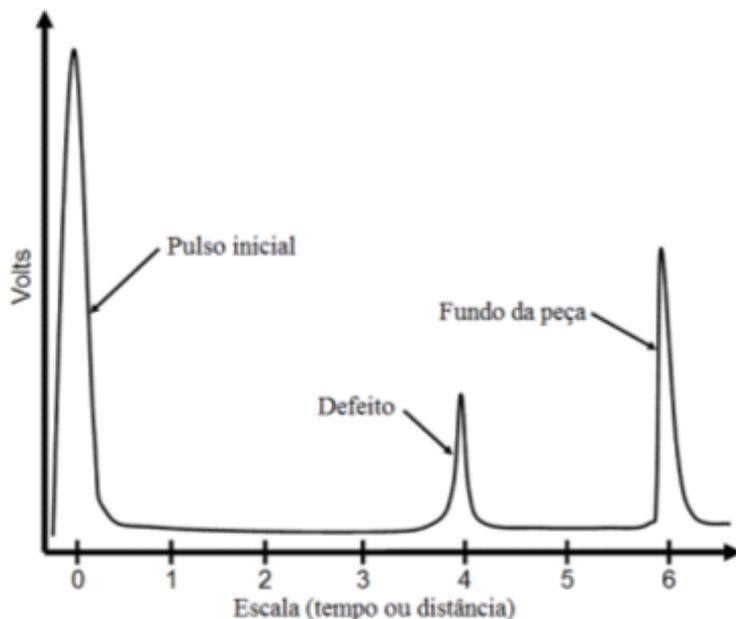
Figura 18. Inspeção por Ultrassom



Fonte: (ABENDI, 2018)

Na tela de inspeção (A-scan) apresenta três picos (Figura 19), o primeiro é o pulso inicial do aparelho, o segundo representa o defeito e o terceiro é o eco proveniente do fundo da peça inspecionada. A distância percorrida pela onda até a trinca é menor que ao fim da peça, sendo assim, aparece antes, entre o pulso inicial e o eco do fim da peça.

Figura 19 Exemplo tela de inspeção (A-scan).

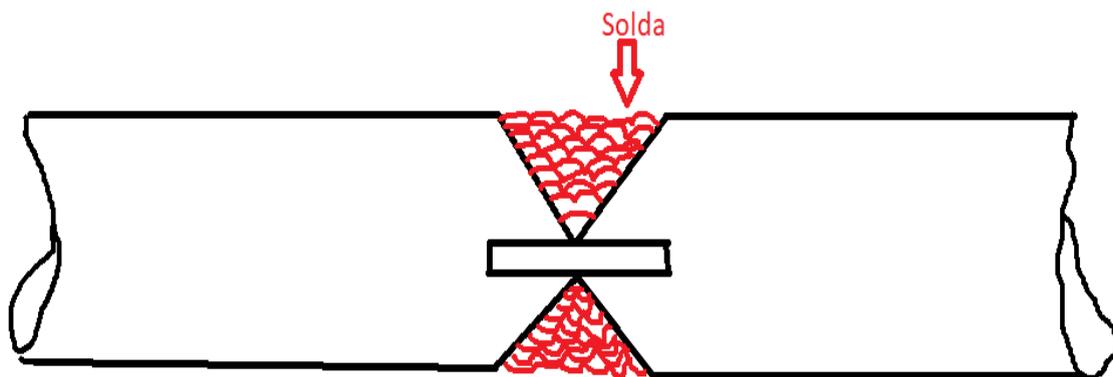


Fonte: (ANDREUCCI, 2011)

### 3.5 Reparo da Trinca

Com a organização previamente estabelecida e com o conhecimento da localização e dimensão da trinca, é iniciado o processo de reparo. A coluna é cortada em forma de cone, conforme a figura 20, onde é feita a união das duas em um processo de soldagem com o aço 8620 que tem por características ser um aço mais flexível e boa soldabilidade. Após a conclusão do reparo, é executado o mesmo procedimento de inspeção por ultrassom, para verificar se a coluna recuperada está conforme e com a solda adequada.

Figura 20. Reparo de trinca.

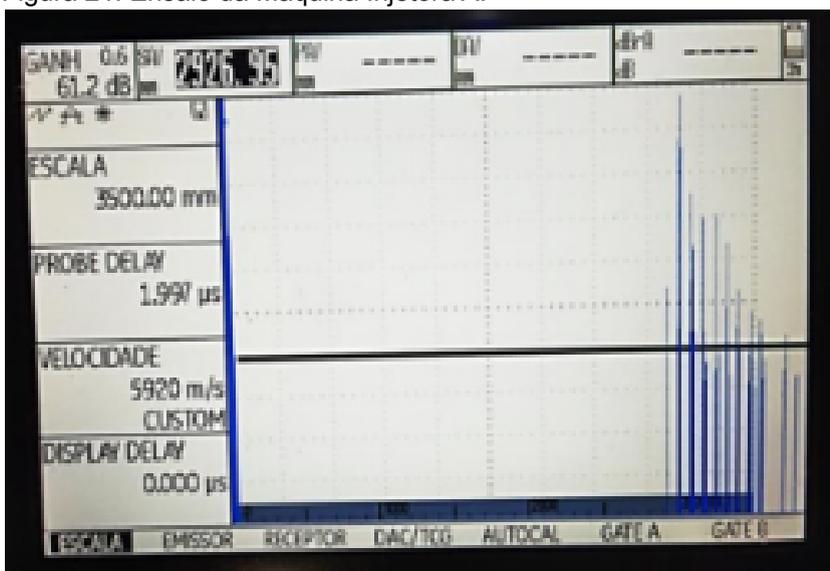


Fonte: (OS AUTORES, 2022)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através das ondas longitudinais, representa-se os gráficos dos ensaios, a figura 21 apresenta o ensaio da máquina injetora A que teve todas as colunas aprovadas. Pode-se observar o pulso inicial na tela do equipamento e obtendo o retorno das ondas somente ao final da coluna, pegando até o eco da rosca da coluna-guia.

Figura 21. Ensaio da Máquina Injetora A.



Fonte: (OS AUTORES, 2022)

Percebe-se que não teve nenhum pico no gráfico, e no canto superior esquerdo, o comprimento que as ondas percorreram, que no caso, seria o comprimento aproximado da coluna. No caso deste ensaio, é registrado o resultado do ensaio (Tabela 3) para histórico futuro, as carenagens são remontadas, e a máquina injetora é liberada para produção.

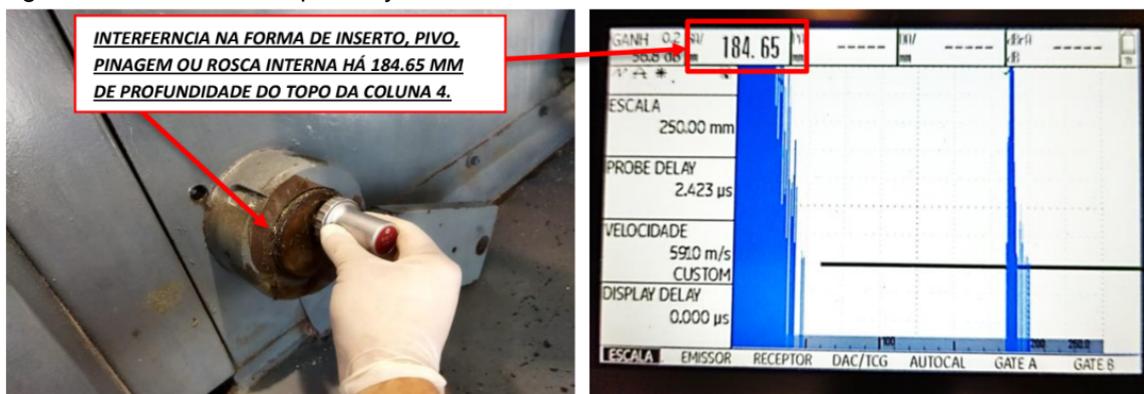
Tabela 3. Resultados da Máquina Injetora A.

Identificação:	Descontinuidade:				Observação:
	Tipo:	Diâmetro (mm):	Comprimento (mm):	Laudo US:	
Coluna – C(1)	---	---	2.923,44	A	---
Coluna – C(2)	---	---	2.925,66	A	---
Coluna – C(3)	---	---	2.924,29	A	---
Coluna – C(4)	---	---	2.926,95	A	---

Fonte: (OS AUTORES, 2022)

No ensaio da Máquina Injetora B, ignorando o pico inicial, que é referente a rosca da coluna, foi detectada uma interferência na forma de trinca na coluna C4 havendo um pico a 184,65 milímetros do ponto de contato do equipamento de ultrassom como mostra a figura 22 a seguir.

Figura 22. Ensaio da Máquina Injetora B.



Fonte: (OS AUTORES, 2022)

Neste caso, o pico ser mais estreito mostra que a trinca está no início, assim, dando tempo para mais monitoramentos, e para planejar uma parada para manutenção corretiva planejada, para a correção da trinca, na tabela 4 a seguir mostra os resultados do gráfico.

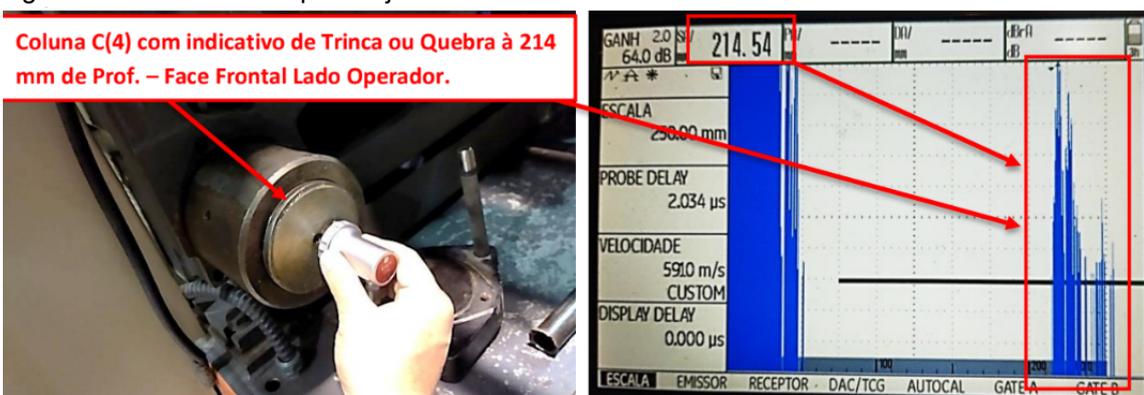
Tabela 4. Resultados da Máquina Injetora B.

Identificação:	Descontinuidade:				Observação:
	Tipo:	Diâmetro (mm):	Comprimento (mm):	Laudos US:	
Coluna – C(1)	---	---	2.722,31	A	---
Coluna – C(2)	---	---	2.722,22	A	---
Coluna – C(3)	---	---	2.720,10	A	---
Coluna – C(4)	IT	---	184,65	A	Monitorar preventivamente o Inserto ou pinagem.

Fonte: (OS AUTORES, 2022)

Já no ensaio da Máquina Injetora C (figura 23), pode ser observado um caso mais crítico de trinca, onde o pico está mais intenso, a 214,54 milímetros do ponto de contato do ultrassom.

Figura 23. Ensaio da Máquina Injetora C



Fonte: (OS AUTORES, 2022)

Neste caso, a trinca está num estágio mais avançado, podendo ter a quebra a qualquer momento, sendo assim, a parada é planejada para o mais breve possível, para esta manutenção, na tabela 5 a seguir, mostra os resultados deste ensaio, destacando a criticidade do estado da coluna.

Tabela 5. Resultados da Máquina Injetora C

Identificação:	Descontinuidade:				Observação:
	Tipo:	Diâmetro (mm):	Comprimento (mm):	Laudo US:	
Coluna – C(1)	---	---	2.919,25	A	---
Coluna – C(2)	---	---	2.918,25	A	---
Coluna – C(3)	---	---	2.916,07	A	---
<b>Coluna – C(4)</b>	---	---	214,54	<b>R</b>	Trinca / Quebra

Fonte: (OS AUTORES, 2022)

#### 4.1 Redução do tempo de parada

A tabela 6 abaixo, é um registro de parada de máquina por manutenção, separada por turnos, nesse registro é possível observar o tempo de aproximadamente 190 horas de uma parada em uma injetora por ruptura da coluna-guia, algo muito impactante para a entrega de produtos e custos da empresa por ser algo inesperado e repentino.

Tabela 6. Monitoramento do equipamento.

Data	Turno	Serviço de manutenção	Equipamento	Início da parada	Tempo de espera	Início	Fim	Tempo de serviço	Total do reparo
-	26/08/2021								
	26/08/2021	Mecânica	INJETORA 1003	17:59	0:00	17:59	15:43	189:44	189:44
	26/08/2021	3 Mecânica	INJETORA 1003	17:59	0:00	17:59	22:00	4:00	4:00
	27/08/2021	1 Mecânica	INJETORA 1003	22:00	0:00	22:00	05:00	7:00	7:00
	27/08/2021	2 Mecânica	INJETORA 1003	05:00	0:00	05:00	13:30	8:30	8:30
	27/08/2021	3 Mecânica	INJETORA 1003	13:30	0:00	13:30	22:00	8:30	8:30
	28/08/2021	1 Mecânica	INJETORA 1003	22:00	0:00	22:00	05:00	7:00	7:00
	28/08/2021	2 Mecânica	INJETORA 1003	05:00	0:00	05:00	13:30	8:30	8:30
	28/08/2021	3 Mecânica	INJETORA 1003	13:30	0:00	13:30	22:00	8:30	8:30
	29/08/2021	1 Mecânica	INJETORA 1003	22:00	0:00	22:00	05:00	7:00	7:00
	29/08/2021	2 Mecânica	INJETORA 1003	05:00	0:00	05:00	13:30	8:30	8:30
	29/08/2021	3 Mecânica	INJETORA 1003	13:30	0:00	13:30	22:00	8:30	8:30
	30/08/2021	1 Mecânica	INJETORA 1003	22:00	0:00	22:00	05:00	7:00	7:00
	30/08/2021	2 Mecânica	INJETORA 1003	05:00	0:00	05:00	13:30	8:30	8:30
	30/08/2021	3 Mecânica	INJETORA 1003	13:30	0:00	13:30	22:00	8:30	8:30
	31/08/2021	1 Mecânica	INJETORA 1003	22:00	0:00	22:00	05:00	7:00	7:00
	31/08/2021	2 Mecânica	INJETORA 1003	05:00	0:00	05:00	13:30	8:30	8:30
	31/08/2021	3 Mecânica	INJETORA 1003	13:30	0:00	13:30	22:00	8:30	8:30
	01/09/2021	1 Mecânica	INJETORA 1003	22:00	0:00	22:00	05:00	7:00	7:00
	01/09/2021	2 Mecânica	INJETORA 1003	05:00	0:00	05:00	13:30	8:30	8:30
	01/09/2021	3 Mecânica	INJETORA 1003	13:30	0:00	13:30	22:00	8:30	8:30
	02/09/2021	1 Mecânica	INJETORA 1003	22:00	0:00	22:00	05:00	7:00	7:00
	02/09/2021	2 Mecânica	INJETORA 1003	05:00	0:00	05:00	13:30	8:30	8:30
	02/09/2021	3 Mecânica	INJETORA 1003	13:30	0:00	13:30	22:00	8:30	8:30
	03/09/2021	1 Mecânica	INJETORA 1003	22:00	0:00	22:00	05:00	7:00	7:00
	03/09/2021	2 Mecânica	INJETORA 1003	05:00	0:00	05:00	13:30	8:30	8:30
	03/09/2021	3 Mecânica	INJETORA 1003	13:30	0:00	13:30	15:43	2:14	2:14

Fonte: (OS AUTORES, 2022)

Com a utilização do método de ensaio não destrutivo por ultrassom, detectando uma trinca antecipadamente, o tempo para manutenção leva cerca de 96 horas, porém, como é feito alinhamento entre o planejamento da manutenção (PCM) e o planejamento da produção (PCP), a disponibilidade do equipamento é reduzido para 30 horas, tendo impacto mínimo para a entrega de produtos a clientes.

#### **4.2 Custo reduzido**

Tendo por base que o equipamento teve sua parada planejada, sua demanda foi equilibrada em outros roteiros, foi obtido um ganho imensurável com a qualidade na entrega de produtos para clientes.

Porém, também é obtido um ganho financeiro, onde, por meio da detecção prévia da trinca, é feito o ajuste necessário na coluna e mantido a sua funcionalidade, continuando assim a produção por mais ciclos produtivos. O ajuste tem o custo aproximado de 15% do valor de uma coluna nova.

#### **CONCLUSÃO**

Com a integração dos conhecimentos acima apresentados, é possível obter resultados sustentáveis para o negócio, detectar antecipadamente falhas por trincas é de suma importância para evitar a falha funcional do equipamento. Reduzindo significativamente o tempo de indisponibilidade da máquina, comparado a uma parada 'desorganizada' que com base em dados já chegaram a 190 horas de máquina indisponível, por muitas vezes. Utilizando métodos adequados de controle, pode estar zerando esse tempo de parada, em conjunto com equipes de planejamento fabril. O custo do reparo é aproximadamente 15% do valor da compra de uma coluna nova, fazendo com que o equipamento possa se manter em operação efetuando produções com a mesma qualidade.

#### **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus, que nos deu forças para superar as dificuldades que apareceram ao longo da jornada deste trabalho.

Agradecemos um ao outro, pela parceria na realização deste trabalho.

A nossa orientadora, Daniele da Silva, pela paciência e suporte a nossa dupla.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABATI, Gabriel. Desenvolvimento De Sistema De Inspeção De Materiais Com Uso De Ultrassom. Puc. 2016. Disponível em: [https://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio\\_resumo2016/relatorios\\_pdf/ctc/MEC/MEC-Gabriel%20Fischer%20Abati.pdf/](https://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2016/relatorios_pdf/ctc/MEC/MEC-Gabriel%20Fischer%20Abati.pdf/). Acesso em: 10 set. 2022.

ANDREUCCI, R. Ensaio não destrutivo por ultrassom. Ed. Jan/2011. São Paulo. 2011

ANDREUCCI, Ricardo. Ensaio por Ultrassom. Ed Jun. / 2018. São Paulo: Editora Abendi, 2018.

BLASS, A. Processamento de polímeros. Florianópolis: UFSC, 1998.

BATTENFELD. Manual de instruções. São Paulo: Battenfeld, 2010.

BITTENCOURT, Marcos. Transdutor Ultra-Sônico. Curitiba: UFPR. 1999

CAVALCANTE, Fábio. Iniciação de Trincas de Fadiga em Materiais Metálicos. São Paulo. 2019. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/nuclea%C3%A7%C3%A3o-de-trincas-fadiga-fabio-gon%C3%A7alves-cavalcanti/?originalSubdomain=pt/>. Acesso em: 02 out. 2022

DIAS, Kelly Patrícia. Proposta de modelo para a gestão do conhecimento no projeto de moldes de injeção. Florianópolis, Março de 2008.

JN REPRESENTAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO. Detector de falhas ultrassônico USM Go+ Baker Hughes. Espírito Santo. 2021. Disponível em: <https://jnrepresentacao.com.br/loja/baker-hughes/detector-de-falhas-ultrassonico-usm-go-baker-hughes/>. Acesso em: 05 nov. 2022.

JOHANNABER, Friedrich. Injection Molding Machines. 3. Ed. Munich; Vienna; New York: Hanser; Cincinnati: Hanser / Gardner, 1994. 320p

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção: função estratégica. 5a ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2019.

KRAUTKRAMER, Josef; KRAUTKRAMER, Herbert. Ultrasonic Testing of Materials. 4. Ed. Alemanha. 1990

MOBIL. Mobilux EP 2. Mobil. 2022. Disponível em: <https://www.mobilindustrial.com.br/lubrificantes/produto/mobilux-ep-2/>. Acesso em: 16 out. 2022.

OLYMPUS NDT. Site institucional do fabricante. Disponível em: <https://www.olympus-ims.com/pt/learn/>. Acesso em: 22 nov. 2022.

PETROBRAS S.A. Apostila FRP - Montagem, inspeção e testes. Petrobrás, 2011.

REIS, Thiago La Pastina dos. Manual de uso e guia de utilização do simulador de injetora. São Paulo, 2012.

REZENDE, Emerson; CRUZ, Juliano; MELO, Jair. Ensaio Não Destrutivo por Ultrassom. FEAU. 2011. Disponível em: [https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2011/anais/arquivos/RE\\_0242\\_0512\\_01.pdf/](https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2011/anais/arquivos/RE_0242_0512_01.pdf/). Acesso em: 6 nov. 2022.

RICARDO ANDREUCCI .Ensaio por ultrassom-Aplicação industrial Ed.maio/2014 .

ROSATO, Dominick V.; ROSATO, Donald V.; ROSATO, Marlene G. Injection Molding Handbook. 3 . ed.USA: Kluwer Academic Publishers, 2000

SANTOS, Ana Paola Teixeira. Análise do processo de injeção do polipropileno para a fabricação de brinquedos. São Paulo, 2009.

TELES, Jhonata. Tipos de Manutenção de acordo com a NBR 5462. Blog Engeteles. 2018. Disponível em: <https://engeteles.com.br/>. Acesso em: 15 nov. 2022

TORRES, Jocelito. Dossiê Técnico: Prevenção de Acidentes em Máquinas Injetoras de plástico. SENAI-RS Nilo Bettanin, 2007.